Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH

TREINAMENTO E CAPACITAÇÃO PARA USO SEGURO DE CO_2 E HC-290 EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Presidente
LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Vice-Presidente
GERALDO ALCKMIN

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA
Ministra
MARINA SILVA

SECRETARIA-EXECUTIVA
Secretário-Executivo
JOÃO PAULO RIBEIRO CAPOBIANCO

SECRETARIA NACIONAL DE MUDANÇA DO CLIMA
Secretário
ALOISIO LOPES PEREIRA DE MELO

DEPARTAMENTO DE POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO E INSTRUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO
Diretora
LIDIANE ROCHA DE OLIVEIRA MELO

COORDENAÇÃO-GERAL DE MITIGAÇÃO E PROTEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO
Coordenador-Geral
LEANDRO GOMES CARDOSO

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Secretaria Nacional de Mudança do Clima

Departamento de Políticas de Mitigação e Instrumentos de Implementação

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH

TREINAMENTO E CAPACITAÇÃO PARA USO SEGURO DE CO_2 E HC-290 EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

Brasília/DF
MMA
2025

© 2025 Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Permitida a reprodução sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio, se citados a fonte do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima ou sítio da Internet no qual podem ser encontrados os originais em https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-deconteudo/publicacoes/mudanca-do-clima/programa-brasileiro-eliminacao-hcfcs-pbh.pdf

EQUIPE TÉCNICA

MMA

Coordenação Técnica
Frank Edney Gontijo Amorim (MMA/SMC/DPMI)

Tatiana Lopes de Oliveira Pereira (MMA/SMC/DPMI)

Gabriela Teixeira Rodrigues Lira (MMA/SMC/DPMI)

Revisão de Texto
Laura Nicoli Pereira e Silva

GIZ

Escritor (Conteúdo Técnico Internacional)
Rolf Huehren

Coordenação Técnica
Stefanie von Heinemann

Colaboração (Administração)
Mariana Silva
Ana Paula Macêdo

Tradução (inglês ⟶ português)
Renata Hetmanek (Academia das Palavras)
Markus Gern (Berlin Translators)

Projeto Gráfico, Diagramação e Arte
Lavanda Digital

Revisão e Edição de Texto
Susana Ferraz (Sete Estrelas Comunicação)

Este material foi elaborado no âmbito do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima — MMA e implementado pela Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

As ideias e opiniões expressas nesta publicação são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima — MMA ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

B823p Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
Programa brasileiro de eliminação dos HCFCs-PBH [recurso eletrônico] : treinamento e capacitação para uso seguro de CO2 e HC-290 em sistemas de refrigeração comercial. – Brasília, DF : MMA, 2025.
680 p. : il.

Modo de acesso: World Wide Web
ISBN 978-85-7738-485-3 (on-line)

1.Refrigeração comercial. 2. Boas práticas. 3. Manual. I. Título.

CDU 621.039.534

Biblioteca Nacional do Meio Ambiente
Thaís da Silva Rodrigues – CRB1/3688

Lista de figuras

Figura 1	Revoluções causadas por invenções com fluidos refrigerantes	50
Figura 2	Evolução do buraco da Camada de Ozônio	52
Figura 3	Cronogramas de eliminação do uso de CFCs e HCFCs em países desenvolvidos e em desenvolvimento, conforme o Protocolo de Montreal	53
Figura 4	Redução gradual do consumo de HFCs de acordo com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal	59
Figura 5	Diagrama de Sankey mostrando as emissões europeias totais (UE-28) das substâncias halogenadas	62
Figura 6	Emissões de equipamentos de AVAC-R	63
Figura 7	"Grande salto" para tecnologias de refrigeração verde	64
Figura 8	Visão geral das medidas de segurança ocupacional	66
Figura 9	Capacete rígido	75
Figura 10	Capacete para soldagem etc.	75
Figura 11	Luvas de segurança para brasagem	76
Figura 12	Luvas de segurança para trabalhos mecânicos	76
Figura 13	Luvas anticongelantes mecânicos	76
Figura 14	Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante e óleo	76
Figura 15	Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante R–717 e óleo	77
Figura 16	Luvas de segurança para trabalhos elétricos	77
Figura 17	Óculos de segurança	77
Figura 18	Óculos de segurança com visão completa	77
Figura 19	Óculos de segurança na cor verde	77
Figura 20	Protetores pré–moldados	78
Figura 21	Abafadores	78
Figura 22	Detector de gás portátil para o R–290	79
Figura 23	EPI detector de gás portátil para o R–744	79
Figura 24	Tratamento de primeiros socorros em caso de lesões causadas pelo frio	85
Figura 25	Plano de ação em resposta a uma emergência	86
Figura 26	Equipamento técnico e layout do local de treinamento no Senai Rio de Janeiro	89
Figura 27	Exemplo de um mapa de evacuação de emergência	91
Figura 28	Normas de segurança desenvolvidas por vários órgãos de padronização	98
Figura 29	Uso de unidades SI nos países em cinza; não utilização das unidades SI nos países em laranja	119
Figura 30	Termômetro com escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit para água (p = 1.013 mbar)	122
Figura 31	Manômetro indicando pressão absoluta e sobrepressão	124
Figura 32	Ilustrações visuais de mudanças de fases	127

Figura 33	Disposição das partículas no estado sólido agregado	128
Figura 34	Disposição das partículas no estado líquido da matéria	129
Figura 35	Disposição das partículas no estado líquido da matéria	129
Figura 36	Estados da matéria mostrados em relação às transições de fase	130
Figura 37	Relação entre entropia e entalpia com a correlação dos estados de substância da matéria	131
Figura 38	Diagrama de temperatura–entalpia da água	132
Figura 39	Diagrama de temperatura–pressão da água	133
Figura 40	Diagrama de pressão–temperatura de alguns fluidos refrigerantes	133
Figura 41	Principais componentes de um sistema de refrigeração	135
Figura 42	Princípio do processo de compressão do vapor frio no diagrama log P/h	137
Figura 43	Diagrama log P/h do R-290	138
Figura 44	Linha de líquido saturado, linha de vapor saturado e o ponto crítico	139
Figura 45	Linhas isobáricas	139
Figura 46	Linhas isentálpicas	140
Figura 47	Linhas isotérmicas	141
Figura 48	Linhas de isovapor	141
Figura 49	Linhas isentrópicas	142
Figura 50	Entrada de energia/potência no diagrama log P/h	145
Figura 51	Processos no diagrama log P/h	146
Figura 52	Exemplo de cálculo de superaquecimento útil e total para o sistema do R–290	149
Figura 53	Exemplo de cálculo de sub-resfriamento para o sistema do R-290	151
Figura 54	SGHX da Danfoss (tipo HE 0,5 a 8,0)	152
Figura 55	Diagrama de pressão – entalpia / trocador de calor interno	153
Figura 56	Integração do circuito de refrigeração do SGHX e com o ciclo de degelo a gás quente	153
Figura 57	Designações dos pontos de medição do circuito de refrigeração para relevância em diagramas de tubulação e instrumentação (PID)	154
Figura 58	Representação esquemática do diagrama completo de entalpia-pressão	156
Figura 59	Diagrama de entalpia-pressão do dióxido de carbono	157
Figura 60	Diagrama de entalpia-pressão de um circuito de refrigeração subcrítica	158
Figura 61	Diagrama de entalpia-pressão de um circuito de refrigeração transcrítica	158
Figura 62	Diagrama de temperatura/entalpia da água	161
Figura 63	Conceito de carga interna (esse diagrama mostra a situação para refrigeração)	163
Figura 64	Cálculo da carga de refrigeração para uma câmara frigorífica com o CoolSelect2 da Danfoss	165
Figura 65	Cálculo da carga de refrigeração para uma câmara frigorífica com o CoolPack da IPU	165
Figura 66	Fluxo de calor através da transmissão – Exemplo de parede de várias camadas	167
Figura 67	Pontos de ar internos e externos mostrados em um diagrama psicométrico	171

Figura 68	Classificação do grupo de segurança dos fluidos refrigerantes (de acordo com a ABNT NBR 16666)	176
Figura 69	Facilidade de aplicação dos fluidos refrigerantes naturais no setor de refrigeração	183
Figura 70	Facilidade da aplicação dos fluidos refrigerantes naturais no setor de ar condicionado	184
Figura 71	Aviso/Atenção geral	188
Figura 72	Alta pressão	188
Figura 73	Asfixia	188
Figura 74	Queimadura pelo frio	188
Figura 75	Integração da válvula esfera com o alívio de pressão dentro do circuito de refrigeração	193
Figura 76	Gelo seco no formato de barras para refrigeração de transporte	194
Figura 77	Exemplo da formação de gelo seco em uma secadora	194
Figura 78	Aviso / atenção geral	196
Figura 79	Altamente inflamável	196
Figura 80	Asfixia	196
Figura 81	Classificação de segurança dos fluidos refrigerantes	199
Figura 82	Triângulo do fogo	203
Figura 83	Fontes de ignição mais comuns	204
Figura 84	Aterramento durante o trabalho para evitar descarga eletrostática	208
Figura 85	Intervalos de concentração de algumas substâncias inflamáveis selecionadas	209
Figura 86	Suspeita de operação de recolhimento de fluido refrigerante para dentro do condensador (“*pump out*”)	216
Figura 87	Explosão e combustão rápidas e grandes	216
Figura 88	“Efeito diesel” – Exemplo de recolhimento de fluido refrigerante para dentro do condensador (“*pump out*”), se houver entrada de ar envolvida	216
Figura 89	Exemplo de organização do cilindro OFDN com regulador de pressão	218
Figura 90	Conjunto do manômetro de pressão intermediário	219
Figura 91	Exemplo de vaso de expansão	220
Figura 92	Manual de boas práticas fixado em painel	223
Figura 93	Refratômetro	224
Figura 94	Escala de índices de refração, para proteção contra congelamento, usada na medição da solução de propilenoglicol e água	224
Figura 95	Ventilação de ar automática	225
Figura 96	Aplicação de fluidos refrigerantes naturais em diferentes faixas de temperatura	230
Figura 97	Comparação das diferenças genéricas na aplicação e no manuseio do R-717, R-744, R-290	235
Figura 98	Sistemática da cadeia de frio	236
Figura 99	Exemplo de PID	255
Figura 100	Exemplo de chave de fenda	262
Figura 101	Exemplo de conjunto de alicates	262
Figura 102	Exemplo de chave de boca de 10” ajustável com punho de plástico	262

Figura 103 Exemplo de conjunto de alicates de crimpagem com sortimento de conectores de cabos 262
Figura 104 Exemplo de testador de tensão sem contato 262
Figura 105 Exemplo de ímã para operar válvula solenoide 262
Figura 106 Exemplo de conjunto de chaves allen 263
Figura 107 Exemplo de curvador de tubos – cabeça tripla 263
Figura 108 Exemplo de cortador de tubos 263
Figura 109 Exemplo de vacuômetro digital (SUPCO VG64) 263
Figura 110 Exemplo de vacuômetro digital (Testo 552i) 263
Figura 111 Exemplo de conjunto de ferramentas de serviço antifaíscas para o circuito de refrigeração inflamável 263
Figura 112 Conjunto manifold do R-744 com duas válvulas 264
Figura 113 Exemplo de manifold eletrônico de quatro vias para até 90 fluidos refrigerantes incluindoo R-744 subcrítico (Testo 557s) 264
Figura 114 Exemplo de conjunto manifold 264
Figura 115 Exemplo de bomba de vácuo 264
Figura 116 Exemplo de analisador de fluido refrigerante 264
Figura 117 Exemplo de recolhedora (RDA HC-3) 264
Figura 118 Exemplo de recolhedora (Wigam EASYREC-3EX) 265
Figura 119 Exemplo de ventilador à prova de explosão (Wigam) 265
Figura 120 Exemplo de ventilador à prova de explosão (RDA) 265
Figura 121 Exemplo de balança eletrônica 265
Figura 122 Exemplo de cilindro de recolhimento de fluido refrigerantes recarregável 265
Figura 123 Exemplo de cilindro de recolhimento para fluidos refrigerantes inflamáveis 265
Figura 124 Exemplo de cilindro de R-744 em aço de válvula dupla 265
Figura 125 Exemplo de cilindro de R-744 com válvula de extração para líquido (tubo pescador) 265
Figura 126 Exemplo de cilindro de R-744 recarregável com válvula dupla para líquido e vapor 265
Figura 127 Exemplo de mangueiras de transferência de fluido refrigerante com registro bola 266
Figura 128 Exemplo de conjunto de mangueiras de alta pressão 266
Figura 129 Exemplo de kit de teste do sistema para o R-744 266
Figura 130 Exemplo de mangueira de carga do R-744 266
Figura 131 Exemplo de adaptador de latão 266
Figura 132 Exemplo de válvula de acesso ao circuito de refrigeração 266
Figura 133 Exemplo de ferramenta de extração do núcleo da válvula Schrader 266
Figura 134 Exemplo de detector eletrônico de gás projetado para as características dos fluidos refrigerantes HC, HCFC e HFC 267
Figura 135 Exemplo de vazamento de referência fixo para conexões no cilindro do fluido refrigerante 267
Figura 136 Ferramenta de verificação da sensibilidade do R-744 267
Figura 137 Exemplo de detector eletrônico de gás projetado para uso com fluidos refrigerantes HC e amônia (Inficon Gas-Mate) 267

Figura 138 Exemplo de detector de gás para uso com gás marcador 267

Figura 139 Exemplo de detector eletrônico de gás R-744 267

Figura 140 Exemplo de detector de gás portátil 267

Figura 141 Exemplo de testador de tensão de dois polos 268

Figura 142 Alicate amperímetro digital 268

Figura 143 Exemplo de testador de resistência do isolamento 268

Figura 144 Exemplo de termômetro digital para alimentos 268

Figura 145 Exemplo de termômetro eletrônico 268

Figura 146 Exemplo de termômetro eletrônico 268

Figura 147 Exemplo de regulador de pressão de N_2 e/ou CO_2 269

Figura 148 Dispositivo de purga de nitrogênio 269

Figura 149 Dispositivo de teste de pressão de nitrogênio 269

Figura 150 Pulseira de aterramento 269

Figura 151 Exemplo de fio de bobina de aterramento com garra jacaré 269

Figura 152 Exemplo de plugue de aterramento 269

Figura 153 Manipulação (recarga) proibida de cilindro DOT39 (carga de líquido e gás) 271

Figura 154 Poluição ambiental com cilindro descartável para fluido refrigerante "esvaziado" DOT39 271

Figura 155 Exemplo de cilindro de HC R-290 DOT 39 com a marcação adequada 272

Figura 156 Cilindro de aço R-744 genérico com válvula de porta dupla 278

Figura 157 Cilindro R-744 recarregável com válvula de porta dupla para líquido e vapor 278

Figura 158 Exemplo de cilindro recarregável para fluidos refrigerantes inflamáveis 279

Figura 159 Tampa de proteção da válvula do cilindro (esquerda) e adaptador do cilindro para conexão da mangueira de carga com a marcação entalhada (gás inflamável) (direita) 279

Figura 160 Cartucho de fluido refrigerante HC recarregável e suporte de carga 280

Figura 161 Cilindro de fluido refrigerante descartável e suporte de carga 280

Figura 162 Codificação de cores de cilindros de gases industriais comuns de acordo com a EN1089-3 281

Figura 163 Código de cores dos cilindros de acordo com a Diretriz N do AHRI 282

Figura 164 Exemplo de etiqueta de produto perigoso (gás industrial técnico) 282

Figura 165 Exemplo de etiqueta de produtos perigosos para R-290 (propano) 283

Figura 166 Exemplos de marcação inadequada e perigosa de cilindro (N_2 esquerda / O_2 direita) 283

Figura 167 Conjunto típico de cilindro de gás comprimido e regulador de pressão (O_2) 285

Figura 168 Conexão de mangueira de transferência proibida com adaptador criado pelo usuário para um cilindro de gás comprimido (aqui, N_2) mostrada na imagem à direita; conexão proibida sem regulador de pressão (N_2) mostrada na imagem à esquerda 285

Figura 169 Carcaça de compressor destruída, uso falso de nitrogênio seco sem oxigênio para testes de pressão sem regulador de pressão 286
Figura 170 Não inflamável: Rosca direita – Comum 288
Figura 171 Inflamável: Rosca esquerda – Entalhada 288
Figura 172 Conexão do tapa-chamas à alça da tocha com cilindro individual 289
Figura 173 Conexão do tapa-chamas entre mangueiras de gás de cilindros individuais 290
Figura 174 Tapa-chamas de gás natural 290
Figura 175 Procedimentos de emergência / Incidentes envolvendo escapes de gás dos cilindros 293
Figura 176 Proibido para armazenamento interno 295
Figura 177 Exemplo de Marcações apropriadas para depósitos internos 297
Figura 178 Organização de uma sala de armazenamento interno e o projeto de ventilação cruzada (diagonal) 297
Figura 179 Área protegida para gases mais leves que o ar 297
Figura 180 Área protegida para gases mais pesados que o ar 298
Figura 181 Proibido para armazenamento externo 298
Figura 182 Exemplo de marcações apropriadas para depósitos externos 299
Figura 183 Área protegida externa para gases mais leves que o ar 299
Figura 184 Área protegida externa para gases mais pesados que o ar 300
Figura 185 Carrinho de mão para transporte de cilindro com uma correia 301
Figura 186 Distribuição de carga inadequada e perigosa em carro de serviço (esquerda) e transporte inadequado de cilindros de gás comprimido em motocicleta (direita) 302
Figura 187 Transporte inadequado de cilindros de gás não presos dentro de uma van, levando a um acidente 302
Figura 188 Acidente com cilindro de gás inflamável não preso 303
Figura 189 Segurança de carga ideal para cilindro de gás pressurizado (esquerda) e cilindro de propano seguro em pé (direita) 304
Figura 190 Carro de serviço padrão equipado de forma padrão com rack de colocação de cilindro de fluido refrigerante 304
Figura 191 Sistema de entrada de ar 305
Figura 192 Sistema de extração de ar 305
Figura 193 Sistema de ventilação de teto com função dupla 305
Figura 194 Sistema de ventilação de teto com função dupla 306
Figura 195 Aberturas de ventilação lateral 306
Figura 196 Matriz de avaliação de risco e medidas de acompanhamento 313
Figura 197 Layout dos equipamentos no modelo mini supermercado da escola Senai-IST, no Rio de Janeiro-RJ 318
Figura 198 Layout dos equipamentos no modelo mini supermercado da escola ETP, de Curitiba-PR 318
Figura 199 Representação gráfica do expositor VS6P-0, com 1x2,5m 320

Figura 200 Dimensões do expositor VS6P-0 320
Figura 201 Representação gráfica do balcão VHR-0 320
Figura 202 Dimensões do balcão VHR-0 320
Figura 203 Representação gráfica do expositor NICF 320
Figura 204 Dimensões do expositor NICF 320
Figura 205 Representação gráfica da câmara de resfriados EG300 321
Figura 206 Organização do PID nos pontos de resfriamento do sistema de loop de salmoura 321
Figura 207 Representação gráfica do expositor VSK-18 322
Figura 208 Dimensões do expositor VSK-18 322
Figura 209 Representação gráfica do balcão VCIC-18 322
Figura 210 Dimensões do balcão VCIC-18 322
Figura 211 Representação gráfica da câmara de congelados EG300 248 322
Figura 212 Organização do PID nos pontos de resfriamento do sistema de expansão seca de baixa temperatura do R-744 323
Figura 213 Sistema genérico de refrigeração em cascata 324
Figura 214 Sistema genérico de refrigeração em cascata com sistema de resfriamento 326
Figura 215 Sistema da unidade de refrigeração R-290 EcoPack 329
Figura 216 Componentes principais do skid de bombas 331
Figura 217 Sistema da unidade de refrigeração UCPack LC CO_2 333
Figura 218 Tipos de compressores 340
Figura 219 Compressor alternativo de tipo aberto 341
Figura 220 Vista em corte de compressor alternativo de tipo aberto 341
Figura 221 Compressor alternativo de tipo aberto 341
Figura 222 Vista explodida do compressor semiaberto com tampa de separação 341
Figura 223 Vista explodida do compressor semiaberto com tampa de separação 341
Figura 224 Compressor de pistão semi-hermético 342
Figura 225 Compressor de parafuso semi-hermético 342
Figura 226 Compressor alternativo de pistão semi-hermético 342
Figura 227 Compressor de parafuso semi-hermético 342
Figura 228 Compressor de lóbulo para processo industrial 342
Figura 229 Compressor de pistão alternativo hermético (RAC) 343
Figura 230 Vista em corte de compressor de pistão alternativo hermético (RAC comercial) 343
Figura 231 Compressor de parafuso hermético 343

Figura 232 Vista em corte de compressor de parafuso hermético 343
Figura 233 Compressor de pistão alternativo hermético (refrigeração doméstica) 343
Figura 234 Partes individuais do compressor alternativo hermético 343
Figura 235 Compressor de pistão rotativo hermético 343
Figura 236 Compressor de pistão rotativo hermético 343
Figura 237 Compressor do tipo scroll hermético 344
Figura 238 Compressor do tipo scroll hermético (vista interna) 344
Figura 239 Sequências do processo de compressão e fornecimento de fluido refrigerante 344
Figura 240 Dados de projeto para o compressor em cascata do R-744 Bitzer (2MSL-07K – Operado por inversor) 347
Figura 241 Ponto de operação e limites de aplicação do compressor do R-744 (baixa temperatura) 348
Figura 242 Dados de projeto para compressor em cascata do R-290 média temperatura (estágio superior) Bitzer 4EESP-4P 349
Figura 243 Dados de projeto para compressor em cascata do R-290 média temperatura (estágio superior) Bitzer 4DESP-5P 349
Figura 244 Ponto de operação e limites de aplicação do compressor do R-290 média temperatura 350
Figura 245 Compressor de pistão rotativo 351
Figura 246 Compressor de pistão rotativo 353
Figura 247 Sequência de sucção-compressão do fluido refrigerante em compressor scroll 354
Figura 248 Compressor de palheta (lâmina) rotativo 355
Figura 249 Compressor de parafuso semi-hermético 357
Figura 250 Diagrama esquemático de um compressor de parafusos gêmeos 357
Figura 251 Compressor de parafusos gêmeos semi-hermético refrigerado a gás de sucção 357
Figura 252 Extração do sistema de CO_2 em cascata (gerenciamento de óleo) 360
Figura 253 Aquecedor interno e externo do cárter 361
Figura 254 Aquecedor externo do cárter 361
Figura 255 Exemplo de separador de óleo 362
Figura 256 Exemplo de esquema unifilar 363
Figura 257 Separador de óleo do circuito do R-744 – sistema em cascata 363
Figura 258 Separador de óleo do circuito do R-744 – sistema em cascata – vista em corte dimensional 363
Figura 259 Filtro de óleo 366
Figura 260 Regulador eletrônico de nível de óleo para aplicação subcrítica do R-744 367
Figura 261 Regulador mecânico de óleo modelo S-9010 367
Figura 262 Indicações por LED 368
Figura 263 Pressostato do diferencial do óleo 369
Figura 264 Exemplo de pressostato de diferencial do óleo instalado por profissional 369

Figura 265 Pressostato de diferencial do óleo do tipo "sensor hall" eletrônico 369

Figura 266 Exemplo de pior instalação e manutenção do pressostato do diferencial do óleo 370

Figura 267 Visor de líquido do compressor Bitzer e verificação do nível de óleo 371

Figura 268 Bomba de óleo e acessórios 372

Figura 269 Visor de líquido do compressor Bitzer e verificação do nível de óleo 373

Figura 270 Troca de óleo (reabastecimento) 374

Figura 271 Exemplos de kit de teste de acidez 375

Figura 272 Compressor em condição de partida 375

Figura 273 Compressor com sistema de lubrificação altamente contaminado 376

Figura 274 Compressor e regulador do nível de óleo com manutenção ruim 376

Figura 275 Regulador do nível de óleo com condição de óleo contaminado 376

Figura 276 Kit de análise do óleo 377

Figura 277 Válvulas rotalock de diferentes estilos e finalidades 383

Figura 278 Projeto da válvula rotalock 383

Figura 279 Posição da haste da rotalok no "banco de trás": 383

Figura 280 Posição da haste da rotalok no "centro" 383

Figura 281 Posição da haste da rotalok "no banco da frente" 383

Figura 282 Princípio do fluxo paralelo do trocador de calortrocador de calor 384

Figura 283 Esquema da transferência de calor – fluxo paralelo 384

Figura 284 Fluxo do fluido e perfil de temperatura – trocador de calor de fluxo paralelo 385

Figura 285 Princípio do fluxo contrário do trocador de calor 385

Figura 286 Princípio do fluxo contrário do trocador de calor 385

Figura 287 Fluxo do fluido e perfil de temperatura – HE de fluxo contrário 385

Figura 288 Ilustração de um sistema de recuperação de calor com trocador de calor de fluxo cruzado integrado 386

Figura 289 Esquema da transferência de calor – fluxo cruzado 386

Figura 290 Processos termodinâmicos no evaporador e no condensador 387

Figura 291 Determinação da umidade relativa com $\Delta T1$ e t_0 392

Figura 292 Evaporador de tubo sem revestimento 395

Figura 293 Evaporador de tubo aletado 395

Figura 294 Evaporador do tipo placa – circuito único 396

Figura 295 Evaporador do tipo placa – vários circuitos com placas brasadas 396

Figura 296 Condensador de tubo aletado 397

Figura 297 Princípio funcional do *dry cooler* 397
Figura 298 Condensador refrigerado a água 398
Figura 299 Condensador evaporativo 399
Figura 300 Trocador de calor de placa soldada para uso como condensador e evaporador 399
Figura 301 Trocador de calor de microcanal 399
Figura 302 Local genérico do tanque de líquido dentro do circuito de refrigeração 400
Figura 303 Exemplo de tanque de líquido (todos os fluidos refrigerantes) 22,8 litros 401
Figura 304 Tanque de líquido para aplicação com R-744 PS 60 bar com trocador de calor interno para operação de sistema de refrigeração interno 401
Figura 305 Exemplo de desenho de seção do tanque de líquido 401
Figura 306 Exemplo de desenho de seção de tanque de líquido com 21 litros para R-744 e com trocador de calor interno PS 6 MPa 401
Figura 307 Extrato da integração do circuito em cascata do R-744 e do tanque de líquido 404
Figura 308 Refrigerador operado com expansão capilar 406
Figura 309 Desenho do funcionamento da válvula de expansão automática 407
Figura 310 Válvula de expansão automática 407
Figura 311 Equalização da pressão interna da válvula de expansão termostática para conexão com brasagem 409
Figura 312 Válvula de expansão termostática com equalização da pressão externa para conexão com brasagem 409
Figura 313 Desenho do funcionamento da equalização da pressão interna da válvula de expansão termostática para conexão parafusada 409
Figura 314 Desenho do funcionamento da válvula de expansão termostática com equalização da pressão externa para conexão com brasagem 409
Figura 315 Desenho do funcionamento da equalização da pressão interna da válvula de expansão termostática para conexão parafusada 409
Figura 316 Válvula de expansão termostática (visão esquemática) 409
Figura 317 Organização do sistema de refrigeração de emergência da VET TD1-0 da Danfoss para o R-290 – equalização da pressão interna (n°. 55) 410
Figura 318 Instalação típica da VET 410
Figura 319 Exemplo da posição do bulbo na linha de sucção de diâmetro de 18 mm (3/4") 411
Figura 320 Conexão falsa da linha de equalização de pressão 412
Figura 321 VET com sensor de contato duplo 413
Figura 322 Válvula de expansão eletrônica com motor de passo 414
Figura 323 VEE E2V05 da Carel, para o R-744, em instalação de pontos de resfriamento em cascata incluindo válvula de retenção (por exemplo, No 58) 414
Figura 324 Controlador de pressão de evaporação 416
Figura 325 Válvula de pressão diferencial 417
Figura 326 Válvula de pressão diferencial 417
Figura 327 Recursos de projeto que servem de exemplo para KVR e NRD 417
Figura 328 Controlador de pressão do cárter 418
Figura 329 Controlador de capacidade 418

Figura 330 Controlador de pressão do cárter 419
Figura 331 Exemplo de PID com inclusão de todos os componentes de controle primários e secundários em um circuito de refrigeração 419
Figura 332 Desenho exemplificativo do sistema de refrigeração 420
Figura 333 Demonstração em corte de filtro secador compacto 423
Figura 334 Filtro secador para sistemas capilares (aplicação doméstica) 423
Figura 335 Filtro secador para AVAC-R de conexão brasada – aplicação com R-744 423
Figura 336 Filtro secador para AVAC-R de conexão brasada 424
Figura 337 Tanque do filtro secador para conexão roscada e aplicação de refrigeração para transporte 424
Figura 338 Filtro secador para AVAC-R de carcaça de casco rosqueado 424
Figura 339 Núcleos do filtro secador substituíveis 424
Figura 340 Posição de instalação do filtro secador no sistema de média temperatura R-290 425
Figura 341 Exemplo de visor de líquido com indicador de umidade 427
Figura 342 Visor de líquido para conexão rosqueada e brasada 427
Figura 343 Partes de uma válvula solenoide 430
Figura 344 Válvula solenoide – atuação direta – corte 431
Figura 345 Exemplo de bobina ATEX Zone 2 para corpo EVR de válvula solenoide Danfoss 431
Figura 346 Colocação da válvula solenoide dentro do circuito de refrigeração 433
Figura 347 Tubo vertical selado para evitar martelo d'água 434
Figura 348 Exemplo de fixação adequada da válvula solenoide por abraçadeiras colocadas corretamente 434
Figura 349 Ferramenta de abertura da válvula solenoide (ímã permanente) usada para serviços e reparos e testes de pressão do sistema 434
Figura 350 Plugue fusível 435
Figura 351 Disco de ruptura 435
Figura 352 Válvula de cilindro de duas portas com dispositivo de alívio de pressão 436
Figura 353 Válvula de segurança – dependente da contrapressão 437
Figura 354 Curva de alívio da pressão da válvula de segurança 437
Figura 355 Válvula de segurança – independente da contrapressão 438
Figura 356 Válvula corrediça 439
Figura 357 Purga da válvula de segurança e classificação de zonas à prova de explosão, exemplo 1 440
Figura 358 Purga da válvula de segurança e classificação de zonas à prova de explosão, exemplo 2 440
Figura 359 Válvula de bloqueio para instalação com válvulas de segurança em série – proteção com vedação de chumbo 441
Figura 360 Equipamentos de proteção da vedação de chumbo 441
Figura 361 Substituição adequada da vedação de chumbo com vedação de segurança marcada 441
Figura 362 Exemplo de aplicação de válvula de segurança (extrato) para o circuito de refrigeração do R-744 subcrítico 442
Figura 363 Exemplo de pressostato para HCs 445

Figura 364 Pressostato de cartucho 445
Figura 365 Exemplo de um projeto de um pressostato duplo PSL (esquerda) e PSH (direita) 448
Figura 366 Termostato duplo para monitorar a linha de descarga e o tanque de óleo do compressor 449
Figura 367 Sensor de temperatura de contato do tubo 450
Figura 368 Termostato de segurança de descongelamento 450
Figura 369 Termostato de temperatura de contato de tubo/evaporador 451
Figura 370 Interruptor de fluxo para monitorar o fluxo de água gelada 451
Figura 371 Tanque de líquido com visores de líquido de vidro para indicação de níveis mínimo e máximo 452
Figura 372 Exemplo de dispositivo de controle de nível eletrônico 452
Figura 373 Designação, coloração e local da tubulação do fluido refrigerante 456
Figura 374 Exemplo de etiqueta de identificação de tubos carregando fluido refrigerante inflamável de acordo com a DIN 2405 457
Figura 375 Identificação da tubulação de amônia 457
Figura 376 Exemplo de acessório de cobre cotovelo curto K65 460
Figura 377 Direcionamento do tubo de sucção no compressor 462
Figura 378 Tubo ascendente de sucção vertical – evaporador mais baixo do que o compressor – carga constante 463
Figura 379 Tubo ascendente duplo na linha de sucção vertical 464
Figura 380 Direcionando o tubo de descarga para um condensador localizado acima 464
Figura 381 Direcionando o tubo de descarga para um condensador no mesmo nível 465
Figura 382 Abraçadeira de tubo com inserções de borracha no perfil coladas na braçadeira do tubo 467
Figura 383 Suporte de tubo isolado para tubos de sução e temperaturas de -80 °C a 120 °C 467
Figura 384 Abraçadeira de tubo com inserções de silicone para temperaturas médias e altas até 220 °C 467
Figura 385 Exemplo de amortecedor de vibração 468
Figura 386 Vista em corte simplificada de um abafador de ruído 469
Figura 387 Exemplo de abafador de ruído 469
Figura 388 Drenagem de água do condensado 470
Figura 389 Exemplo de válvula de corte 470
Figura 390 Espaçamento entre os tubos de transferência de fluido refrigerante isolados acima do nível do solo 472
Figura 391 Etapa 1 – Instale o suporte de isolamento no tubo 473
Figura 392 Etapa 2 – Feche a sobreposição 473
Figura 393 Etapa 3 – Aperte os parafusos 473
Figura 394 Etapa 4 – Aplique o adesivo no suporte 474
Figura 395 Etapa 5 – Vedação da zona de contato 474
Figura 396 Captura de tela do CoolSelector 2 480
Figura 397 Captura de tela do CoolTools v1.1.1 480

Figura 398 Diagrama log P/h do R-290 487
Figura 399 Diagrama log P/h do R-744 488
Figura 400 Símbolos elétricos mais comuns conforme norma EN 60617 491
Figura 401 Exemplo de circuito elétrico muito simples com pilha (BT1), interruptor (S1) e lâmpada (L1) 491
Figura 402 Representação gráfica de uma situação de corrente de falha (esquerda); diagrama de circuito equivalente de uma situação de corrente de falha (direita) 495
Figura 403 Proteção RCD – Gráfico de corrente corporal perigosa 496
Figura 404 Tipos de falhas elétricas 497
Figura 405 Conceito principal de proteção elétrica 498
Figura 406 Exemplo de inserção inadequada de cabos elétricos e aterramento 500
Figura 407 Inserção de cabos e colocação de aterramento de última geração em um gabinete de controle 500
Figura 408 Símbolo do condutor de proteção 500
Figura 409 Exemplo de um RCD para aplicação de 30 mA 502
Figura 410 Regra n°1 506
Figura 411 Regra n°2 506
Figura 412 Regra n°3 506
Figura 413 Regra n°4 507
Figura 414 Regra n°5 507
Figura 415 Fluxograma de isolamento elétrico seguro a ser usado como guia das etapas de trabalho 508
Figura 416 Exemplo de alicate de eletricistas (cortador diagonal) testado em 1000 Volts com pictograma 510
Figura 417 Exemplo de cortador de tubos 511
Figura 418 Acidente com sistema de refrigeração de hidrocarboneto R-290 512
Figura 419 Adesivo de teste elétrico 513
Figura 420 Símbolo do aterramento na classe de proteção "I" 514
Figura 421 Símbolo para o isolamento duplo 515
Figura 422 Símbolo para a classe de proteção III 516
Figura 423 Exemplo de ligação equipotencial 519
Figura 424 Multímetro digital típico 522
Figura 425 Exemplo de um multímetro analógico típico 522
Figura 426 Usando um multímetro para medir tensão (diferença de potencial) 523
Figura 427 Usando um ohmímetro para medir a resistência 524
Figura 428 Usando um multímetro para medir corrente 524
Figura 429 Usando um alicate amperímetro para medir corrente 525
Figura 430 Botão de teste em um dispositivo RCD 526
Figura 431 Exemplo de cabo YSLY-JB 527

Figura 432 Exemplo de cabo H=5RR-F 527
Figura 433 Exemplo de cabo H=5RR-F 527
Figura 434 Exemplo de instalação elétrica para uso em AVAC-R 529
Figura 435 Inserção inadequada de mais de um cabo em um terminal de um compressor 529
Figura 436 Colocação e inserção de cabos de última geração nos terminais do compressor 529
Figura 437 Prensa-cabo de PVC IP67 530
Figura 438 Desenho em corte do prensa-cabo (IP67) 530
Figura 439 Prensa-cabos de latão niquelado IP68 530
Figura 440 Prensa-cabos ATEX para uso em zonas inflamáveis 531
Figura 441 Prensa-cabos simples IP54 531
Figura 442 Conector escalonado para cabos IP54 531
Figura 443 Passa fio de borracha 531
Figura 444 Ferramenta de desencapar fios 532
Figura 445 Exemplo de alicate crimpador 532
Figura 446 Pré-ajuste ideal (calibrado) na fábrica 532
Figura 447 Luvas de extremidade de fio para conexões de fios flexíveis 533
Figura 448 Crimpagem de terminais de cabos para conexões de fios flexíveis 533
Figura 449 Fazendo uma conexão crimpada de um terminal de cabo 533
Figura 450 Terminais de cabo de compressão isolados 533
Figura 451 Exemplo de terminal tubular 533
Figura 452 Exemplo de conexão elétrica de um ar condicionado do tipo split (unidade externa) 534
Figura 453 Pré-ajuste ideal (calibrado) na fábrica para terminais de cabos isolados, conectores e conectores de topo 534
Figura 454 Exemplo de plugue de alimentação – conexões elétricas 534
Figura 455 Exemplo de terminal de cabo instalado incorretamente 535
Figura 456 Exemplo de falta de luvas no condutor de energia 535
Figura 457 Exemplo de terminais de cabos inadequados (soltos), que causam arcos elétricos e queimam o fio 535
Figura 458 Visualização PID do local do laboratório-escola no modelo mini supermercado na ETP-PR e no Senai-RJ 538
Figura 459 Centro de controle e obtenção de dados Carel Boss-Mini BMESTORS0 538
Figura 460 Tela sensível ao toque para visualização e inserção de dados 538
Figura 461 Dispositivos de controle para pontos de resfriamento 539
Figura 462 Controlador de rack LT Carel pRack 100 Compacto – PRK100X3D0 540
Figura 463 Controlador de rack MT Carel UChiller Controller UCHBDE0001150 540
Figura 464 Detector de gás para instalação fixa de R-290 e R-744 544
Figura 465 Exemplo de sistema de medição de gás MF420-Ex-2.1 com aprovação ATEX para Zonas 1 e 2 544

Figura 466 Requisitos para a detecção de gás (R-717), de acordo com a EN 378 e ABNT NBR ISO 5149 546
Figura 467 Exemplo de detector eletrônico de gás 546
Figura 468 Detector de gás CO_2 (R-744) (*sniffer*) 547
Figura 469 Exemplo de detector eletrônico portátil de gás 547
Figura 470 Vazamento de referência para calibração do detector portátil de gás 547
Figura 471 Detector portátil de gás para uso como EPI 548
Figura 472 Orientação passo a passo para a análise do sistema AVAC-R sobre possíveis vazamentos de fluido refrigerante 549
Figura 473 Fluxograma de trabalho para identificação de vazamentos em campo 551
Figura 474 Métodos diretos e indiretos de detecção de vazamentos 557
Figura 475 Visão geral das opções para remover o fluido refrigerante hidrocarboneto 559
Figura 476 Exemplos de avisos de segurança 560
Figura 477 Liberação de fluido refrigerante HC para a atmosfera 562
Figura 478 Exemplos de avisos de segurança (pressão alta) 566
Figura 479 Cilindro genérico de aço do R-744 com válvula com duas portas 567
Figura 480 Cilindro de R-744 recarregável com válvula com duas portas para líquido e vapor 567
Figura 481 Cilindro do R-744 com válvula de extração para líquido (tubo de imersão) 567
Figura 482 Cilindro de recolhimento para gases inflamáveis conforme o ADR/TPED 569
Figura 483 Adaptador da válvula do cilindro HC R-290* 569
Figura 484 Adaptador da válvula do cilindro HFC R-32* 569
Figura 485 Cilindro de recolhimento conforme o DOT 570
Figura 486 Exemplo de cilindro recarregável para fluidos refrigerantes inflamáveis 572
Figura 487 Etiqueta do cilindro de recolhimento de fluido refrigerante (e óleo) (exemplo) 573
Figura 488 Cilindro de recolhimento de fluido refrigerante com conectores e interruptor OFP 574
Figura 489 Cenário de recolhimento de gás inflamável e exemplo de configuração de local de trabalho para instalação 576
Figura 490 Passo a passo para a manutenção de sistemas com fluidos refrigerantes HC 585
Figura 491 Exemplos de símbolos gerais da sinalização de segurança – R-290 586
Figura 492 Exemplos de sinalização de proibições expressas na área de trabalho - R-290 587
Figura 493 Exemplos de placas de sinalização de EPI – R-290 588
Figura 494 Garanta a ventilação apropriada na área de trabalho 591
Figura 495 Ventilador de segurança 591
Figura 496 Organização de ambientes de trabalho seguros e disposição das ferramentas apropriadas 592
Figura 497 Ventilação do fluido refrigerante HC 594
Figura 498 Cenário de recolhimento de gás inflamável e organização exemplar do local de trabalho no local da instalação 597
Figura 499 Demonstração gráfica da carga máxima do cilindro com fluidos refrigerantes HC de acordo com a EN 378-4 598
Figura 500 Configuração do teste de resistência/pressão 606

Figura 501 Disposição para realizar vácuo e carga no sistema com ferramentas e equipamentos 609

Figura 502 Passo a passo para a manutenção de sistemas com R-744 615

Figura 503 Exemplos de símbolos gerais de aviso de segurança – R-744 616

Figura 504 Exemplos de sinalização de proibições expressas na área de trabalho – R-744 617

Figura 505 Exemplos de placas de sinalização de EPI – R-744 618

Figura 506 Isolamento dos componentes do circuito de refrigeração com R-744 para a manutenção 624

Figura 507 Disposição para testes de pressão com ferramentas e equipamentos 627

Figura 508 Modelo de avaliação de risco de última hora 655

Figura 509 Permissão de trabalho geral 657

Figura 510 Formulários de avaliação geral de risco 659

Figura 511 Permissão para trabalhar – trabalho a quente 661

Figura 512 Procedimento de isolamento elétrico seguro 664

Lista de Tabelas

Tabela 1	Cronograma de eliminação do consumo de HCFCs no Brasil	55
Tabela 2	Atos regulatórios sobre a eliminação do consumo de HCFCs e HFCs no Brasil	56
Tabela 3	Estratégia de redução do consumo de HCFCs – PBH Etapa 2	57
Tabela 4	Cronograma de redução gradual para Partes A5 e A2 para fluidos refrigerantes HFC de acordo com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal	59
Tabela 5	Seleção de símbolos de segurança	71
Tabela 6	Visão geral dos EPIs para diferentes fins de proteção	74
Tabela 7	Proteção da cabeça	75
Tabela 8	Proteção para as mãos	76
Tabela 9	Proteção dos olhos	77
Tabela 10	Proteção para os pés	78
Tabela 11	Proteção auricular	78
Tabela 12	Roupas de trabalho e arnês de segurança	78
Tabela 13	Equipamentos de proteção respiratória para procedimentos técnicos de RAC	81
Tabela 14	Extintor de incêndio recomendado para aplicações de AVAC–R	84
Tabela 15	Regulamentações e regras técnicas	95
Tabela 16	Escopo de áreas de aplicação das normas internacionais	99
Tabela 17	Lista de normas aplicáveis de AVAC–R (resumo)	100
Tabela 18	Escopo de áreas de aplicação das normas internacionais	105
Tabela 19	Unidades relevantes relacionadas à refrigeração básica	119
Tabela 20	Tabelas de conversão de unidades	120
Tabela 21	Termos e definições do diagrama log P/h	142
Tabela 22	Símbolos e unidades usados (conforme a norma DIN 8941)	155
Tabela 23	Comparação da carga de refrigeração entre o cálculo manual e os resultados produzidos pelo Coolselect2 e pelo Coolpack	172
Tabela 24	Resumo dos fluidos refrigerantes mais usados	177
Tabela 25	CLP: Critérios para a categorização de gases inflamáveis	180
Tabela 26	Fluidos refrigerantes naturais: Os cinco naturais	181
Tabela 27	Propriedades físicas e químicas do R-744	189
Tabela 28	Concentração do CO_2 (R-744) no ar e os efeitos físicos no corpo humano	190
Tabela 29	Pressões operacionais calculadas típicas e em ociosidade	191
Tabela 30	Propriedades físicas e químicas do R-290	197
Tabela 31	Defeitos no sistema de refrigeração devido a produtos de reações químicas	213

Tabela 32 Cilindro comumente usado para OFDN e gás marcador 217
Tabela 33 Pureza do OFDN e misturas 217
Tabela 34 Exemplos de designação de fluidos refrigerantes orgânicos 226
Tabela 35 Compostos de fluidos refrigerantes, significado e átomos 229
Tabela 36 Designação e classificação dos principais (cinco grandes) fluidos refrigerantes naturais 230
Tabela 37 Valores limite de temperatura crítica para alimentos 238
Tabela 38 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Tubulações (EN 1861) 242
Tabela 39 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Válvulas (EN 1861) 244
Tabela 40 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Acionadores (EN 1861) 245
Tabela 41 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Bombas (EN 1861) 246
Tabela 42 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Acessórios (EN 1861) 247
Tabela 43 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Trocadores de calor (EN 1861) 247
Tabela 44 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Filtros (EN 1861) 248
Tabela 45 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Vasos (EN 1861) 249
Tabela 46 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Separadores (EN 1861) 249
Tabela 47 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Compressores e bombas de vácuo (EN 1861) 250
Tabela 48 Resumo da simbologia padronizada para RAC - Ventiladores (EN 1861) 251
Tabela 49 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Motores elétricos (EN 1861) 251
Tabela 50 Resumo da simbologia padronizada para RAC – Montagem de motores, compressores e bombas (EN 1861) 252
Tabela 51 Formatos gerais dos símbolos (EN 1861) 253
Tabela 52 Aparelhos de indicação de pressão, controle e segurança (EN 1861) 253
Tabela 53 Aparelhos de indicação de temperatura, controle e segurança (EN 1861) 254
Tabela 54 Exemplos de softwares disponíveis para cálculos técnicos de AVAC-R e seleção de componentes 256
Tabela 55 Instruções de embalagem do ADR P200 e exemplos de especificações de cilindros recarregáveis 274
Tabela 56 Exemplo de tamanhos comuns e especificações para cilindros de fluidos refrigerantes recarregáveis 275
Tabela 57 Acessórios para cilindros e tanques de fluido refrigerante 276
Tabela 58 Acessórios/portas de serviço para equipamentos 277
Tabela 59 Compatibilidade de gases para armazenamento 295
Tabela 60 Perigos comuns relativos a perigos ocupacionais 312
Tabela 61 Dimensões e medidas de câmaras de resfriados e de congelados 319
Tabela 62 Lista não exaustiva de componentes (como aplicáveis) de um circuito de refrigeração 335
Tabela 63 Parâmetros de projeto do sistema subcrítico do R-744 baixa temperatura (em cascata) 348

Tabela 64 Parâmetro de projeto do sistema de estágio superior subcrítico média temperatura (em cascata) para Senai-RJ e ETP 349

Tabela 65 Lubrificantes para sistemas de refrigeração 381

Tabela 66 Informações do fabricante do lubrificante 382

Tabela 67 Determinação da diferença de temperatura motriz "ΔT_1" em Kelvin (K) 390

Tabela 68 Determinação da capacidade do trocador de calor 392

Tabela 69 Pressões no trocador de calor 393

Tabela 70 Pontos de mudança de cor por causa do conteúdo de umidade de alguns fluidos refrigerantes selecionados 428

Tabela 71 Indicador de tipo N para R-134a, R-22, R-32, R-404A, R-407A, R-407C, R-407F, R-407H, R-410A, R-448A, R-449A, R-450A, R-452A, R-452B, R-454B, R-454C, R-455A, R-463A, R-507, R-513A,R-515B, R-1233zd(E), R-1234ze(E), R-1234yf, R-1270, R-744 (CO_2) 428

Tabela 72 Visão geral dos controles de alta pressão 446

Tabela 73 Visão geral dos controles de baixa pressão 447

Tabela 74 Designação da tubulação de um sistema de refrigeração 455

Tabela 75 Tubos de cobre para tecnologia de refrigeração de acordo com a EN 12735-1 460

Tabela 76 Espaçamento máximo recomendado dos suportes para tubo de cobre 466

Tabela 77 Perda na capacidade de refrigeração devido à perda de pressão 475

Tabela 78 Velocidade do fluxo de fluido refrigerante recomendado 476

Tabela 79 Comprimento do tubo equivalente para válvulas de corte e cotovelos em m 477

Tabela 80 Comprimento do tubo equivalente para componentes e acessórios em m 478

Tabela 81 Tabela de pressão do vapor do R-290 481

Tabela 82 Tabela de pressão do vapor do R-744 484

Tabela 83 Valores de corrente e seus efeitos no corpo humano 493

Tabela 84 Resistência elétrica em caso de falha no circuito 494

Tabela 85 Condições de trabalho permitidas em componentes de circuitos energizados 510

Tabela 86 Tensão de segurança extrabaixa 515

Tabela 87 Classe de proteção IP 516

Tabela 88 Fatores para a seleção de cabos 526

Tabela 89 Codificação geral por cores dos fios 528

Tabela 90 Principais componentes do SCD para instalações no laboratório-escola modelo mini supermercado 537

Tabela 91 Visão geral dos métodos diretos de detecção de vazamentos em campo 552

Lista de abreviações

Sigla	Definição
AB	Alquilbenzenos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Ar Condicionado
ACGIH	Conferência Americana de Higienistas Governamentais e Industriais (do inglês, American Conference of Governmental and Industrial Hygienists)
ADR	Acordo Europeu Relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Rodovia (do inglês, Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road)
ADN	Acordo Europeu Relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Vias Navegáveis Interiores
AHRI	Instituto de Ar Condicionado, Aquecimento e Refrigeração (do inglês, Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute)
ANSI	Instituto Nacional Americano de Normas (do inglês, American National Standards Institute)
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APPCC	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (do inglês, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
ASME	Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (do inglês, American Society of Mechanical Engineers)
ASTM	Sociedade Americana para Testes e Materiais (do inglês, American Society for Testing and Materials)
ATC	Correção Automática de Temperatura (do inglês, Automatic Temperature Compensation)
ATEL	Limite de Exposição à Toxicidade Aguda (do inglês, Acute Toxicity Exposure Limit)
ATEX	Atmosfera Explosiva (do francês, Atmosphères Explosibles)
AVAC-R	Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração
BS	Norma Britânica (do inglês, British Standard)
BPVC	Código de Caldeiras e Vasos de Pressão (do inglês, Boiler and Pressure Vessel Code)
CAA	Lei do Ar Limpo (do inglês, Clean Air Act)

CAS	Chemical Abstracts Service
CC	Corrente Contínua
CCV	Custo do Ciclo de Vida
CEE-ONU	Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa
CE	Conformidade Europeia
CEN	Comitê Europeu de Normalização (do francês, Comité Européen de Normalisation)
CENELEC	Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica (do francês, Comité Européen de Normalisation Electrotechnique)
CFC	Clorofluorcarbono
CFO	Clorofluorolefina
CFR	Código de Regulamentos Federais dos EUA (do inglês, Code of Federal Regulations)
CGA	Associação de Gases Comprimidos (do inglês, Compressed Gas Association)
CGPM	Conferência Geral de Pesos e Medidas
CLP	Classificação, Rotulagem e Embalagem (do inglês, Classification, Labelling and Packaging)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPD	Centro de Processamento de Dados
CSA	Associação Canadense de Normas (do inglês, Canadian Standards Association)
CTF/APP	Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais
DIN	Instituto Alemão de Normalização (do alemão, Deutsches Institut für Normung)
DML	Filtro secador
DN	Diâmetro nominal
DOT	Departamento de Transporte (do inglês, Department of Transportation)
DTU	Universidade Técnica da Dinamarca
DVS	Associação de Soldagem da Alemanha (do alemão, Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.)

EC	Comunidade Europeia (do inglês, European Community)
EEC	Comunidade Econômica Europeia (do inglês, European Economic Community)
EINECS	Inventário Europeu de Substâncias Químicas Comerciais Existentes (do inglês, European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances)
ELINCS	Lista Europeia de Substâncias Químicas Notificadas (do inglês, European List of Notified Chemical Substances)
EN	Norma Europeia (Normas)
EPA	Equipamento de Proteção Individual
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (do inglês, Environmental Protection Agency)
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ESD	Descarga Eletrostática (do inglês, Electrostatic Discharge)
ETP	Escola Técnica Profissional
EUA	Estados Unidos da América
EVR	Válvula solenoide
EW	Comunidade Econômica Europeia (do alemão, Europäische Wirtschaftsgemeinschaft)
FDS	Ficha de Dados de Segurança
FML	Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHS	Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (do inglês, Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNC	Gases Não Condensáveis
GS	Segurança Comprovada (do alemão, Geprüfte Sicherheit)
GWP	Potencial de Aquecimento Global (do inglês, Global Warming Potential)
HACCP	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (do inglês, Hazard Analysis and Critical Control Points)
HC	Hidrocarboneto

HCC	Hidroclorocarbono
HCFC	Hidroclorofluorcarbono
HCFO	Hidroclorofluorolefina
HCO	Hidroclorolefina
HFC	Hidrofluorcarbono
HFO	Hidrofluorolefina
HO	Hidrolefina (alceno; alqueno)
HSIT	Temperatura de Ignição de Superfície Quente (do inglês, Hot Surface Ignition Temperature)
HP	Cavalos (do inglês, Horsepower)
HT	Alta Temperatura (do inglês, high temperature)
IATA	Associação Internacional de Transporte Aéreo (do inglês, International Air Transport Association)
IATA-DGR	Regulamentos de Produtos Perigosos da IATA (do inglês, IATA Dangerous Goods Regulations)
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional (do inglês, International Electrotechnical Commission)
IIAR	Instituto Internacional de Refrigeração com Amônia (do inglês, International Institute of Ammonia Refrigeration)
IMD	Dispositivos de Monitoramento de Isolamento (do inglês, Insulation Monitoring Devices)
IMDG	Código Marítimo Internacional de Mercadorias Perigosas (do inglês, International Maritime Dangerous Goods Code)
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IoT	Internet das Coisas (do inglês, Internet of Things)
ISO	Organização Internacional de Padronização (do inglês, International Organization for Standardization)
LCCP	Desempenho Climático durante o Ciclo de Vida (do inglês, Life Cycle Climate Performance)
LED	Diodo Emissor de Luz (do inglês, Light Emitting Diode)
LEO	Limite de Exposição Ocupacional
LEP	Limite de Exposição Permitida

LII	Limite Inferior de Inflamabilidade
LMRA	Avaliação de risco de último hora (do inglês, Last Minute Risk Assessment)
LP	Limite Prático
LSI	Limite Superior de Inflamabilidade
LT	Baixa Temperatura (do inglês, low temperature)
LVD	Diretiva de Baixa Tensão (do inglês, Low Voltage Directive)
MAC	Ar Condicionado Automotivo (do inglês, Mobile Air Conditioning)
MAK	Limite Máximo de Concentração no Local de Trabalho (do alemão, Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen)
MEK	Departamento de Engenharia Mecânica
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MT	Média Temperatura
NA	Normalmente Aberta
NIST	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (do inglês, National Institute of Standards and Technology)
NBR	Norma Brasileira
NPT	Rosca Cônica (do inglês, National Pipe Taper)
NPTF	Rosca Cônica Selada a Seco (do inglês, National Pipe Taper Fuel)
NR	Normas Regulamentadoras
NRC	Cilindro Não Recarregável (do inglês, Non-Refillable Cylinder)
NRD	Regulador de Pressão do Tanque de Líquido
NRV	Válvula de Retenção (do inglês, non-return valve)
NZ	Índice de Neutralização (do inglês, neutralization number)
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
ODL	Limite de Privação de Oxigênio (do inglês, Oxygen Deprivation Limit)

ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OEM	Fabricante de Equipamento Original (do inglês, Original Equipment Manufacturer)
OFDN	Nitrogênio Seco Sem Oxigênio (do inglês, Oxygen-Free Dry Nitrogen)
OFP	Proteção Contra Sobrecarga (do inglês, Overload Protection)
OHS	Saúde e Segurança Ocupacional (do inglês, Occupational Health and Safety)
ONU	Organização das Nações Unidas
OSHA	Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (do inglês, Occupational Safety and Health Administration)
PAO	Polialfaolefinas
PAG	Polialquilenoglicol
PBH	Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs
PCC	Pontos Críticos de Controle
PCC	Perclorocarbono
PCO	Perclorolefina
PDO	Potencial de Destruição da Camada de Ozônio
PE	Terra de Proteção (do inglês, Protective Earth)
PED	Diretiva de Equipamentos Sob Pressão (do inglês, Pressure Equipment Directive)
PET	Polietileno Tereftalato
PFC	Perfluorocarbono
PFO	Perfluorolefina
PID	Diagrama de Tubulação e Instrumentação (do inglês, Piping and Instrumentation Diagrams)
PMS	Pantone Matching System
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

POE	Óleo à base de poliéster
PS	Pressão Operacional Máxima Permitida
PSIG	Libras por Polegada Quadrada Manométrica (do inglês, Pounds Per Square Inch Gauge)
PTC	Coeficiente de Temperatura Positivo (do inglês, Positive Temperature Coefficient)
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de Vinila
RAC	Refrigeração e Ar Condicionado
RCCB	Disjuntor Diferencial Residual (do inglês, Residual Current Circuit Breaker)
RCD	Dispositivo de Corrente Residual (do inglês, Residual Current Device)
REACH	Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Substâncias Químicas (do inglês, Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)
REFPROP	Propriedades de Fluidos de Referência (do inglês, Reference Fluid Properties)
RID	Regulamento para o Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Caminho de Ferro
RPD	Dispositivo de Pressão Residual (do inglês, Residual Pressure Device)
RV	Válvula rotalock (do inglês, Rotalock valve)
SAE	Sociedade de Engenheiros Automotivos (do inglês, Society of Automotive Engineers)
SCD	Sistema de Controle Distribuído
SDOs	Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio
Senai	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SGI	Visor de líquido com indicador de umidade (do inglês, Sight Glass with Indicator)
SGHX	Trocador de Calor de Gás de Sucção (do inglês, Suction Gas Heat Exchanger)
SI	Sistema Internacional de Unidades (do francês, Système International d'unités)
SNAP	Política de Novas Alternativas Significativas (do inglês, Significant New Alternatives Policy)
SPDT	Interruptor de pólo único e duplo lance (do inglês, Single Pole Double Throw)
STL	Limitadores de Temperatura de Segurança (do inglês, Safety Temperature Limiter)

SV	Válvula de segurança (do inglês, Safety Valve)
TC	Transport Canada
TEAP	Painel de Avaliação Técnica e Econômica (do inglês, Technical and Economic Assessment Panel)
TERA	Toxicologia de Excelência para Avaliação de Risco (do inglês, Toxicology Excellence for Risk Assessment)
TES	Seção de Energia Térmica (do inglês, Section of Thermal Energy)
TEWI	Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global (do inglês, Total Equivalent Environmental Impact)
TFA	Ácido trifluoroacético (fórmula CF_3COOH – do inglês, Trifluoroacetic Acid)
TPED	Diretiva de Equipamentos sob Pressão Transportáveis (do inglês, Transportable Pressure Equipment Directive)
TRBS	Regras Técnicas para Segurança Operacional (do alemão, Technische Regeln für Betriebssicherheit)
UBA	Agência Ambiental Federal Alemã (do alemão, Umweltbundesamt)
UE	União Europeia
UL	Underwriters Laboratories
UN	Nações Unidas (do inglês, United Nations)
UNF	Rosca Unificada Fina (do inglês, Unified-National-Thread-Fine)
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
UNIDO	Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
USD	Dólar dos Estados Unidos (do inglês, United States Dollar)
UV	Ultravioleta
UVB	Radiação Ultravioleta B
VAC	Volts de Corrente Alternada (do inglês, Volts Alternating Current)
PRV	Válvula de Alívio de Pressão (do inglês, Pressure Relief Valve)
VCA	Volts de Corrente Alternada
VDC	Volts de Corrente Contínua (do inglês, Volts Direct Current)

VDE	Associação Alemã de Tecnologias Elétricas, Eletrônicas e de Informação (do alemão, Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik)
VDI	Associação de Engenheiros Alemães (do alemão, Verein Deutscher Ingenieure)
VEA	Válvula de Expansão Automática
VEE	Válvula de Expansão Eletrônica
VET	Válvula de Expansão Termostática
VRF	Fluxo Variável de Fluido Refrigerante (do inglês, Variable Refrigerant Flow)
VRV	Volume Variável de Fluido Refrigerante (do inglês, Variable Refrigerant Volume)
XPS	Poliestireno Extrudado

Apresentação

Em 2007, durante a comemoração dos 20 anos de existência do Protocolo de Montreal e após o bem-sucedido processo de eliminação do consumo de CFCs (clorofluorcarbonos), as Partes do Protocolo de Montreal, incluindo o Brasil, decidiram antecipar o cronograma de eliminação do consumo de HCFCs, por meio da aprovação da Decisão XIX/6.

Para tal fim, o governo brasileiro coordenou a elaboração do **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH)**, contando com a participação de entidades representativas dos setores privado e governamental. O cronograma de eliminação do consumo de HCFCs foi dividido em etapas. A Etapa I do PBH, que ocorreu no período de 2013 a 2019, eliminou 16,6% do consumo de HCFCs. A Etapa II vem sendo implementada desde 2017 e contribuiu para a eliminação de 39,3% do consumo de HCFCs em 2020 e de 51,6% em 2021. A Etapa III do PBH, aprovada durante a 94ª Reunião do Comitê Executivo do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal, em maio de 2024, já eliminou 67,5% do consumo de HCFCs e promoverá ainda a eliminação de 100%, em 2030.

O PBH abrange projetos para a redução do consumo dos HCFCs nos setores de manufatura e de serviços de equipamentos de refrigeração comercial e de ar condicionado, entre outros.

A entidade responsável pela coordenação do PBH é o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). A Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH é uma empresa federal alemã de cooperação internacional para o desenvolvimento sustentável que atua, no âmbito do PBH, como responsável pela execução de projetos para o setor de serviços, visando reduzir o consumo de HCFCs — com foco principal no R-22 e o R-141b — e, ao mesmo tempo, introduzir o uso seguro e eficiente de fluidos refrigerantes alternativos de zero potencial de destruição da Camada de Ozônio (PDO) e de baixo potencial de aquecimento global (GWP).

Desde a Etapa I do PBH, as ações para o setor de serviços têm priorizado a capacitação técnica de profissionais de campo e a disseminação das boas práticas e tecnologias alternativas aos HCFCs. Até o final 2025, mais de 16.000 profissionais foram capacitados em boas práticas em refrigeração, visando à melhor contenção dos HCFCs, durante a instalação, a operação, a manutenção e o reparo de equipamentos de refrigeração e ar condicionado, por meio de parcerias com escolas técnicas de todo o País.

Uma parte essencial deste trabalho, voltada a facilitar a transição para o uso seguro de fluidos refrigerantes alternativos, tem sido o desenvolvimento de conhecimentos e habilidades abrangentes, além da disseminação das boas práticas sobre o uso seguro e eficiente de tecnologias alternativas de baixo GWP, destinadas a engenheiros/as, técnicos/as e operadores/as envolvidos em projeto, fabricação, vendas, instalação, manutenção, reparo e uso de sistemas de refrigeração e ar condicionado. Para isso, os projetos do PBH para o setor de serviços têm aprimorado as capacidades institucionais e estruturas técnicas de instituições de ensino técnico profissionalizante, possibilitando assim a realização de centenas decursos de capacitação modernos e de última geração para técnicos/as e engenheiros/as de campo.

Neste sentido, destaca-se o Projeto de Treinamento para **Uso Seguro e Eficiente de CO_2 e R-290 em Sistemas de Refrigeração Comercial**, que tem como meta a capacitação 3.300 técnicos/as que atuam neste setor em diversas regiões do País até 2030.

Este manual, desenvolvido especialmente para este treinamento, visa oferecer orientação profissional aos técnicos/as que trabalham no setor, para a aplicação das boas práticas e manuseio seguro de CO_2 e R-290 durante os trabalhos em campo, principalmente durante os serviços de manutenção e reparo. Além da segurança, as boas práticas trazem benefícios ao meio ambiente e qualidade aos serviços prestados, proporcionando maior vida útil e melhor eficiência energética dos sistemas de refrigeração e ar condicionado.

Com o objetivo de permitir que os profissionais participantes do curso pratiquem e aprimorem suas habilidades durante o treinamento, foram implantados centros de treinamento inéditos no país, em escolas parceiras do PBH. Esses centros de treinamento foram equipados com um laboratório em formato de mini supermercado, contendo equipamentos e ferramentas nacionais e importados de última geração, para demonstrações práticas, sendo integralmente financiados com recursos do Programa. Espera-se que este manual facilite e proporcione a acumulação, o aprimoramento e o intercâmbio de conhecimento durante as aulas e, ao mesmo tempo, sirva como material de capacitação para profissionais que não puderam participar nos cursos presencialmente.

Está prevista a atualização regular deste manual (impresso e on-line) para integrar sugestões recebidas e acompanhar a evolução das ações desenvolvidas.

Sumário

1 Introdução **49**

2 Impacto ambiental da refrigeração e políticas relacionadas **52**

2.1 Destruição do ozônio e o Protocolo de Montreal 52

2.2 Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH) 53

2.3 Mudança do Clima e a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal 58

2.4 Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global (TEWI) 60

2.5 Subproduto da degradação persistente 61

2.6 De olho no futuro: tecnologias de refrigeração verde 62

3 Segurança **66**

3.1 Seleção de símbolos e sinais importantes de saúde e segurança – ISO 7010 71

3.2 EPI 73

3.2.1 Visão geral de EPIs 74

3.2.2 Equipamentos de proteção respiratória 80

3.2.3 Proteção contra incêndio 82

3.2.3.1 Extintores de incêndio 82

3.2.3.2 Manutenção 83

3.2.3.3 Classificação 83

3.2.3.4 Tipos de extintores de incêndio 83

3.3 Primeiros socorros 85

3.3.1 Emergência 85

3.3.2 Primeiros socorros gerais em caso de exposição ao fluido refrigerante 87

3.3.3 Primeiros socorros gerais em caso de exposição a gelo seco 87

3.3.4 Primeiros socorros envolvendo acidentes causados por correntes elétricas 88

3.4 Plano de emergência 89

3.4.1 Plano de emergência para sistema de refrigeração em cascata com R–744 e R–290 89

3.4.2 Equipamento técnico e layout do local de treinamento como disponíveis no Senai – Unidade Benfica[3] – Rio de Janeiro (RJ) 89

3.4.3 Os cenários de emergência, no mínimo, devem refletir 90

3.4.4 Procedimentos de emergência (veja também o Capítulo 3.4.1) 90

3.4.5 Gerenciamento de incêndio causado por PROPANO (ou combinado com as medidas da edificação) 91

3.4.5.1 Funções e responsabilidades 91

3.4.5.2 Equipamento e recursos de emergência 92

3.4.5.3 Treinamento e exercícios 92

3.4.5.4 Conformidade com regulamentos 92

3.4.5.5 Revisões e atualizações 92

4 Regulamentações, regras e normas técnicas para RAC **94**

4.1 Principais áreas de foco 94

4.2 Foco no Brasil 94

4.3 Regulamentações e regras técnicas com reconhecimento internacional 95

4.4 Normas técnicas 97

5 Visão geral das tecnologias AVAC-R **108**
5.1 Classificação dos níveis de temperatura em sistemas AVAC-R 109
5.2 Descrição dos setores 111
5.2.2 Refrigeração industrial 112
5.2.3 Ar condicionado fixo 112
5.2.4 *Chiller* 113
5.2.5 Refrigeração doméstica 114
5.2.5.1 Tipos mais comuns 114
5.2.5.2 Eficiência energética 114
5.2.6 Ar condicionado automotivo (MAC) 114
5.2.6.1 Aplicações comuns 115
5.2.6.2 Fluido refrigerante 115
5.2.6.3 Fonte de energia 115
5.2.7 Refrigeração para transporte 115
5.2.7.1 Aplicações comuns 115
5.2.7.2 Fluido refrigerante 116
5.2.7.3 Fontes de energia 116
5.2.8 Espuma expansiva 116
5.3 Termodinâmica básica 116
5.3.1 O sistema internacional de unidades – SI 118
5.3.2 O que é calor? 121
5.3.3 O que é temperatura? 121
5.3.4 O que é pressão? 123
5.3.5 Relação entre conteúdo de calor e temperatura 124
5.3.6 Como transferir calor 125
5.3.6.1 Principais leis da termodinâmica 125
5.3.6.2 Condução 126
5.3.6.3 Convecção 126
5.3.6.4 Radiação 126
5.3.7 Estado da matéria 127
5.3.8 Influências da temperatura e da pressão 132
5.3.9 Reconciliação e comparação com fluidos refrigerantes 133
5.3.10 Princípio da refrigeração 134
5.3.11 A tarefa de um sistema de refrigeração 134
5.3.12 Os quatro principais componentes de circuito de um sistema de refrigeração 136
5.3.13 Circuito de compressão do vapor frio 137
5.3.14 O diagrama log P/h 138
5.3.14.1 Linha de líquido saturado e linha de vapor saturado 138
5.3.14.2 Linhas isobáricas 139
5.3.14.3 Linhas isentálpicas 140
5.3.14.4 Linhas isotérmicas 140
5.3.14.5 Linhas de isovapor 141
5.3.14.6 Linhas isentrópicas 142
5.3.14.7 Termos e definições do diagrama log P/h 142
5.3.14.8 Entrada de energia/potência no diagrama log P/h 145
5.3.14.9 Circuito de refrigeração mostrado no diagrama log P/h 145

5.3.14.9.1 Processo de compressão 147
5.3.14.9.2 Processo de condensação 147
5.3.14.9.3 Processo de expansão 147
5.3.14.9.4 Processo de evaporação 148
5.3.14.9.5 Superaquecimento 148
5.3.14.9.6 Exemplo de cálculo de superaquecimento 149
5.3.14.9.7 Sub-resfriamento 150
5.3.14.9.8 Exemplo de cálculo de sub-resfriamento 150
5.3.14.9.9 Trocador de calor interno (trocador de calor de gás de sucção - suction gas heat exchanger ou SGHX), aumento do sub-resfriamento 151
5.3.14.10 Circuito de refrigeração genérico mostrado para determinação do ponto de medição 154
5.3.14.11 Diagrama de entalpia-pressão do dióxido de carbono (R-744) 156
5.3.14.9.12 Significado da operação em sistema de refrigeração subcrítica e transcrítica 159
5.4 Cálculo de carga de refrigeração 160
5.4.1 Carga de refrigeração e aquecimento 161
5.4.2 Cálculo da carga térmica de refrigeração/aquecimento 163
5.4.3 Carga de refrigeração: câmara frigorífica 164
5.4.4 Tempo de operação projetado em sistemas de AVAC-R 173
5.5 Fluidos refrigerantes 174
5.5.1 Fluidos refrigerantes primários 174
5.5.1.1 ABNT NBR 16666 – Classificação de segurança dos fluidos refrigerantes 176
5.5.1.2 ABNT NBR ISO 5149 – Sistemas de refrigeração e bombas de calor 178
5.5.1.3 GHS/CLP e outras classificações de segurança dos fluidos refrigerantes para transporte e uso 178
5.5.1.4 Visão geral dos fluidos refrigerantes naturais 181
5.5.1.5 Hidrocarbonetos 181
5.5.1.6 Dióxido de carbono (R-744) 184
5.5.1.7 Amônia (R-717) 184
5.5.1.8 Água (R-718) 185
5.5.1.9 Ar (R-729) 185
5.5.1.10 Mudança do tipo de fluido refrigerante 185
5.5.1.11 Categorias de trocas de fluidos refrigerantes 187
5.5.2 Declarações gerais e propriedades do R-744 – Dióxido de carbono (CO_2) 188
5.5.2.1 Os cinco potenciais perigos do R-744 (CO_2) 189
5.5.2.2 Asfixia 190
5.5.2.3 Altas pressões de operação do sistema de refrigeração 191
5.5.2.4 Líquido preso 192
5.5.2.5 Formação de gelo seco 193
5.5.2.6 Queimadura pelo frio 194
5.5.2.7 Exigência de pureza do R-744 195
5.5.2.8 Reatividade do R-744 com água/umidade: 195
5.5.2.9 Reatividade do R-744 com ar, oxigênio e nitrogênio 196
5.5.3 Declarações gerais e propriedades do R-290 – Hidrocarboneto (HC) 196

5.5.4 Definições de inflamabilidade para fluidos refrigerantes 197
5.5.4.1 Limite inferior de inflamabilidade (%, kg/m³) 199
5.5.4.2 Limite superior de inflamabilidade (%, kg/m³) 199
5.5.4.3 Limite prático (kg/m³) 200
5.5.4.4 Velocidade de propagação da chama (velocidade de chama) 200
5.5.4.5 Energia mínima de ignição 200
5.5.4.6 Calor de combustão 201
5.5.4.7 Ponto de fulgor 201
5.5.4.8 Temperatura de autoignição 201
5.5.5 Abordagem básica para trabalhar com fluidos refrigerantes inflamáveis 201
5.5.6 Fontes de ignição de fluidos refrigerantes inflamáveis 203
5.5.6.1 Raios 204
5.5.6.2 Chamas abertas 204
5.5.6.3 Faíscas geradas por impacto mecânico 205
5.5.6.4 Faíscas geradas por fricção mecânica 205
5.5.6.5 Faíscas elétricas / Fontes de ignição elétricas 205
5.5.6.6 Alta temperatura da superfície 206
5.5.6.7 Descarga eletrostática (ESD) 207
5.5.6.8 Radiação eletromagnética 208
5.5.7 Concentração de substâncias inflamáveis 209
5.5.7.1 Exigência de pureza do R-290 209
5.5.7.2 Reatividade do R-290 com água/umidade: 210
5.5.8 Gases não condensáveis (GNCs) e umidade 210
5.5.8.1 Como lidar com gases não condensáveis (GNC) e umidade 211
5.5.8.2 O que causa a presença de gases não condensáveis (GNC) em um circuito de refrigeração? 211
5.5.8.3 Quais são os problemas associados a gases não condensáveis? 211
5.5.8.4 Reações químicas no circuito de refrigeração e seus efeitos 212
5.5.8.5 Identificação da água no circuito de refrigeração 213
5.5.8.6 Remoção de gases não condensáveis e água dos circuitos de refrigeração 213
5.5.8.7 O "efeito diesel", combustão por autoignição e explosão 214
5.5.8.7.1 Por que o motor a diesel também é chamado de motor de ignição por compressão (autoignição)? 214
5.5.8.7.2 Qual é a relação com AVAC-R e quando isso pode acontecer durante reparos em equipamentos de AVAC-R? 214
5.5.9 A importância do uso do nitrogênio seco sem oxigênio (OFDN) no setor de AVAC-R 216
5.5.9.1 Pureza do OFDN e misturas 217
5.5.9.2 Regulador de pressão 219
5.5.10 Fluidos refrigerantes secundários (glicóis) usados para o sistema de refrigeração em cascata 220
5.5.10.1 Como os glicóis funcionam como fluidos refrigerantes secundários 221
5.5.10.2 Propriedades genéricas dos glicóis 221
5.5.10.3 Comparação entre o etilenoglicol e o propilenoglicol 221
5.5.10.4 Vaso de expansão para o circuito hidráulico de salmoura 222
5.5.10.5 Determinação da concentração da salmoura (mistura de propilenoglicol e água) 224
5.5.10.6 Retirada de ar do circuito de fluido secundário da salmoura 225

5.5.11 Nomenclatura das substâncias possibilita diferenciação simples 226
5.5.11.1 Designação de fluidos refrigerantes orgânicos explicada de forma simples com exemplos 226
5.5.11.2 Outras exceções na designação de fluidos refrigerantes orgânicos 227
5.5.11.3 Designação de compostos inorgânicos no grupo 700 227
5.5.11.4 Misturas de fluidos refrigerantes pertencem aos grupos 400 e 500 228
5.5.11.5 Tipos de fluidos refrigerantes e prefixos 229
5.6 Campos de aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis 230
5.6.1 Hidrocarbonetos 231
5.6.2 Dióxido de carbono 231
5.6.3 Amônia 233
5.6.4 Água 233
5.6.5 Ar 234
5.6.6 Diferenças gerais na hora de manusear e realizar atividades de serviço com amônia, dióxido de carbono e hidrocarbonetos 234
5.6.7 A importância da cadeia de frio 235
5.6.7.1 Armazenamento de alimentos e vacinas 237
5.6.7.2 Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC / HACCP) 237
5.7 Comunicação técnica 239
5.7.1 Regras gerais para a preparação de um fluxograma — Um guia básico para o treinamento de profissionais de serviço 240
5.7.1.1 Determinar a finalidade 240
5.7.1.2 Reunir informações 240
5.7.1.3 Identificar os componentes necessários do circuito de refrigeração (conforme aplicável) 241
5.7.1.4 Usar símbolos padronizados para o desenho do circuito (desvios na aparência) 241
5.7.1.5 Indicar o sentido do fluxo 241
5.7.1.6 Mostrar a funcionalidade do sistema 241
5.7.1.7 Acrescentar instrumentação 242
5.7.1.8 Incluir etiquetas 242
5.7.1.9 Revisar e aprimorar 242
5.7.1.10 Criar uma versão digital e documentar 242
5.7.2 Extraído da norma EN 1861 242
5.7.3 Exemplo de PID 255
5.8 *Softwares* para cálculos técnicos de AVAC-R e seleção de componentes 256
5.9 Ferramentas e equipamentos de trabalho específicos para uso com o R-290 e o R-744 261
5.10 Transporte de fluidos refrigerantes 270
5.10.1 Tipos de cilindro 270
5.10.1.1 Cilindros de fluido refrigerante descartáveis 271
5.10.1.2 Detalhes técnicos para cilindros descartáveis 272
5.10.1.3 Cilindros descartáveis que viram sucata 273
5.10.1.4 Recolhimento de conteúdo e descarte/reciclagem adequados de cilindros de fluido refrigerante descartáveis (fluidos refrigerantes inflamáveis) 273
5.10.1.5 Cilindros de fluido refrigerante recarregáveis 274
5.10.1.6 Cilindros de recolhimento de fluidos refrigerantes 275

5.10.1.7 Acessórios do cilindro 276
5.10.2 Cilindros para uso de dióxido de carbono (R-744) 278
5.10.3 Cilindros para uso de hidrocarbonetos 279
5.10.4 Código de cores e identificação de cilindros industriais mais comuns com gases comprimidos 280
5.10.4.1 Código de cores seguindo a EN 1089-3 280
5.10.4.2 Código de cores do cilindro de fluido refrigerante descartável DOT39 de acordo com a Diretriz N do AHRI 2017 281
5.10.5 A etiqueta de produtos perigosos e os códigos de registro internacionais 282
5.10.6 Reguladores de pressão para cilindros 284
5.10.7 Teste de vazamentos e falhas em cilindros e conexões de gás 287
5.10.8 Composição de um conjunto típico de cilindro de gás comprimido e regulador de pressão 287
5.10.8.1 Saídas de válvulas 287
5.10.8.2 Tapa-chamas para brasagem, solda e corte 288
5.10.9 Dispositivos de alívio de pressão (veja também o Capítulo 8.8) 290
5.10.10 Cilindros em uso 291
5.10.10.1 Manuseio e uso de cilindros de gás 292
5.10.10.2 Preparação da estação de trabalho 292
5.10.10.3 Incidentes perigosos 293
5.10.11 Armazenamento de cilindros 294
5.10.11.1 Perigos e precauções 294
5.10.11.2 Armazenamento interno de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos 295
5.10.11.3 Depósitos internos 296
5.10.11.4 Armazenamento externo de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos 298
5.10.11.5 Depósitos externos 298
5.10.12 Transporte 300
5.10.12.1 Transporte de cilindros de gás em ambientes internos 300
5.10.12.2 Transporte de cilindros de gás em ambientes externos 301
5.10.12.3 Ventilação durante o transporte 304
5.10.12.4 Regulamentos sobre o transporte de fluidos refrigerantes 306
5.10.12.5 Unidades pré-carregadas contendo fluidos refrigerantes inflamáveis 308

6 Avaliação de risco 310

6.1 O que é mão de obra qualificada 314
6.2 Avaliação de risco de última hora (LMRA) 314
6.3 Permissões de trabalho 314
6.4 Instruções de segurança anuais recorrentes para funcionários no setor de reparos de AVAC-R 315

7 Identificação de equipamentos e componentes 318

7.1 Expositores e balcões 319
7.2 Câmaras de resfriados e câmaras de congelados 319
7.3 Visualização dos pontos de resfriamento de média temperatura 319
7.4 Fluxo hidráulico do propilenoglicol nos pontos de resfriamento de média temperatura 321
7.5 Visualização dos pontos de resfriamento de baixa temperatura 322

7.6 Circuito de refrigeração de expansão seca do R-744 para pontos de resfriamento de baixa temperatura 323
7.7 O sistema de refrigeração em cascata para R-744 e R-290 323
7.8 Sistema de resfriamento de emergência para CO_2 (unidade *backup*) 325
7.9 Descrição operacional da unidade EcoPack com propano 327
7.9.1 Função operacional do sistema de refrigeração genérico 328
7.9.2 Uma operação em separado 328
7.9.3 Skid de bombas, *dry cooler* e aquecimento da água 329
7.10 Descrição operacional da unidade EcoPack com CO_2 331

8 Componentes principais e auxiliares do circuito de refrigeração 335

8.1 Compressores 339
8.1.1 Compressor aberto 341
8.1.2 Compressor semiaberto 341
8.1.3 Compressor semi-hermético 342
8.1.4 Compressor hermético 343
8.1.5 Função de compressores alternativos 344
8.1.5.1 Volume de deslocamento 345
8.1.5.2 Cálculo do volume de referência da eficiência volumétrica 346
8.1.5.3 Limites operacionais do compressor 347
8.1.6 Compressor de pistão rotativo 351
8.1.7 Compressor do tipo scroll 352
8.1.8 Compressor de palhetas rotativas 354
8.1.9 Compressor de parafuso 355
8.1.10 Gerenciamento de óleo do compressor 357
8.1.10.1 Falhas na pressão do óleo/lubrificação insuficiente 359
8.1.10.2 Defeitos devido à sobrecarga de óleo 359
8.1.10.3 Aquecedor do cárter 360
8.1.10.4 Separador de óleo 361
8.1.10.5 Filtro de óleo 365
8.1.10.6 Regulador do nível de óleo (dispositivo de gerenciamento de óleo) 366
8.1.10.7 Pressostato do diferencial do óleo 368
8.1.10.8 Lubrificação centrífuga 370
8.1.10.9 Remoção e acréscimo de óleo ao compressor 370
8.1.10.9.1 Requisitos gerais 371
8.1.10.9.2 Procedimentos de operação de óleo (drenagem e abastecimento) 372
8.1.10.10 Procedimentos de testes de lubrificantes 375
8.1.10.10.1 Amostras 377
8.1.10.10.2 Procedimento de amostragem padrão 377
8.1.10.11 Lubrificantes para compressores de refrigeração 377
8.1.10.11.1 Requisitos para padrões de alta qualidade de óleos lubrificantes para refrigeração e ar condicionado 378
8.1.10.11.2 A função do óleo lubrificante em um compressor de refrigeração 379
8.1.10.11.3 Propriedades dos óleos lubrificantes e como o óleo de refrigeração se distingue dos demais óleos 379
8.1.10.11.4 Tipos de lubrificantes 381
8.1.10.11.5 Como escolher o lubrificante certo 382

8.1.10.12 Válvulas rotalock 382
8.2 Trocador de calor 384
8.2.1. Classificações dos trocadores de calor de acordo com sua organização de fluxo 384
8.2.1.1 Princípio do fluxo paralelo 384
8.2.1.2 Princípio do fluxo contrário 385
8.2.1.3 Princípio do fluxo cruzado 386
8.2.2 Processos que ocorrem no evaporador e no condensador 386
8.2.3 Determinação da capacidade do trocador de calor 389
8.2.3.1 Área da superfície "A" em m^2 389
8.2.3.2 Coeficiente de transferência de calor - valores U em $W/(m^2 \times K)$ 389
8.2.3.3 Diferença entre os valores "U" e "k" 389
8.2.3.4 Diferença de temperatura motriz "ΔT_1" em Kelvin (K) 390
8.2.3.5 Diagrama de ΔT_1 e da umidade relativa rH na determinação do valor em % no evaporador (câmaras frigoríficas) 392
8.2.3.6 Cálculo da capacidade do "trocador de calor" 392
8.2.3.7 Pressões no trocador de calor 393
8.2.4 Trocador de calor, tipo de fabricação 394
8.2.4.1 Evaporador 395
8.2.4.2 Condensador 397
8.3 Tanque de líquido 400
8.3.1 Considerações para instalação do tanque de líquido 401
8.3.2 Dimensionamento do tanque de líquido 402
8.3.3 Detecção do nível de carga do fluido refrigerante líquido 403
8.3.4 Redução da carga de fluido refrigerante para fluidos refrigerantes inflamáveis 403
8.3.5 Integração do tanque de líquido dentro do circuito de refrigeração em cascata com R-744 (extrato) 404
8.4. Controladores primários e secundários 405
8.4.1. Controlador primário – tipos de dispositivo de expansão 405
8.4.1.1. A expansão do tubo capilar 405
8.4.1.2 Válvula de expansão automática (VEA) 406
8.4.1.3 Válvula de expansão termostática (VET) 407
8.4.1.4 Válvula de expansão eletrônica (VEE) 413
8.4.2 Controlador secundário 415
8.4.2.1 Controlador de pressão de evaporação 416
8.4.2.2 Pressão do condensador e controlador de pressão do tanque 416
8.4.2.3 Controlador de pressão do cárter (controle de partida) 418
8.4.2.4 Controlador de capacidade 418
8.4.2.5 Controlador de pressão do tanque de líquido 419
8.4.2.6 Exemplo de PID com inclusão de todos os componentes de controle primários e secundários em um circuito de refrigeração 419
8.4.2.7 Desenho exemplificativo do sistema de refrigeração 420
8.5 Filtro secador 421
8.5.1 Umidade no circuito de refrigeração 421
8.5.2 Funções do filtro secador 422
8.5.3 Construção do filtro secador 422
8.5.4 Instalação do filtro secador 424

8.6 Visor de líquido 426
8.6.1 Verificação da condição do fluido refrigerante e do nível de carga do circuito de refrigeração 426
8.6.2 Indicador de umidade 427
8.7 Válvulas solenoides 429
8.7.1 Operação básica 429
8.7.2 Recursos de projetos genéricos 430
8.7.3 Válvula solenoide para aplicação com R-290 (bobina para aplicação ATEX Zona 2) 431
8.7.4 Parada por recolhimento (sistema "*pump down*") 432
8.7.5 Sistema *"pump out"* *432*
8.7.6 O propósito de ambos os sistemas 432
8.7.7 Golpe de líquido causado pela ativação abrupta da válvula solenoide 432
8.7.8 Instalação da válvula solenoide 433
8.8 Equipamentos de segurança 435
8.8.1 Dispositivo de alívio de pressão 435
8.8.2 Válvulas de alívio de pressão 436
8.8.2.1 Válvula de segurança dependente de contrapressão 437
8.8.2.2 Válvula de segurança independente de contrapressão 438
(válvula de alívio de pressão) 438
8.8.2.3 Válvula corrediça 438
8.8.2.4 Considerações para aplicações do R-744 439
8.8.2.5 Considerações para aplicações do R-290 439
8.8.2.6 Instalação e operação de válvulas de bloqueio simples para válvulas de segurança em série 441
8.8.3 Exemplo de aplicação para válvulas de segurança (PID do R-744 subcrítico) 442
8.8.4 Guia passo a passo para projetar uma válvula de segurança para um sistema de refrigeração 442
8.8.4.1 Determinar os parâmetros do sistema 442
8.8.4.2 Calcular a capacidade de descarga 443
8.8.4.3 Selecionar a válvula apropriada 443
8.8.4.4 Dimensionar a saída da válvula 443
8.8.4.5 Definir local e orientação da instalação 443
8.8.4.6 Validação e documentação 443
8.8.4.7 Fazer manutenção regularmente 444
8.8.4.8 Considerar a declaração geral para instalação de válvulas de segurança e tubulação de purga (conforme EN 13136) 444
8.8.5 Dispositivos de manobra para limitar a pressão 445
8.8.5.1 Resumo dos pressostatos de alta pressão 446
8.8.5.2 Resumo dos pressostatos de baixa pressão 446
8.8.5.3 Configuração de dispositivos de rearme automático para limitação da pressão (de acordo com a ABNT NBR ISO 5149) 447
8.8.5.4 Projeto e ajuste do pressostato (exemplo com o pressostato duplo KP17 da Danfoss) 448
8.8.6 Dispositivo limitador de temperatura 449
8.8.7 Chave de controle de fluxo de água 451
8.8.8 Monitoramento do nível do fluido refrigerante líquido 452
9 Tubulação do fluido refrigerante (cobre) 454

9.1 Requisitos 454
9.2 Rupturas na tubulação 454
9.3 Roteamento e marcação da tubulação do fluido refrigerante 455
9.4 Dimensões e especificações da tubulação 458
9.5 Seleção do material da tubulação para a aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis (R-290) 459
9.6 Seleção do material da tubulação para a aplicação do fluido refrigerante R-744 (CO_2) 459
9.6.1 Aplicações subcríticas 459
9.6.2 Aplicações transcríticas 460
9.7 Instalação da tubulação 461
9.8 Tecnologias de união de tubulação 465
9.9 Suporte da tubulação 466
9.9.1 Espaçamento dos suportes do tubo 466
9.9.2 Seleção de abraçadeiras para os tubos 466
9.9.3 Roteamento dos tubos de descarga do compressor 467
9.9.4 Roteamento de tubos de condensado do fluido refrigerante 467
9.9.5 Amortecedor de vibração 468
9.9.6 Abafador de ruído 469
9.10 Condensado do evaporador e drenagem de água 469
9.11 Isolamento térmico das tubulações de transferência de fluido refrigerante 470
9.12 Dimensionamento da tubulação 474
9.12.1 Considerações relevantes do dimensionamento da tubulação para o R-744 (CO_2) 476
9.12.2 Considerações relevantes do dimensionamento da tubulação para o R-290 (HC) 476
9.13 Cálculo da perda de pressão e do diâmetro interno das tubulações 476
9.13.1 Perda de pressão na tubulação do fluido refrigerante 477
9.13.2 Cálculo do diâmetro interno 478
9.14 *Software* de seleção da tubulação 479
9.15 Vapor – Tabela de pressão 481
9.16 Diagrama log P/h 487

10 Segurança Elétrica & Controles do Sistema 454

10.1 Símbolos elétricos mais comuns 490
10.2 Sistemas elétricos - Riscos e medidas de Segurança 492
10.3 Efeitos da corrente elétrica no corpo humano 492
10.3.1 Corrente e Tensão 493
10.3.2 Resistência/Impedância 493
10.3.3 Duração do contato 496
10.4 Falhas elétricas 496
10.4.1 Proteção contra falhas elétricas 498
10.4.2 Condutores de proteção 501
10.4.3 O uso de dispositivos de proteção contra corrente residual 502
10.5 Dispositivos de segurança elétrica em sistemas de controle de refrigeração 503
10.6 Choque elétrico 504
10.6.1 Remoção de pessoas 504
10.6.2 Tratamento 504

10.7 As cinco regras de segurança 505
10.8 Precauções de segurança ao seguir o "Fluxograma de Isolamento Elétrico Seguro" 507
10.9 Precauções de segurança ao manusear seções de instalações com circuitos energizados, ferramentas elétricas, conexões de linha e de plugue, máquinas e equipamentos 509
10.9.1 Precauções de segurança ao trabalhar em seções de instalações com circuitos energizados 509
10.9.2 Precauções de segurança ao trabalhar com ferramentas elétricas, conexões de linha e de plugue, máquinas e equipamentos 510
10.9.3 Testes regulares de segurança de equipamentos elétricos por pessoa competente 512
10.10 Classes e classificações de proteção elétrica 513
10.10.1 Classes de proteção contra choque elétrico 513
10.10.2 Classe de proteção "0" – sem proteção especial 513
10.10.3 Classe de proteção "I" – Aterramento de proteção 514
10.10.4 Classe de proteção "0I" 515
10.10.5 Classe de proteção "II" – Proteção por isolamento duplo ou reforçado 515
10.10.6 Classe de proteção "III" – Tensão de segurança extrabaixa 515
10.10.7 Proteção contra Ingresso (IP) 516
10.11 Verificação elétrica de aparelhos e sistemas AVAC-R 517
10.11.1 Instrumentação 517
10.11.2 Inspeção geral 518
10.11.3 Ligação equipotencial principal 518
10.11.4 Medição da resistência do isolamento em sistemas elétricos 520
10.11.4.1 Passo a passo de acompanhamento da medição de resistência do isolamento 520
10.11.4.2 Medição da impedância do loop 521
10.11.4.3 Medindo as tensões operacionais 521
10.11.5 O multímetro 521
10.11.5.1 Medição de tensão 523
10.11.5.2 Medição de resistência 523
10.11.5.3 Medição de corrente 524
10.11.5.4 Segurança do instrumento 525
10.11.5.5 Testes em sistemas de proteção 525
10.12 Cabos e condutores flexíveis 526
10.12.1 Instalação fixa de cabos e conexões à rede pública de eletricidade 526
10.12.2 Sistema harmonizado CENELEC na Europa 527
10.12.3 Uso da cor do fio 528
10.12.4 Colocação e fixação de cabos e condutos flexíveis 528
10.13 Sistemas de entrada de cabos (prensa-cabos) 529
10.14 Linha elétrica e conexões via plugue 531
10.14.1 Exemplos de conexões elétricas adequadas 534
10.14.2 Exemplos inapropriados de instalações em campo 535
10.15 Sistema de Controle Distribuído (SCD) para AVAC-R 536
10.15.1 Controlador de sistema distribuído 538
10.15.2 Controlador do ponto de resfriamento 539
10.15.3 Controlador de rack 540

11 Detecção de gás e de vazamentos **542**
11.1 Casas de máquinas e instalações fixas 542
11.2 Detectores portáteis de gás (*sniffers*) 546
11.3 Monitor pessoal de gás usado como EPI (exemplo) 547
11.4 Monitoramento de vazamentos 548
11.5 Orientação passo a passo para a análise de vazamentos de fluido refrigerante 548
11.6 Métodos diretos de detecção de vazamentos 550
11.7 Métodos indiretos de detecção de vazamento de fluido refrigerante 556

12 Recolhimento, reciclagem e regeneração **599**
12.1 Liberação de hidrocarbonetos para a atmosfera 559
12.2 Liberação de dióxido de carbono (CO_2 – R-744) para a atmosfera 560
12.3 Manuseio com liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera 560
12.3.1 Ferramentas e equipamentos 563
12.3.2 Preparação para liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera 563
12.3.3 Processo de liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera 563
12.3.4 Após a liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera 564
12.4 Manuseio com liberação do fluido refrigerante dióxido de carbono para a atmosfera 564
12.4.1 Detecção e sensores de gás 565
12.4.2 Pressão muito alta do fluido refrigerante 566
12.4.3 Carga e esvaziamento do fluido refrigerante R-744 566
12.4.4 Cilindro para carga e recolhimento do fluido refrigerante R-744 567
12.4.5 Pressão e temperatura — condições de segurança, como resfriamento de emergência e outros 568
12.5 Recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis 569
12.5.1 Cilindros de recolhimento 569
12.5.2 Uso de cilindros de recolhimento 570
12.5.3 Aviso de gases não condensáveis 571
12.5.4 Marcação de cilindros de recolhimento com fluidos refrigerantes inflamáveis 572
12.5.5 Interruptores de bloqueio de recolhimento de fluido refrigerante – Proteção conta sobrecarga (OFP) com cilindros conforme o DOT 574
12.5.6 Procedimento de recolhimento de fluidos refrigerantes gasosos ou líquidos 574
12.5.7 Descrição do processo 575
12.5.7.1 Ferramentas e equipamentos 576
12.5.7.2 Equipamentos de segurança 577
12.5.7.3 Preparação do recolhimento 577
12.5.7.4 O processo de recolhimento 578
12.5.7.5 Etapas finais de recolhimento 578
12.5.7.6 Após o recolhimento 579

13 Assistência técnica e manutenção **581**
13.1 Manutenção de sistemas com fluido refrigerante inflamável R-290 (HCs) 582
13.1.1 Desafios na manutenção de sistemas com R-290 583
13.1.2 Importância da manutenção de sistemas com R-290 584
13.1.3 Práticas recomendadas para a manutenção de sistemas com R-290 584

13.1.4 Passo a passo para a manutenção de sistemas com fluidos refrigerantes HC 585
13.1.5 Descrição das Etapas, de nº 1 a 11, de trabalho em sistemas de refrigeração HC 586
13.2 Manutenção de Sistemas com R-744 (CO_2) 611
13.2.1 Desafios na manutenção de sistemas com R-744 611
13.2.2 Importância da manutenção de sistemas com R-744 613
13.2.3 Práticas recomendadas para a manutenção de sistemas com R-744 614
13.2.4 Passo a passo para a manutenção de sistemas com R-744 615
13.2.5 Descrição das Etapas de trabalho, de nº 1 a 11 , em sistemas com R-744 (CO_2) 616
13.3 Teste de pressão com OFDN 632
13.4 Manutenção Preventiva Planejada 633

14 Comunicação, documentação e relatório 636

14.1 Produção de relatórios 636
14.2 Boas práticas e ferramentas 636
14.3 Registros e tipos de registros 637
14.3.1. Registros físicos 637
14.3.2 Registros eletrônicos 637
14.3.3 Registros empresariais 637
14.3.4 Registros setoriais 637
14.3.5 Registros legais 637
14.3.6 Registros de correspondência 638
14.3.7 Registros de contabilidade 638
14.3.8 Registros dos funcionários 638
14.3.9 Registros de progresso 638
14.3.10 Registros variados 638
14.4 Requisitos para comunicações e documentos técnicos de acordo com a ABNT NBR ISO 5149 Partes 1 a 4 638
14.4.1 Parte 1: Requisitos de segurança para o projeto 639
14.4.2 Parte 2: Requisitos de estanqueidade e força mecânica 639
14.4.3 Parte 3: Requisitos de instalação e operação 640
14.4.4 Parte 4: Requisitos de supervisão, manutenção e inspeção de operações 640

Referências 642

Anexos 655

Anexo 1: Avaliação de risco de última hora 655
Anexo 2: Permissão de trabalho geral 657
Anexo 3: Formulário de avaliação geral de risco 659
Anexo 4: Permissão para trabalhar – trabalho a quente 661
Anexo 5: Procedimento de isolamento elétrico seguro 664
Anexo 6: *Checklist* de manutenção preventiva 665

01

INTRODUÇÃO

1 Introdução

O setor de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R) vai passar por muitas mudanças nos próximos anos. O consumo de muitos fluidos refrigerantes atuais será eliminado ou reduzido gradualmente, de acordo com o Protocolo de Montreal e a sua Emenda de Kigali, por causa dos danos que causam ao meio ambiente quando liberados para a atmosfera. Isso inclui o Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (PDO) e o Potencial de Aquecimento Global (GWP). Além disso, a eficiência energética dos equipamentos está se tornando cada vez mais importante. Para profissionais capacitados do setor de AVAC-R, isso representa muitos desafios, pois novas tecnologias estão entrando no mercado.

Existem diversos riscos relacionados ao trabalho no setor de AVAC-R. Por um lado, danos ambientais podem ser causados por meio da liberação de substâncias durante a operação e a manutenção, o que contribui para a destruição do ozônio e para o aquecimento global. Por outro lado, a segurança pessoal dos profissionais qualificados que lidam com os equipamentos e com os fluidos refrigerantes, bem como a segurança dos usuários, precisa ser garantida. Os perigos incluem: intoxicação, queimadura por causa do fluido refrigerante, sufocamento, incêndio e explosão, além de falhas elétricas que podem provocar incêndio ou choque elétrico, ou instalações malfeitas que levam ao vazamento do fluido refrigerante.

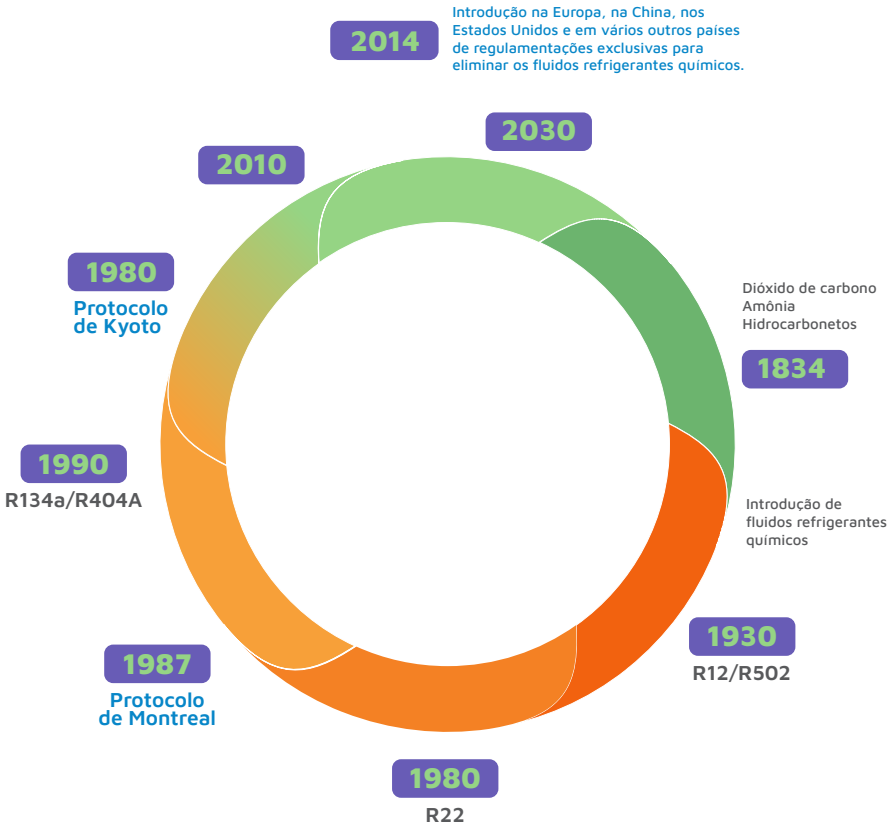
A redução de gases causadores do efeito estufa, como os hidrofluorcarbonos (HFCs) geralmente exige uma combinação entre mudanças tecnológicas, ação regulatória e desenvolvimento de capacidades humanas. Com a transição dos hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) e HFCs (saturados) com alto Potencial de Aquecimento Global (GWP) para os fluidos refrigerantes não nocivos ao clima, incluindo fluidos refrigerantes naturais e uma série de HFCs insaturados (HFOs) com GWP muito baixo, as características técnicas dos fluidos refrigerantes mudam drasticamente no que diz respeito à inflamabilidade, toxicidade e/ou nível de pressão operacional.

Os atuais candidatos a fluidos refrigerantes com GWP de "moderado" a "ultra-baixo" não são realmente uma novidade. O primeiro fluido refrigerante "profissional" usado foi o éter etílico (R-610), seguido da amônia (R-717). A amônia tem sido usada em sistema de refrigeração industrial há mais de 130 anos e é considerada inofensiva para o meio ambiente, econômica e com eficiência energética. Nos processos industriais, os hidrocarbonetos e o dióxido de carbono (R-744) têm sido usados desde os primeiros anos do século XIX. A maioria dos fluidos refrigerantes mencionados anteriormente é inflamável (exceto o R-744).

Nos primeiros anos do século XX, preocupações com a segurança levaram à invenção e ao uso predominante dos chamados fluidos refrigerantes de segurança, levando em consideração o problema da inflamabilidade, a ausência de normas de segurança e uma falta de componentes projetados para o uso seguro de substâncias inflamáveis. Em 1987, com a assinatura do Protocolo de Montreal e, depois, do Protocolo de Kyoto (1997), gradualmente foram feitas reconsiderações fundamentais e fornecidas orientações para retomar o uso de sustâncias naturais e de fluidos refrigerantes com baixo GWP no setor de AVAC-R moderno (veja a Figura 1).

A rápida destruição global da Camada de Ozônio, que protege a Terra da perigosa radiação UV, e as mudanças do clima, provocadas principalmente pela emissão de fluidos refrigerantes sintéticos no meio ambiente, são as razões para esses desdobramentos recentes.

Figura 1 – Revoluções causadas por invenções com fluidos refrigerantes



Fonte: SECOP GmbH.

02

IMPACTO AMBIENTAL DA REFRIGERAÇÃO E POLÍTICAS RELACIONADAS

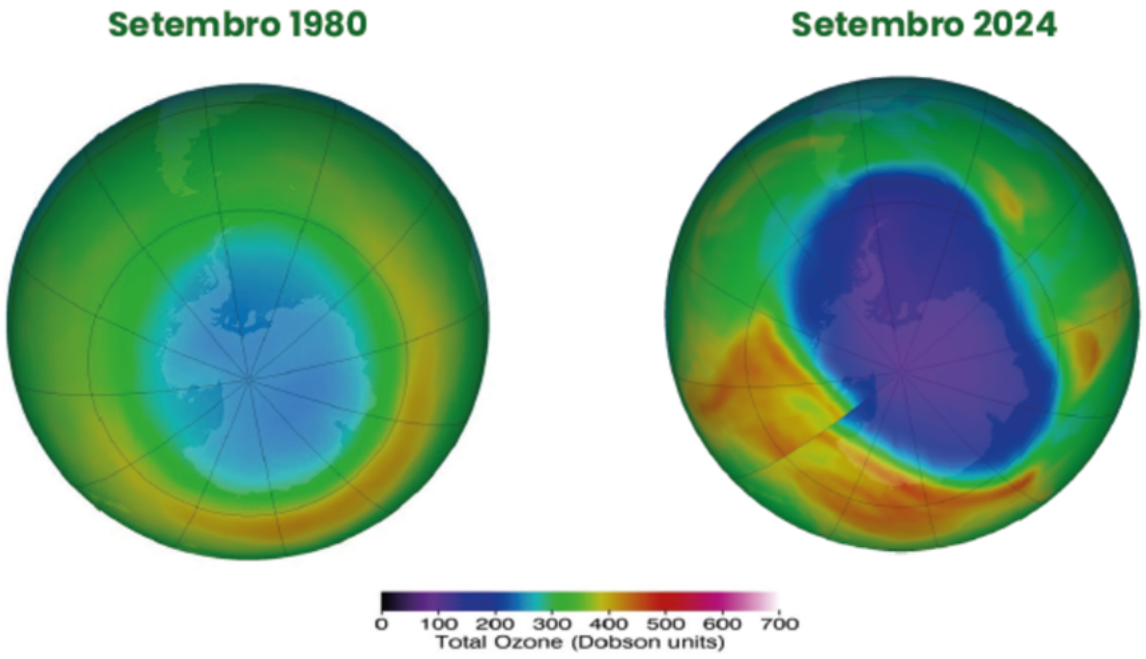
2 Impacto ambiental da refrigeração e políticas relacionadas

O desenvolvimento recente da refrigeração no século XX foi impulsionado pela descoberta dos clorofluorcarbonos (CFCs) como fluidos refrigerantes "seguros", em 1930, por Thomas Midgley e equipe. Os CFCs não são tóxicos nem inflamáveis, e logo foram usados em todas as áreas de aplicação de tecnologias de refrigeração e ar condicionado, além de várias outras, como aerossóis e agentes de expansão. Hoje, a disponibilidade de equipamentos de refrigeração e ar condicionado em todos os lugares, em especial nos veículos automotores, no setor comercial e nas residências particulares acontece sob a grande influência da invenção dos CFCs.

2.1 Destruição do ozônio e o Protocolo de Montreal

De igual importância foi a descoberta do perigoso impacto dos CFCs na atmosfera terrestre, notadamente a contribuição deles para a destruição do ozônio, feita por Rowland e Molina em 1974. O CFC R-11 é uma das mais potentes substâncias químicas responsáveis por criar o buraco na Camada de Ozônio na estratosfera sobre o Hemisfério Sul. Um único átomo de cloro emitido por CFCs pode resistir por até 100 anos na atmosfera e é capaz de destruir 100.000 moléculas de ozônio. Sendo assim, a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio, adotada em 1985, e o Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, adotado em 1987, foram criados para proteger a Camada de Ozônio de uma maior destruição (veja a Figura 2).

Figura 2 – Evolução do buraco da Camada de Ozônio

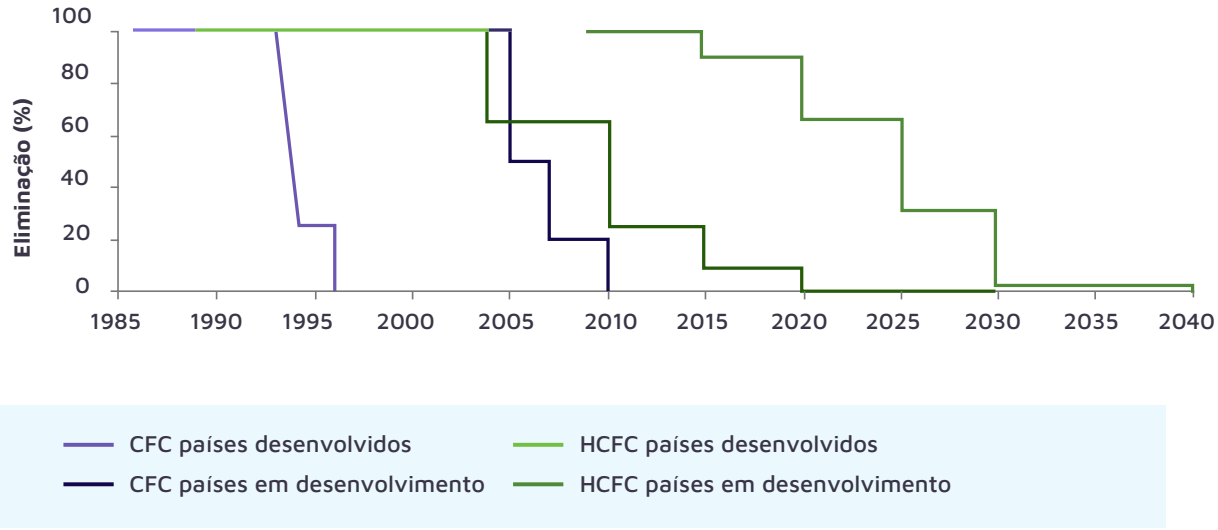


Fonte: Observatório de Ozônio da NASA.

Com as ações adotadas pelos países no âmbito do Protocolo de Montreal, a estimativa é que, entre 2050 e 2075, a Camada de Ozônio acima da Antártida volte aos níveis que tinha em 1980. As estimativas indicam que, sem as medidas globais acionadas pelo Protocolo, a destruição da Camada de Ozônio teria aumentado em pelo menos 50% no Hemisfério Norte e 70% no Hemisfério Sul. Isso significa que o dobro de raios ultravioleta teria atingido o Norte da Terra, e o quádruplo teria atingido o Sul. A quantidade de Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs) na atmosfera seria cinco vezes maior.

O Protocolo de Montreal foi ratificado por todos os países do mundo. O Brasil adotou a Convenção de Viena e o Protocolo de Montreal por meio do Decreto nº 99.280, de 06 de junho de 1990. O Protocolo de Montreal estabelece a eliminação gradual do consumo e da produção de Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs), com diferentes cronogramas para países desenvolvidos (chamados de "países do Artigo 2") e para países em desenvolvimento (chamados de "países do Artigo 5"). Houve uma proibição mundial dos CFCs desde 2010. Os HCFCs, usados inicialmente como substitutos dos CFCs, estão proibidos na maioria dos países do Artigo 2 desde 2010. Contudo, os HCFCs ainda são amplamente usados em países do Artigo 5, inclusive no Brasil onde devem ser eliminados até 2030, permitindo apenas o uso de 2,5% da linha de base em média ao longo de 10 anos, para fins de manutenção de equipamentos de refrigeração e ar condicionado (veja a Figura 3).

Figura 3 – Cronogramas de eliminação do uso de CFCs e HCFCs em países desenvolvidos e em desenvolvimento, conforme o Protocolo de Montreal



Fonte: HEAT GmbH.

2.2 **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH)**

Na 19ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, realizada em Montreal em 2007, as Partes concordaram, conforme a Decisão XIX/6, que trata do ajuste ao Protocolo de Montreal referente ao Anexo C, substâncias do Grupo I (HCFCs), em acelerar a eliminação da produção e do consumo de hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), o que exigiu uma ação urgente por parte dos países para a eliminação do consumo dos HCFCs.

Potencial de Destruição da Camada de Ozônio

O Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (PDO) de um composto químico é a quantidade relativa de degradação que ele pode causar à Camada de Ozônio. O PDO é um valor sem unidade e possibilita mostrar o potencial de danos ambientais de fluidos refrigerantes em relação a uma substância de referência. A substância de referência é o fluido refrigerante R-11 com valor PDO de 1 (100%).

As Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs) são substâncias que prejudicam a Camada de Ozônio da Terra na estratosfera. As SDOs incluem clorofluorcarbonos (CFCs) como R-12 e R-502; substâncias bromadas (ex.: R-1301, R-1211) em geral com PDOs mais altos 5–15, por conta da reação mais agressiva do bromo com o ozônio; hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) como R-22, R-123, R-142b; e misturas de substituição imediata ("drop-in") como R-408A (*retrofit* de sistemas de refrigeração à base de R-502). Os HCFCs ainda são usados como fluido refrigerante em muitos edifícios em equipamentos de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R). A definição de SDOs pode ser encontrada no Anexo A do Protocolo de Montreal.

A destruição da Camada de Ozônio aumenta a quantidade de radiação UVB que atinge a superfície da Terra e causa os seguintes impactos negativos sobre a vida terrestre:

- **Efeitos na saúde humana:** aumento nos casos de câncer de pele; os raios UVB estão associados ao desenvolvimento de catarata, que deixa turvo o cristalino do olho;
- **Efeitos nas plantas:** os raios UVB prejudicam o material genético e as proteínas, podendo ocorrer mutações. As flores em especial são sensíveis à radiação UVB, que pode provocar distúrbios reprodutivos e assim reduzir o rendimento das plantas cultivadas;
- **Efeitos nos ecossistemas marinhos:** pesquisas mostram que altos níveis de radiação solar atrapalham significativamente a fotossíntese, a absorção de nutrientes e o crescimento de algumas espécies no ambiente marinho; e
- **Efeitos nos ciclos biogeoquímicos:** um maior nível de radiação UVB pode afetar a composição química dos tecidos das plantas, a decomposição de partes mortas das plantas, a liberação de monóxido de carbono e a atividade de decompositores.

Com a finalidade de atender à Decisão XIX/6 de 2007, do Protocolo de Montreal, o Brasil elaborou o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), que contempla a estratégia de controle, redução e eliminação dos HCFCs, por meio de ações apoiadas com recursos do Fundo Multilateral para implementação do Protocolo de Montreal. Nesse contexto, o Brasil implementou com êxito a Etapa I do PBH, congelando o consumo de HCFCs em 2013, e eliminando 16,6% desse consumo em 2015. A implementação da Etapa II do PBH vem ocorrendo desde 2017, com eliminação do consumo de HCFCs de 39,3%, em 2020, e de 51,6%, em 2021. A Etapa III do PBH contemplará medidas futuras para eliminar o consumo de HCFCs em 67,5%, até 2025, e em 100% a partir de 2030. Todavia, o Protocolo de Montreal também permite a importação de 2,5% da linha de base, em média, ao longo de 10 anos (2030 a 2040), até 1° de janeiro de 2040, para a manutenção de equipamentos de refrigeração e ar condicionado existentes em 1° de janeiro de 2030 (veja a Tabela 1).

Tabela 1 – Cronograma de eliminação do consumo de HCFCs no Brasil

ANO		AÇÃO	CONSUMO MÁXIMO (t PDO)
ETAPA I	2013	Congelamento da linha de base*	1.327,30
	2015	Redução de 16,6%	1.107,00
ETAPA II	2020	Redução de 39,3%	806,10
	2021	Redução de 51,6%	642,94
ETAPA III	2024	Redução de 63,5%	484,08
	2025	Redução de 67,5%	431,40
	2027	Redução de 88,5%	152,64
	2030 - 2040	Redução de 100%	Permitido até 2,5% da linha de base no período de 01 de janeiro de 2030 a 01 de janeiro de 2040, apenas para usos nos setores definidos no Artigo 5 parágrafo 8 ter (e) (i) do Protocolo de Montreal, conforme Instrução Normativa Ibama nº 20, de 16 de dezembro de 2022.

*Linha de Base: média do consumo de HCFCs de 2009 e 2010.

Fonte: www.boaspraticasrefrigeracao.com.br.

Com a finalidade de prover assistência técnica e financeira aos países em desenvolvimento, foi instituído em 1990 o Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal (FML). O FML é administrado pelo Comitê Executivo do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal, composto por sete países desenvolvidos e sete em desenvolvimento. Os projetos financiados pelo FML são executados em 147 países em desenvolvimento, por meio de agências multilaterais da ONU e agências bilaterais dos países desenvolvidos.

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), que atua como unidade de ozônio, é a entidade responsável pela coordenação das políticas públicas e decisões aprovadas no âmbito do Protocolo de Montreal. O MMA é apoiado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), que é o órgão federal vinculado responsável pelo controle da importação, exportação, comércio, uso, destruição térmica, recolhimento, reciclagem e regeneração das SDOs. O Ibama também atua na definição e controle das cotas dessas substâncias, de prevenção ao comércio irregular e de fiscalização das empresas. O Ibama sistematiza os dados registrados no sistema de controle e monitoramento (CTF/APP) e os reporta ao MMA, para que seja realizada a comunicação anual e oficial ao FML e ao Secretariado do Protocolo de Montreal, sobre o consumo brasileiro de substâncias controladas. Esses dados oferecem uma base técnica adequada para subsidiar decisões políticas inerentes ao tema, além de apoiar a elaboração de regulamentações, o planejamento de atividades de treinamento e a promoção de campanhas de conscientização no País (veja a Tabela 2).

Tabela 2 – Atos regulatórios sobre a eliminação do consumo de HCFCs e HFCs no Brasil

Ano	Instrumento legal	Entidade	Assunto
1990	Decreto nº 99.280, de 6 de junho de 1990	Presidência da República	Promulga a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio e do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio.
2012	Portaria nº 212, de 26 de junho de 2012	MMA	Institui o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), no âmbito do Plano Nacional sobre Mudança do Clima.
2018	Instrução Normativa nº 5, de 14 de fevereiro de 2018	Ibama	Regulamenta o controle ambiental do exercício de atividades potencialmente poluidoras referentes às substâncias sujeitas a controle e eliminação, conforme o Protocolo de Montreal.
2021	Portaria nº 78, de 11 de janeiro de 2021	Ibama	Revoga a Portaria nº 2.231 e estabelece a classificação de risco de atividades econômicas associadas aos atos de liberação sob responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama e dá outras providências.
2022	Instrução Normativa nº 20, de 16 de dezembro de 2022	Ibama	Dispõe sobre as exigências e os procedimentos relacionados ao controle de importação de HCFCs e de misturas que contêm HCFCs, e estabelece os limites máximos anuais de importação de substâncias que destroem a Camada de Ozônio em toneladas de PDO. Revoga a Instrução Normativa nº 4, de 14 de fevereiro de 2018.
2023	Instrução Normativa nº 29, de 18 de dezembro de 2023	Ibama	Regulamenta as exigências e os procedimentos relacionados ao controle de importação de Hidrofluorcarbonos – HFC e misturas contendo HFC, em atenção à emenda de Kigali do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, promulgada por meio do Decreto nº 11.666, de 24 de agosto de 2023.

Fonte: MMA/Ibama.

O Brasil recebe suporte técnico do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) como agência implementadora líder, e da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH como agências cooperadoras.

A estratégia da Etapa II do PBH inclui projetos para reduzir o consumo de HCFC-22 no setor de serviços e manufatura de sistemas de refrigeração comercial (supermercados e outros) e ar condicionado e também a eliminação do HCFC-141b, usado na manufatura de espumas de poliuretano (veja a Figura 3). É importante ressaltar que o PBH foi desenvolvido de maneira conjunta e participativa, por meio de um processo aberto, transparente e democrático, no qual foi fundamental a participação de todos os setores envolvidos.

Tabela 3 – Estratégia de redução do consumo de HCFCs – PBH Etapa 2

SDO	Setor	Aplicação	Consumo a ser eliminado (t PDO)	Data limite
HCFC-141b	Ação Regulatória	PU Rígido	131,82	Até 2021
	Manufatura de Poliuretano (PU)	PU Rígido	169,08	
Subtotal			**300,90**	
HCHC-22	Ação Regulatória	RAC	1,50	Até 2023
	Manufatura de RAC	RAC	61,06	
	Manufatura de PU	PU Rígido	0,60	
	Serviços de RAC	RAC	100,00	
Subtotal			**163,16**	
Total			**464,06**	

*PU: espuma de poliuretano; RAC: refrigeração e ar condicionado

Fonte: www.boaspraticasrefrigeracao.com.br.

A GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH) é uma empresa federal alemã voltada à cooperação internacional para o desenvolvimento sustentável, que atua na Etapa II do PBH como agência implementadora bilateral de projetos relacionados ao setor de serviços.

Entre os projetos, destaca-se o "Treinamento e capacitação para o uso seguro e eficiente de CO_2 e R-290 em sistemas de refrigeração comercial", que inclui o fornecimento de material didático e a implantação de centros de treinamento piloto para o uso de CO_2/HC em sistemas de refrigeração comercial em cascata, em duas escolas técnicas de ensino profissionalizante. Este treinamento visa à introdução segura de tecnologias de refrigeração modernas e avançadas, a partir de fluidos refrigerantes naturais (como hidrocarbonetos e CO_2), além da divulgação das boas práticas de projeto, instalação e manutenção desses aparelhos.

Considerando que, no Brasil, o setor de serviços de refrigeração e ar condicionado representa cerca de 85% do consumo total de HCFC-22, torna-se urgente a necessidade de melhorar as competências no manuseio de ferramentas e equipamentos para o uso seguro e eficiente de novas tecnologias e substâncias alternativas aos HCFCs e HFCs.

Portanto, o projeto melhorará a capacitação no Brasil, em âmbito nacional, em todo o setor de instalação e manutenção de RAC, com o treinamento de 300 técnicos/as nas Boas Práticas de Refrigeração. A iniciativa também apoiará a introdução segura e energeticamente eficiente de fluidos refrigerantes naturais e de outras alternativas de baixo impacto ambiental.

Outras atividades para o setor de serviços de RAC, no âmbito da Etapa II do PBH, incluem:

- Construir e aprimorar as competências institucionais para o treinamento de 8.238 técnicos/as em boas práticas para melhor contenção do HCFC-22 em sistemas de ar condicionado e refrigeração comercial;
- Reforçar os conceitos de recolhimento, reciclagem e regeneração para reduzir a demanda por HCFC-22 virgem e permitir que os equipamentos

à base de HCFC já existentes sejam usados até o fim de sua vida útil, evitando os custos adicionais de uma substituição antecipada;



Construir competências institucionais para o treinameto de 700 técnicos/as de refrigeração em boas práticas para o uso seguro e eficiente de fluidos refrigerantes inflamáveis, com zero PDO e baixo GWP, em sistemas de ar condicionado; e



Aumentar a conscientização do setor de serviços por meio da divulgação de boas práticas e de tecnologias alternativas como zero PDO e baixo GWP.

2.3 **Mudança do Clima e a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal**

Em parte, como substitutos direto dos CFCs, em parte, como substitutos dos HCFCs, uma terceira classe de produtos químicos fluorados foi introduzida no mercado, os hidrofluorcarbonos (HFCs). Embora não possuam Potencial de Destruição do Ozônio (PDO), os HFCs ainda apresentam Potencial de Aquecimento Global (GWP) milhares de vezes mais alto que o CO_2. O Capítulo 5.5 apresenta uma tabela com diversos fluidos refrigerantes e seus respectivos valores de GWP.

Potencial de Aquecimento Global

O Potencial de Aquecimento Global (GWP) é uma medida relativa da estimativa de quanto determinada massa de gás de efeito estufa contribui para o aquecimento global. Ele é calculado em um período de tempo específico, arbitrariamente em 100 anos, mas às vezes também em períodos de 20 ou 500 anos. O GWP é expresso em relação ao dióxido de carbono, com GWP = 1. Quanto mais alto o valor do GWP, mais uma substância contribui para o aquecimento global.

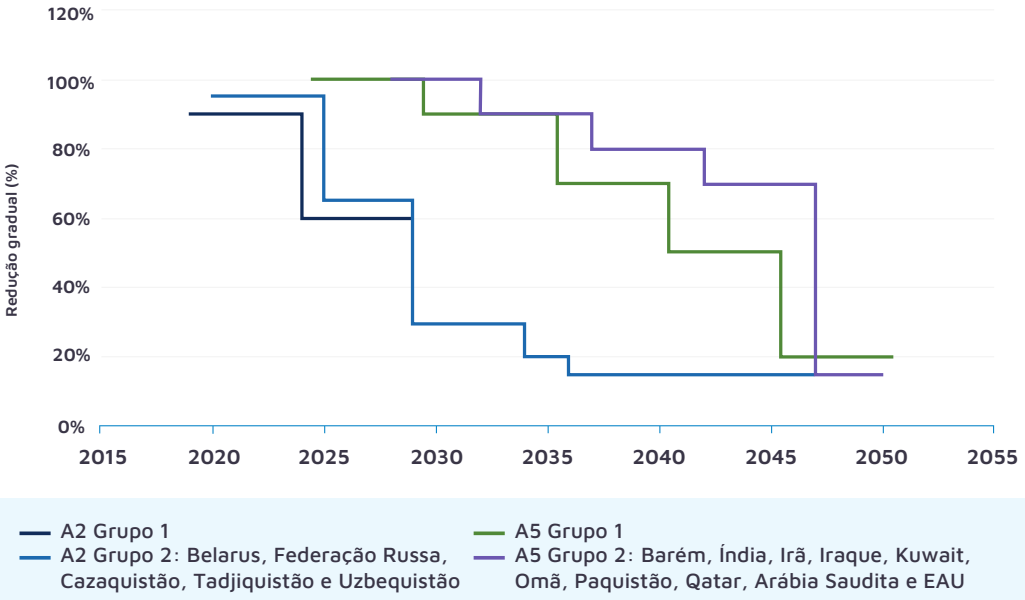
O Potencial de Aquecimento Global de muitos fluidos refrigerantes é revisado regularmente para aplicar novas descobertas sobre o efeito do CO_2 sobre o aquecimento global e o comportamento das substâncias na atmosfera.

A vida útil de muitos HFCs é bem menor que 100, portanto o impacto deles no clima será em um horizonte temporal bem mais curto. O GWP20 médio para HFCs é 94% maior do que o GWP100 médio (Greenpeace, 2010).

Considerando esse cenário, em 2016 foi criada a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal, e em 2019 ela entrou em vigor. Ela inclui o terceiro grupo de gases de alto GWP, os HFCs, em sua estrutura global. A Emenda define um cronograma de redução gradual de HFCs para países do Artigo 5 e do Artigo 2. Para a maioria dos países do Artigo 5, inclusive o Brasil, que ratificou a Emenda de Kigali por meio do Decreto nº 11.666, de 24 de agosto de 2023, o consumo de HFCs será gradualmente reduzido para 20% da linha de base até 2045 (veja a Figura 4 e a Tabela 4). Isso exige que os países façam ainda outra mudança, migrando de HFCs de alto GWP para substâncias de baixo GWP (incluindo fluidos refrigerantes naturais), ou dando logo um salto de substâncias que destroem a Camada de Ozônio para substâncias sintéticas ou naturais com baixo GWP, sem introduzir HFCs de alto GWP, como R-134a, R-404A e R-410A.

A aprovação da Emenda de Kigali representou um marco para a mitigação das mudanças climáticas. Ainda que a redução das emissões de HFCs faça parte do Protocolo de Kyoto, no âmbito da UNFCCC, desde 2005, nunca foram estabelecidas obrigações vinculativas nem cronogramas para a redução gradual.

Figura 4 – Redução gradual do consumo de HFCs de acordo com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal



Fonte: PNUMA (2016), gráfico da HEAT GmbH.

Tabela 4 – Cronograma de redução gradual para Partes A5 e A2 para fluidos refrigerantes HFC de acordo com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal

	Partes do Artigo 5		**Partes que não estão no Artigo 5 (Partes A2)**	
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2
	Grupo principal	Barém, Índia, Irã, Iraque, Kuwait, Omã, Paquistão, Catar, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos	Grupo principal	Belarus, Federação Russa, Cazaquistão, Tadjiquistão, Uzbequistão
Anos da linha de base	2020, 2021 e 2022	2024, 2025 e 2026	2011, 2012 e 2013	2011, 2012 e 2013
Cálculo de linha de base	Produção/consumo médio de HFCs em 2020, 2021 e 2022 mais 65% da produção/consumo de HCFCs na linha de base	Produção/consumo médio de HFCs em 2024, 2025 e 2026 mais 65% da produção/consumo de HCFCs na linha de base	Produção/consumo médio de HFCs em 2011, 2012 e 2013 mais 15% da produção/consumo de HCFCs na linha de base	Produção/consumo médio de HFCs em 2011, 2012 e 2013 mais 25% da produção/consumo de HCFCs na linha de base

Continuação da Tabela 4 – Cronograma de redução gradual para Partes A5 e A2 para fluidos refrigerantes HFC de acordo com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal

Congelamento	2024		2028		N/A		N/A	
Redução Passo 1	2029	10%	2032	10%	2019	10%	2020	5%
Redução Passo 2	2035	30%	2037	20%	2024	40%	2025	35%
Redução Passo 3	2040	50%	2042	30%	2029	70%	2029	70%
Redução Passo 4	2045	80%	2047	85%	2034	80%	2034	80%
Redução Passo 5	N/A	N/A	N/A	N/A	2036	85%	2036	85%

Fonte: MMA.

2.4 **Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global (TEWI)**

Com o TEWI, foi desenvolvido um método de cálculo para avaliar individualmente a contribuição para o efeito estufa durante a vida útil do sistema de refrigeração (TEWI = Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global, do inglês *Total Equivalent Environmental Impact)*. Também é possível encontrar referências na norma EN 378 Parte 1 (Requisitos básicos, definições, classificação e critérios de seleção), no Anexo "B".

O quadro a seguir mostra uma fórmula comum usada no cálculo do valor característico do TEWI, na qual as respectivas áreas de influência estão subdivididas adequadamente.

O TEWI possui três partes, que são somadas para calcular o valor total.

$$TEWI = GWP \times L \times n + GWP \times m \times [1-\alpha_{rec}] + n \times E_{anno} \times \beta$$

L	taxa de vazamento por ano (kg/a)
n	vida útil de operação do sistema em anos (a)
m	carga do fluido refrigerante (kg)
α_{rec}	fator de recolhimento/reciclagem de 0 a 1
E_{anno}	consumo de energia por ano (kW/a)
β	fator de emissão de CO_2 da geração de energia (kg/kWh)

[1] Países 5 - Grupo 1 (todos os países A5, exceto países do CCG, Índia, Irã, Iraque e Paquistão): linha de base = consumo médio dos anos 2020-2022 + 65% da linha de base do componente HCF

Como diversas pressuposições e fatores envolvidos nesse método de cálculo, em geral são específicos de uma aplicação em determinada localização em contexto local particular, o TEWI permite apenas comparações em um contexto local específico (ex.: Brasil, Alemanha, ou outro lugar). Comparações entre diferentes aplicações ou diferentes localizações não são apropriadas. O cálculo do TEWI é importante na fase de projeto ou para respaldar uma decisão de *retrofit* (EN 378-1, Anexo B).

2.5 **Subproduto da degradação persistente**

De acordo com o Regulamento Europeu F-Gas sobre gases fluorados de efeito estufa, o consumo de propulsores e fluidos refrigerantes fluorados, prejudiciais ao meio ambiente, deve ser drasticamente reduzido na União Europeia até 2030. Esses gases costumam ser substituídos por substâncias fluoradas de vida útil curta, com menor potencial de aquecimento global. Porém, essas substâncias formam ácido trifluoroacético (TFA) como subproduto da degradação. O TFA é um subproduto proveniente da degradação de diversos fluidos refrigerantes.

O TFA tem sido cada vez mais detectado em água corrente e até em água potável. Trata-se de uma substância muito estável e persistente, que não se degrada na natureza e, portanto, continua se acumulando com o tempo. Os atuais métodos comuns e conhecidos de tratamento da água potável (como, carbono ativado, ultrafiltração e nanofiltração, aeração e ozonização) não apresentam efeito de redução mensurável.

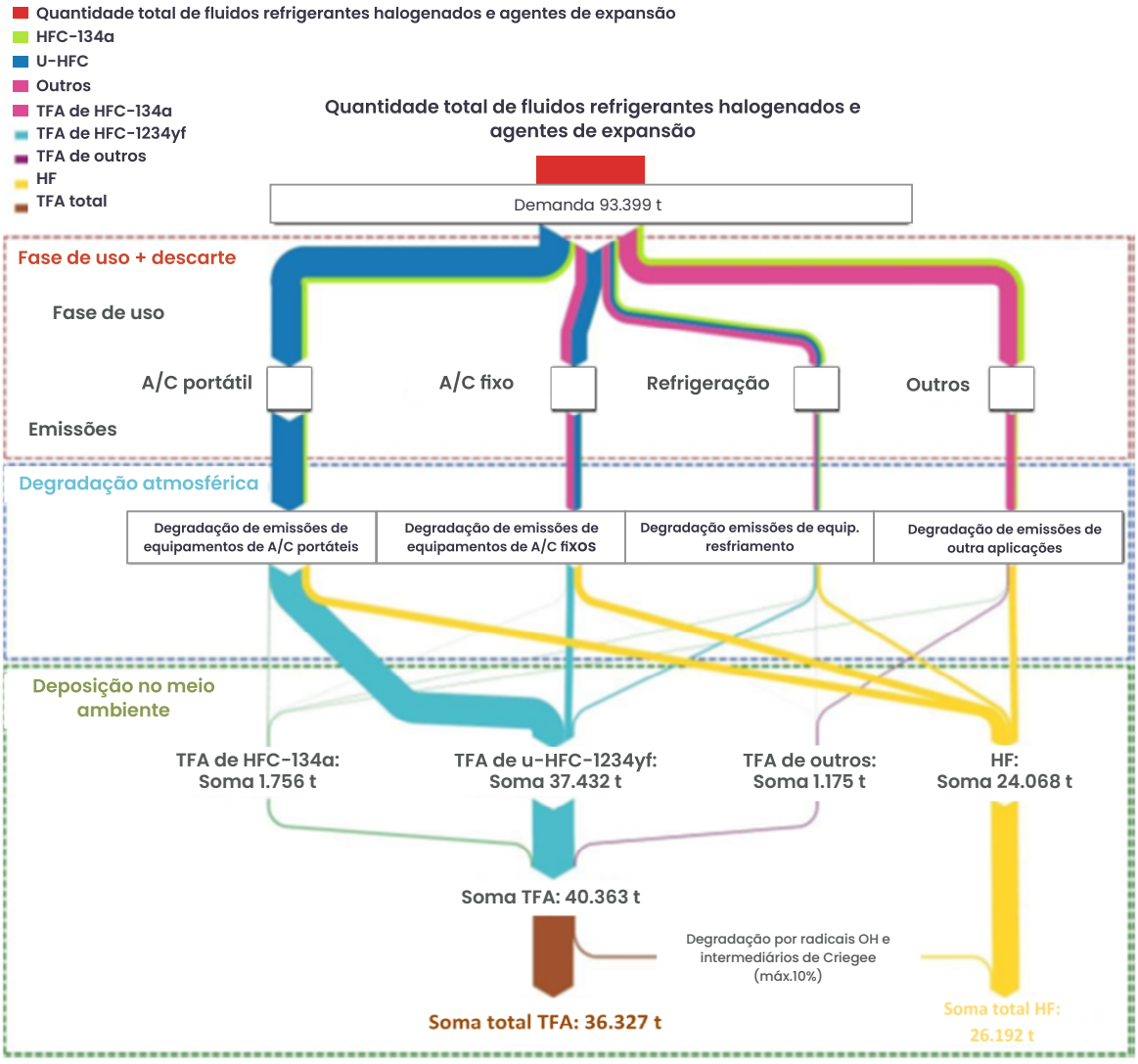
Desde 2017, todos os carros novos da UE vêm recebendo fluido refrigerante R-1234yf no sistema de ar condicionado veicular. Quando o fluido refrigerante é lançado na atmosfera, é quase 100% degradado para TFA em aproximadamente duas semanas, e entra nos corpos d'água via precipitação.

Um estudo encomendado pela Agência Ambiental Federal Alemã (UBA) modelou o desenvolvimento quantitativo de propulsores e fluidos refrigerantes fluorados e seus respectivos subprodutos de degradação atmosférica para a UE até o ano 2050. Para a Europa, a previsão é de um aumento de três a quatro vezes na carga de TFA de emissões de fluidos refrigerantes, chegando a 50.000 toneladas em 2050. O principal motivo é a substituição do HFC R-134a pelo fluido refrigerante R-1234yf, que forma cerca de cinco vezes mais TFA em comparação com o R-134a.

Visualização dos fluxos de massa para o ano 2030

Para estimar a contribuição dos fluidos refrigerantes halogenados e agentes de expansão nos diferentes setores de aplicação, a Figura 5, apresentada na sequência, mostra o fluxo de massa de todas as emissões europeias de diversos setores para o ano de 2030, para diferentes substâncias e as quantidades resultantes de TFA depositadas nas regiões e no globo. Fica bem clara a crescente tendência nas emissões de TFA oriundas de substâncias com altas taxas de formação de TFA, usadas e emitidas em grandes quantidades, como o R-134a, atualmente, e o R-1234yf, no futuro. Com o consumo crescente de substitutos halogenados com baixo potencial de aquecimento global, a deposição de TFA no meio ambiente aumentará muito.

Figura 5 – Diagrama de Sankey mostrando as emissões europeias totais (UE-28) das substâncias halogenadas



Fonte: UBA, Öko-Institut e Öko-Recherche.[2]

2.6 De olho no futuro: tecnologias de refrigeração verde

Hoje, a indústria tem duas opções principais referentes ao uso futuro dos fluidos refrigerantes. As empresas podem passar a usar os HFCs insaturados (os chamados "HFOs"), que possuem GWP mais baixo, porém causam impactos desconhecidos sobre o meio ambiente (veja também o Capítulo 2.5). Ou podem optar pelos fluidos refrigerantes naturais, como hidrocarbonetos, amônia, CO_2 e água.

[2] Valores modelados a partir do consumo e descarte em variados setores e os subprodutos da degradação atmosférica ácido trifluoroacético (TFA) e fluoreto de hidrogênio (HF) para o ano de 2030. Os setores de agentes de expansão, propulsores à base de spray, solventes e agentes de extinção de incêndio, bem como a indústria de semicondutores e emissões decorrentes da produção de HFC estão resumidos como "Outros".

Fluidos refrigerantes naturais

Os fluidos refrigerantes naturais não destroem a Camada de Ozônio e possuem GWP desprezível ou nulo.

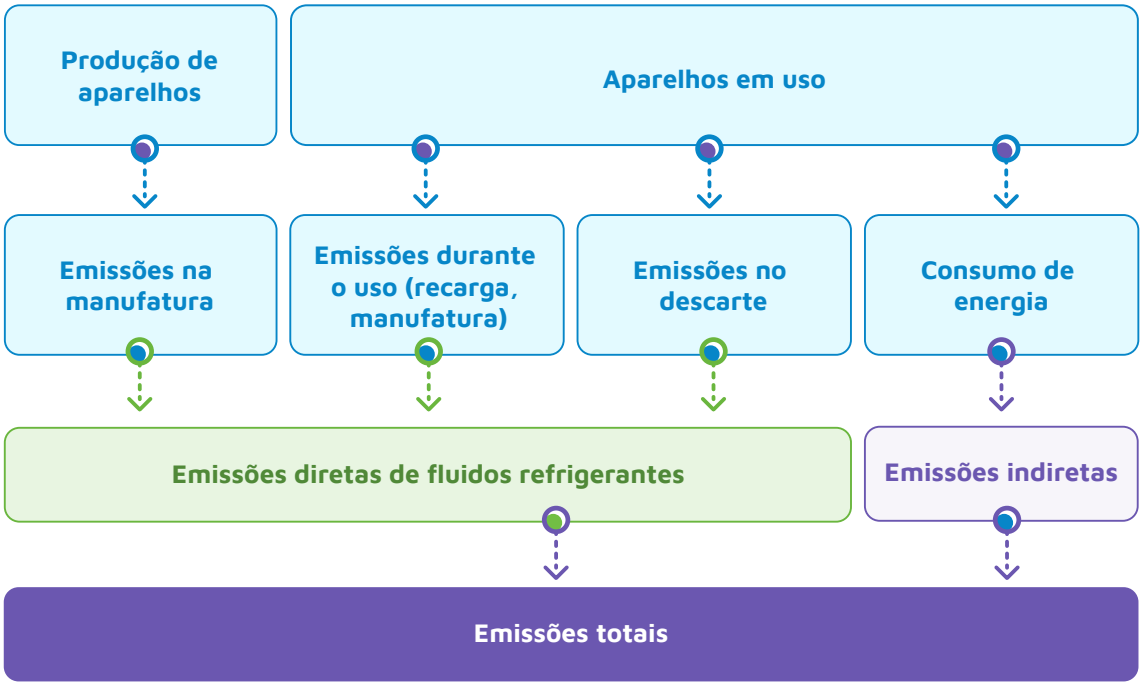
Os fluidos refrigerantes naturais foram, em parte, usados em processos de refrigeração até meados do século XX. Embora algumas substâncias, como a amônia, tenham sido usadas continuamente no último século, outras, como dióxido de carbono e hidrocarbonetos, foram "redescobertas" mais recentemente como opções eficientes na refrigeração.

Os fluidos refrigerantes naturais costumam apresentar maior nível de toxicidade, inflamabilidade e alta pressão de operação. Portanto, o uso deles exige treinamento adicional para os técnicos/as.

Além da escolha de um fluido refrigerante adequado, o projeto completo do sistema de refrigeração tem influência decisiva no consumo de energia. A eficiência de um sistema de refrigeração é consideravelmente mais influenciada pelo conceito geral (até 50%) do que pela escolha do fluido refrigerante (TEAP, 2018).

Mais recentemente, o foco nas emissões totais de gases de efeito estufa durante a vida útil do equipamento (veja a Figura 6) passou a ser uma questão de maior atenção, exigindo que a redução do impacto negativo dos fluidos refrigerantes liberados na atmosfera andasse lado a lado com uma redução no consumo de energia. O movimento em direção à maior eficiência, em nível de equipamento ou da edificação, é um conceito complementar a evitar o consumo e o desperdício de energia em termos absolutos (maior suficiência ecológica). Reduzir o uso de equipamentos mecânicos, com o maior uso de métodos tradicionais de refrigeração, usar refrigeração passiva ou sombreamento, ou influenciar o comportamento humano para a melhor operação são exemplos de como adotar o conceito de eficiência energética nas aplicações de refrigeração.

Figura 6 – Emissões de equipamentos de AVAC-R



Fonte: HEAT GmbH.

Eficiência energética

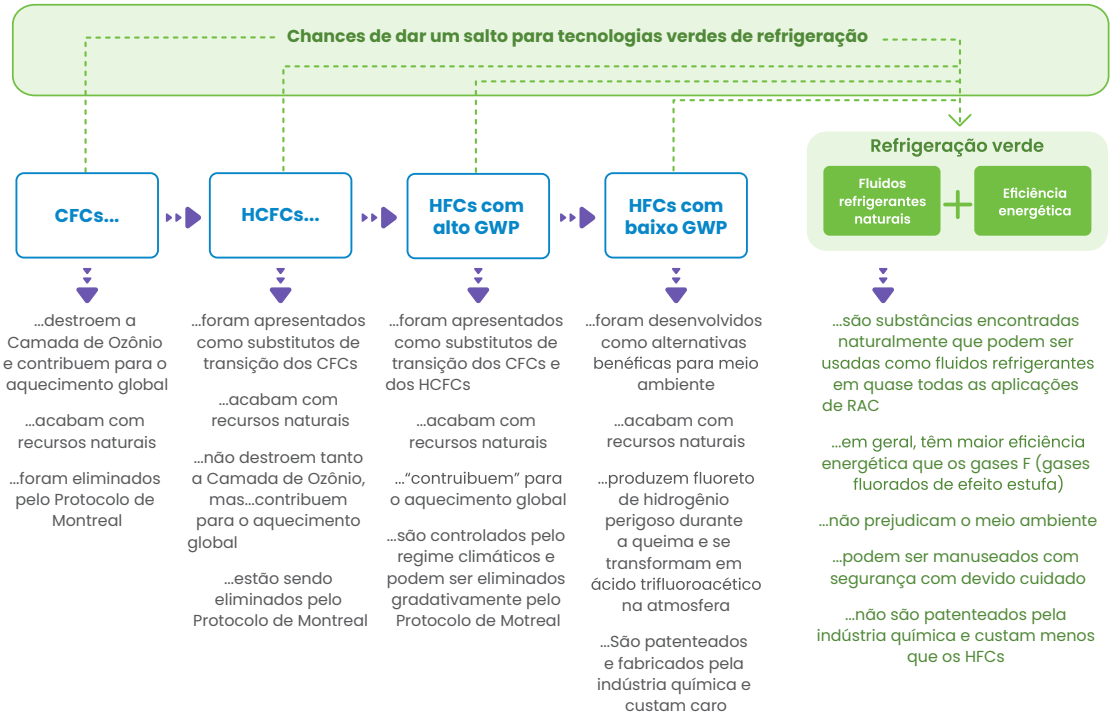
No mundo todo, cerca ⅛ a ¼ das emissões de gases de efeito estufa (GEE) são causadas por fluidos refrigerantes lançados na atmosfera, provocando um impacto direto no aquecimento global. São as chamadas emissões diretas. As emissões remanescentes GEE são causadas pelo consumo de energia durante a produção, o transporte, a operação e o descarte de sistemas de AVAC-R. São as emissões indiretas. Durante a vida útil do equipamento de AVAC-R, as emissões diretas e indiretas levam ao impacto total sobre o clima, geralmente expresso com o Desempenho Climático durante o Ciclo de Vida (LCCP, "*Life Cycle Climate Performance*") ou TEWI (Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global).

A maior eficiência energética dos sistemas de refrigeração e a menor necessidade geral por refrigeração não só economizam o dinheiro do consumidor, mas também aliviam a carga das distribuidoras de energia elétrica, já tão atarefadas. Elas também evitam os apagões, que podem afetar de modo negativo o desenvolvimento de indústrias e serviços competitivos. A eficiência energética também diminui a necessidade de investimentos adicionais em infraestrutura de energia, o que pode representar uma enorme carga financeira para países menos desenvolvidos.

Equipamentos com maior eficiência energética e uso de fluidos refrigerantes naturais, que, portanto, diminuem o impacto ambiental, são chamados de "tecnologias de refrigeração verde" neste manual. As tecnologias de refrigeração verde oferecem alternativas de longo prazo para quase todos os tipos de sistemas e aparelhos no setor de AVAC-R.

A substituição de substâncias que destroem a Camada de Ozônio e de substâncias fluoradas que prejudicam o clima por fluidos refrigerantes naturais em sistemas e aplicações com eficiência energética é chamada de "grande salto" (veja a Figura 7). Encontrar oportunidades de dar esse "grande salto" pode evitar que países e indústrias passem pela fase de novos conjuntos de gases fluorados, uma vez que os acordos internacionais irão ficar cada vez mais exigentes nos próximos anos.

Figura 7 – "Grande salto" para tecnologias de refrigeração verde



Fonte: HEAT GmbH.

03

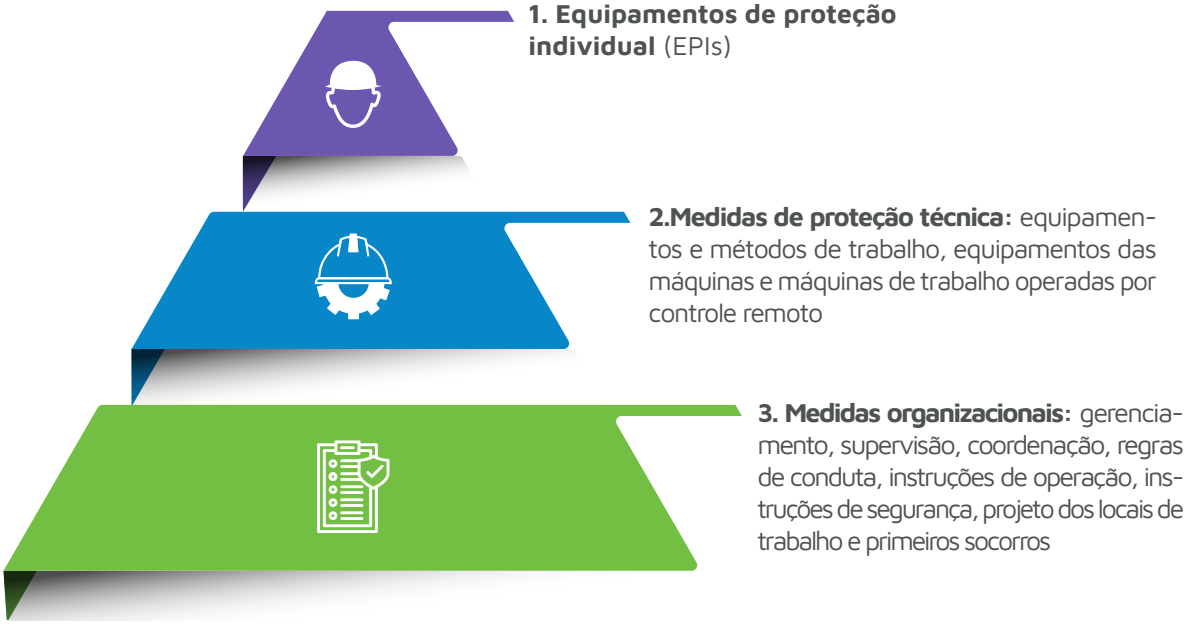
SEGURANÇA

3 Segurança

Os acidentes no local de trabalho podem ser, em boa parte, atribuídos a defeitos técnicos, a deficiências organizacionais como falta de instruções de trabalho ou instruções inadequadas (por exemplo, indisponibilidade ou uso inadequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), bem como a falhas humanas, como ações impróprias.

A abordagem básica para medidas de segurança ocupacional deverá cobrir os seguintes aspectos:

Figura 8 – Visão geral das medidas de segurança ocupacional



Fonte: HEAT GmbH.

Os empregadores são obrigados a proteger seus funcionários contra quaisquer riscos possíveis associados à execução do trabalho pelo funcionário. Isso inclui:

1. Fornecimento de EPIs adequados dependendo do desempenho do trabalho específico

O EPI no local de trabalho é de grande importância para proteção contra ferimentos e doenças. Em muitos países, uma Portaria sobre segurança industrial e saúde oferece instruções estabelecidas sobre EPIs. Nas empresas, os oficiais de segurança devem monitorar a conformidade com as regulamentações de segurança e o uso dos EPIs.

Alguns tipos e exemplos de EPIs:

- Proteção da cabeça: evita lesões na cabeça decorrentes de quedas do usuário e de objetos caindo, voando ou balançando;

- Proteção dos pés: por exemplo, calçados de segurança evitam lesões nos pés devidas a causas mecânicas, térmicas, químicas ou elétricas;

- Proteção do corpo: casacos protetores, aventais protetores ou roupas e luvas protetoras;

- Proteção dos olhos e da face: fornecem proteção contra estilhaços, iluminação excessiva e exposição a, por exemplo, alcalinos ou ácidos (por exemplo, óculos de segurança);

- Equipamentos de proteção respiratória: evitam que contaminantes prejudiciais e insalubres do ar entrem no corpo pelas vias respiratórias; e

- Detectores de gás (veja quadro na sequência).

Para ver os requisitos de EPIs ao lidar com gases inflamáveis e comprimidos, consulte o Capítulo 3.2

2. Medidas de proteção técnica

2a. Provisionamento de equipamentos e ferramentas adequados e seguros

As ferramentas devem atender às normas e requisitos profissionais do setor para execução de trabalhos pesados. Isso é especialmente importante se os trabalhadores tiverem que instalar e consertar circuitos elétricos e precisarem executar tarefas com uma tensão elétrica potencialmente perigosa. Ferramentas elétricas, máquinas e equipamento de trabalho devem estar seguros quando em operação e manipulação e devem ser classificados de acordo com as instruções do fabricante para seu uso específico (por exemplo, recolhedoras para fluidos refrigerantes inflamáveis, bombas de vácuo, detector de gás de fluido refrigerante e manômetros de pressão).

Para ver ferramentas e equipamentos de segurança, consulte o Capítulo 5.9.

2b. Provisionamento de materiais auxiliares e suprimentos operacionais adequados e seguros

Vasos de pressão para fluidos refrigerantes e gases comprimidos precisam atender às normas e regulamentações aplicáveis e ser classificados quanto ao uso pretendido. Os trabalhadores precisam ter a confiança de que a quantidade e a qualidade dos produtos identificados (por exemplo, tipo de fluido refrigerante) no pacote estão corretas e de que as indicações estejam expressas de acordo com as normas de medição relevantes. Os fabricantes e fornecedores devem garantir o controle de qualidade em toda a cadeia de suprimentos e ajudar no combate aos fluidos refrigerantes falsificados, incluindo as misturas perigosas de cloreto de metila (R–40) e substâncias HC identificadas como HCFC ou HFC.

Outros materiais são: lubrificantes, graxas, solventes, adesivos e substâncias de *flushing* do circuito de refrigeração.

3. Medidas organizacionais

3a. Provisionamento de documentação abrangente dependendo da execução do trabalho específico

Toda a documentação necessária para a instalação do AVAC–R, equipamentos e ferramentas deve estar facilmente disponível para as informações serem encontradas rapidamente. Isso é especialmente importante para manuais de instalação e operação, circuitos elétricos, diagramas de PCB e fichas de dados de segurança (FDS) de todas as substâncias manipuladas.

3b. Consultoria recorrente quanto aos aspectos legais e técnicos das normas e responsabilidades de segurança dependendo da execução do trabalho específico

Os empregadores têm obrigação legal de garantir que os funcionários capacitados (ou mesmo seus ajudantes não capacitados) trabalhem sempre com segurança. Assim, é necessário avaliar as disposições de saúde e segurança dos trabalhadores com frequência. Para tarefas específicas, uma pessoa responsável deve emitir as permissões antes do começo do trabalho (por exemplo, brasagem e desbrasagem, carga de fluido refrigerante, *flushing* do equipamento e reparos elétricos).



EPI: Detectores de gás

- Detectam gás e monitoram a condição do ar geralmente com alertas;
- São usados para detectar gases perigosos e nocivos em áreas de trabalho, casas de máquinas ou instalações de equipamentos;
- Podem ficar presos na roupa ou ser colocados no chão da área de trabalho;
- Devem ficar ligados enquanto durar o trabalho e configurados para disparem um alarme a 15% do LII, avisando sobre concentração inflamável próxima. Assim, os profissionais podem ser avisados sempre que houver liberação não intencional de fluidos refrigerantes inflamáveis e podem tomar providências imediatamente adotando os procedimentos de emergência relevantes; e
- Devem sempre ser ativados em uma atmosfera ambiental "limpa".

Instrumentos de detecção de vazamento (*sniffers*) detectam gás e são projetados para localizar vazamentos no circuito de refrigeração. A sensibilidade à detecção do gás pode ser ajustada incrementalmente, isso é, para suprimir as concentrações de gás de fundo e para facilitar a identificação do ponto de vazamento. Usar esse tipo de detector de gás como um dispositivo de proteção individual é possível, mas não é a melhor escolha.

A pessoa responsável pela operação do equipamento deve avaliar se os trabalhadores/funcionários têm a qualificação e competência necessária (pessoa competente), ferramentas e equipamentos para executarem tarefas como instalação, manutenção, reparos, controle de estanqueidade ou descomissionamento com segurança ou se treinamentos ou instruções adicionais são necessários.

Pessoa competente

Pessoa competente é aquela que, devido ao seu treinamento e experiência profissionais, tem conhecimento suficiente no campo da tecnologia de refrigeração e das normas e regulamentos oficiais relevantes de saúde e segurança, de prevenção de acidentes e, também, das regras de tecnologia, geralmente aceitas, na medida em que este profissional é capaz de avaliar as condições de funcionamento seguras dos sistemas de refrigeração.

Essa definição depende da legislação local. Na UE, ela está no regulamento de gases F relativo à manipulação de fluidos refrigerantes sintéticos e na norma ISO 22712 para todos os fluidos refrigerantes. No Brasil, ela está na norma ABNT NBR 17131.



Profissionais que trabalham em sistemas de refrigeração com fluidos refrigerantes inflamáveis devem ser treinados para ter as competências nos aspectos de segurança do manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis. Isso inclui:

- Conhecimento da legislação, diretrizes e normas com relação a fluidos refrigerantes inflamáveis;
- Conhecimento minucioso e habilidades no manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis, equipamentos de proteção individual, prevenção a vazamentos de fluidos refrigerantes, manuseio de cilindros, carga, detecção de vazamentos, recolhimento e descarte.

Para manter essa expertise, qualificações e certificações recorrentes são necessárias.

Documentos a serem observados para considerações de segurança no local de trabalho

Mantenha as instruções de instalação e operação perto da máquina!

As fichas de dados de segurança (FDS) dos equipamentos e consumíveis usados devem estar disponíveis:

- R–290 (propano / C_3H_8);
- R–744 (dióxido de carbono – CO_2);
- Propilenoglicol;
- Nitrogênio seco e sem oxigênio (N_2);
- Gás combustível para brasagem;
- Oxigênio (O_2);
- Óleo lubrificante para compressores;
- Óleo lubrificante para bomba de vácuo; e
- Solventes (se usados para limpeza).

Placa de tipo

Cada equipamento tem uma placa que o identifica de modo inequívoco, com os seguintes dados técnicos:

R–290 / estágio superior em cascata		R–744 / estágio inferior em cascata	
Tipo:		Tipo:	
Número de série		Número de série	
Ano de fabricação		Ano de fabricação	
Fluido refrigerante	R–290	Fluido refrigerante	R–744
Carga de fluido refrigerante		Carga de fluido refrigerante	
Fórmula química	C_3H_8	Fórmula química	CO_2
Tensão da rede		Tensão da rede	
Corrente nominal		Corrente nominal	
Tipo de compressor		Tipo de compressor	
Potência nominal		Potência nominal	
Pressão máxima permitida (lado de baixa pressão)		Pressão máxima permitida (lado de baixa pressão)	
Pressão máxima permitida (lado de alta pressão)		Pressão máxima permitida (lado de alta pressão)	

3.1 **Seleção de símbolos e sinais importantes de saúde e segurança –** ISO 7010

De acordo com as regulamentações nacionais de prevenção de acidentes, as empresas geralmente são obrigadas a indicarem os perigos e os dispositivos de segurança existentes em todos os locais de trabalho usando símbolos de segurança e indicando proibições. A ISO 7010: Símbolos gráficos – Cores de segurança e símbolos de segurança, apresenta os símbolos internacionalmente aceitos e bem conhecidos que são mostrados, de forma bem visível, em locais de trabalho ou locais públicos no mundo inteiro.

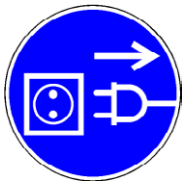
- Tal como no caso do trânsito rodoviário, a forma e a cor dos sinais de segurança já permitem distinguir símbolos: Os símbolos de proibição referem–se a comportamentos que podem levar a situações de perigo, como fumar em casas de máquinas;
- Os símbolos de obrigação indicam um comportamento necessário, como usar equipamentos de proteção individual (EPIs);
- Os símbolos de aviso são sinais de segurança avisando de um perigo, por exemplo, tensão elétrica perigosa;
- Os sinais de resgate (rota de fuga) contêm símbolos indicando as rotas de emergência ou instalações de resgate em situações perigosas, como uma indicação de onde lavar os olhos; e
- Os símbolos de proteção contra incêndio indicam equipamentos usados para relatar ou controlar um incêndio, como um extintor de incêndio ou um alarme.

A Tabela 5 mostra uma seleção de símbolos de segurança. Todos os símbolos de segurança indicados são relevantes para os setores de AVAC–R e aplicáveis, desde a etapa de projeto, passando pela fabricação, instalação e comissionamento, até o final da vida útil do equipamento.

Tabela 5 – Seleção de símbolos de segurança

Seleção de símbolos de segurança (de acordo com a ISO 7010)

Símbolos de proibição				
				
Proibido pessoal não autorizado	Proibido caminhão industrial	Nenhuma chama aberta, fogo, fonte de ignição	Não apagar com água	Não tocar
				
Proibido fumar	Não atravessar	Proibido usar celular	Proibido mexer nos interruptores	Proibido colocar ou armazenar

Símbolos de obrigação				
				
Usar óculos de proteção	Usar capacete de proteção	Usar proteção auricular	Usar proteção respiratória	Usar calçados de segurança
				
Usar luvas de segurança	Usar roupas de proteção	Usar máscara de proteção	Desconectar da tomada	Desconectar antes de reparos ou manutenção

Símbolos de aviso				
				
Símbolo de aviso geral	Aviso de substâncias inflamáveis	Aviso de risco de explosão	Atmosfera explosiva perigosa	Aviso de substâncias tóxicas
				
Aviso de eletricidade	Aviso de descarga eletrostática	Aviso de sufocamento	Aviso de risco de tropeços	Substâncias corrosivas ou perigosas
				
Aviso de pressão excessiva	Aviso de queimadura pelo frio	Aviso de substâncias corrosivas e ácidos	Aviso de cilindro de gás comprimido	Aviso de objetos pesados em movimento e içamento

Continuação da Tabela 5 – Seleção de símbolos de segurança

Símbolos de resgate				
				
Saída de emergência à direita	Ponto de encontro	Lavagem de olhos	Primeiros socorros	Telefone de primeiros socorros
Símbolos de proteção contra incêndio				
				
Mangueira de incêndio	Extintor de incêndio	Escada de incêndio	Seta direcional do extintor de incêndio	Telefone de alarme de incêndio

Fonte: Rolf Huehren, com base na norma ISO 7010.

3.2 **EPI**

Os equipamentos de proteção individual (EPIs) devem incluir em geral roupas de proteção, botas, luvas e equipamentos para proteção respiratória. Os usuários de EPIs devem consultar as respectivas disposições de saúde e segurança ocupacional e a norma regulamentadora brasileira NR–6 referente à aplicação delas, porque as exigências e as obrigações podem ser diferentes.

EPIs são equipamentos especiais (como roupas, dispositivos ou objetos) para autoproteção e representam uma medida de controle de riscos, cujo uso é exigido por lei para trabalhar com atividades que têm o potencial de serem perigosas para a saúde. Porém, em geral, ele é usado como uma medida de último recurso quando outras medidas de controle de riscos não funcionam. O empregador tem a obrigação de fornecer os EPIs adequados para o trabalhador.

No contexto desta seção, há duas situações comuns nas quais os EPIs são considerados:

1. Em condições normais de trabalho; e
2. Em resposta a uma emergência.

É evidente que, durante uma emergência, muitas das medidas rotineiras de controle de riscos já não funcionaram e os EPIs ganham maior importância. Entretanto, eles não devem ser vistos como a única abordagem para gerenciar os riscos identificados ou suspeitos.

A escolha dos EPIs se baseia em diversos fatores. Entre eles:

- O tipo e a natureza dos perigos, como inflamabilidade, contaminantes elétricos e transportados pelo ar;
- Local do trabalho ou tarefas, como área aberta, espaço confinado e trabalho em altura;

- O tipo de tarefa; por ex.: trabalho a quente, tarefas manuais ou manuseio de produtos químicos;
- Adequação dos EPIs para perigo, desempenho do incêndio, proteção química e dissipação de calor; e
- Adequação do operador (condicionamento físico, idade, estresse físico e psicológico).

Além da escolha dos EPIs, devem ser consideradas as políticas de trabalho e outros fatores como comunicação, metodologia de trabalho, riscos de segurança (para a equipe de resgate, por exemplo) e detecção de gás.

Garantir os EPIs adequados para o local de trabalho é de suma importância, e as considerações devem incluir:

- Seleção e avaliação;
- Política e procedimentos;
- Treinamento;
- Manutenção e serviço;
- Uso e descontaminação; e
- Revisão e auditorias.

3.2.1 **Visão geral de EPIs**

A Tabela 6 dá uma visão geral dos EPIs para diferentes fins de proteção.

Tabela 6 – Visão geral dos EPIs para diferentes fins de proteção

Capacete rígido ou Capacete	Os capacetes rígidos / capacetes de segurança devem ser usados, por exemplo, em trabalhos de demolição, trabalhos próximos a andaimes e trabalhos com ferramentas de ajuste de parafusos (veja a Tabela 7).
Luvas de proteção	As luvas de proteção devem ser usadas quando houver necessidade de proteger as mãos contra potenciais perigos ou riscos, que possam ocorrer no trabalho ou em determinadas situações, como durante o manuseio de fluidos refrigerantes (veja a Tabela 8).
Óculos de segurança	Os óculos de segurança devem ser usados, por exemplo, no trabalho com fluidos refrigerantes, ácidos e álcalis, trabalhos com moagem e corte, trabalho com chamas quentes e com ferramentas de ajuste de parafusos (veja a Tabela 9).
Calçados de proteção	Os calçados de proteção evitam, por exemplo, lesões graves caso a pessoa pise em objetos afiados ou pontiagudos, ou o risco de lesões causadas por objetos pesados (veja a Tabela 10).

Continuação da Tabela 6 – Visão geral dos EPIs para diferentes fins de proteção

Proteção auricular	Os funcionários devem fazer uso de proteção auricular, como abafadores de ruídos, tampões para o ouvido ou algodão de proteção auricular, se a exposição ao ruído for acima de 85 dB(A) no nível diário de exposição a ruído (mais de 8 horas) e se os picos de ruído (ruído de impulso) ficar acima de 137 dB(C) (veja a Tabela 11).
Roupas de proteção	As roupas de proteção devem sempre ser usadas se exigido por lei, regulamentações ou instruções da empresa, ou sempre que uma avaliação de risco julgar necessário. É importante que as roupas de proteção sejam do tamanho correto, confortáveis e apropriadas para os riscos específicos, para que realmente ofereçam proteção (veja a Tabela 12).

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 7 – Proteção da cabeça

Símbolo	EPI	Imagem	Descrição
	Capacete rígido	**Figura 9** – Capacete rígido  Fonte: 3M.	O EPI mais comum para a segurança da cabeça é o capacete rígido. O capacete rígido é usado para evitar lesões na cabeça decorrentes da queda de objetos, choque elétrico e lesões causadas por golpes de objetos pendurados em locais acima da cabeça. O uso permanente do capacete rígido pode ser obrigatório em alguns locais como fábricas. O uso de bonés ou gorros por baixo do capacete rígido é proibido. Existem diversas normas internacionais; por exemplo: o capacete rígido deve estar em conformidade com a norma americana ANSI Z89.1 de proteção pessoal – capacete de proteção para trabalhadores da indústria.
	Capacete	**Figura 10** – Capacete para soldagem etc.  Fonte: 3M.	O capacete é uma cobertura de proteção para a cabeça, em geral feito de carbono ou metal, projetado para proteger a cabeça inteira. Os capacetes são usados para atividades de soldagem, por exemplo.

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 8 – Proteção para as mãos

Símbolo	EPI	Imagem	Descrição
	Luvas de segurança para brasagem	**Figura 11** – Luvas de segurança para brasagem  Fonte: Dupont.	Luvas de segurança de Kevlar para brasagem; resistentes ao calor e a cortes. Luvas de couro para brasagem também estão disponíveis. Elas oferecem proteção contra o calor gerado pelo processo e também contra superfícies quentes.
	Luvas de segurança para trabalhos mecânicos	**Figura 12** – Luvas de segurança para trabalhos mecânicos  Fonte: 3M.	Luvas de segurança para trabalhadores da construção civil e mecânica de RAC para proporcionar aderência forte em ambientes secos, ligeiramente úmidos ou oleosos e trabalhos com coordenação motora fina.
	Luvas de proteção contra o frio do R–744 e de gelo seco (queimadura pelo frio)	**Figura 13** –Luvas anticongelantes  Fonte: MK Arbeitsschutz OS–H77W.	Luvas de proteção feitas de látex, nitrila ou couro devem ser usadas durante o manuseio de gelo seco. As luvas de neoprene podem congelar a pele e ficar bem difícil de retirar. Caso não haja disponibilidade de luvas especiais, podem ser usadas luvas de couro ou mesmo luvas de pano.
	Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante e óleo (Todos os fluidos refrigerantes, exceto o R–717)	**Figura 14** – Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante e óleo  Fonte: Polyco.	As luvas de borracha nitrílica impermeável evitam queimaduras na pele durante o manuseio de fluidos refrigerantes com halocarbonos e hidrocarbonetos, óleos e uma ampla variedade de solventes.

Continuação da Tabela 8 – Proteção para as mãos

	Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante R–717 e óleo	**Figura 15** – Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante R–717 e óleo  Fonte: Schick GmbH.	Para amônia anidra, os materiais recomendados para luvas de proteção são o neoprene (OSHA) e o butil. Para informações adicionais, consulte a norma ANSI/ISEA 105–2016.1
	Luvas de segurança para trabalhos elétricos	**Figura 16** – Luvas de segurança para trabalhos elétricos  Fonte: Eletricistas da Polyco.	As luvas de eletricistas são feitas de borracha natural para trabalhar com fio vivo.

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 9 – Proteção dos olhos

Símbolo	EPI	Imagem	Descrição
	Óculos de segurança mecânica	**Figura 17** – Óculos de segurança  Fonte: 3M.	Óculos de segurança, idealmente ajustáveis, resistentes a arranhões e com revestimento antiembaçante.
	Óculos de segurança refrigeração	**Figura 18** – Óculos de segurança com visão completa  Fonte: 3M.	Os óculos de segurança, com visão completa, são projetados especialmente para uso com óculos de grau ou peças semifaciais respiratórias. Eles possuem ventilação indireta.
	Óculos de segurança brasagem	**Figura 19** – Óculos de segurança na cor verde  Fonte: 3M.	Óculos de segurança na cor verde, também para quem usa óculos de grau, adequados para soldagem e brasagem com oxiacetileno.

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 10 – Proteção para os pés

Símbolo	EPI	Descrição
	Calçados de segurança para trabalhos de AVAC–R	O tipo de botas de segurança recomendado para fazer trabalho técnico em unidades e equipamentos RAC deve ser dielétrico, resistente a óleo e a água, lavável, fechado e com biqueira de fibra de vidro.

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 11 – Proteção auricular

Símbolo	EPI	Imagem	Descrição
	Protetores pré–moldados	**Figura 20** – Protetores pré–moldados  Fonte: 3M.	Os protetores pré–moldados e os abafadores protegem as orelhas contra ruídos altos, mas também evitam a entrada de elementos estranhos nos canais auditivos em ambientes poluídos. O uso permanente de proteção auricular pode ser obrigatório em alguns locais e fábricas.
	Abafadores	**Figura 21** – Abafadores  Fonte: 3M.	

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 12 – Roupas de trabalho e arnês de segurança

Símbolo	EPI	Descrição
	Calças de trabalho	Recomenda–se o uso de calças compridas no trabalho, pois elas oferecem alguma proteção e espaço para as ferramentas que precisam estar à mão.
	Macacão de trabalho	Os macacões também oferecem proteção limitada da pele e das roupas durante o trabalho. Uma melhor visibilidade pode ser oferecida por elementos refletivos.
	Arnês de segurança	O arnês de segurança e o sistema de absorção de choque podem ser obrigatórios, por exemplo, no trabalho em shoppings e em fábricas.

Fonte: Rolf Huehren.

Durante o trabalho em um sistema, deve–se usar um detector de gás portátil. O detector pode ficar preso na roupa ou ser colocado no chão da área de trabalho.

Figura 22 – Detector de gás portátil para o R–290



Fonte: Crowcon.

Figura 23 – EPI detector de gás portátil para o R–744



Fonte: Crowcon.

Ele deve ficar ligado enquanto durar o trabalho, e configurado para desligar a 50% do RCL para avisar os membros da equipe.

Por questões de segurança, o detector de gás não deve ter a função "Zerar". A função "Zerar" possibilita configurar a concentração zero do sensor, como a concentração de fundo em qualquer local. Isso pode ser útil na detecção de vazamentos, mas perigoso para sensores de gás usados como aparelhos de segurança, porque pode ser que não avisem com a antecedência necessária.

Não use detectores de oxigênio como EPIs quando for trabalhar com CO_2!

Exemplo

- Concentração de CO_2 na sala: 0,030 kg m^{-3}
- Configuração do sensor de gás: 0,036 kg m^{-3}
- Alarme sem a função "Zerar": 0,036 kg m^{-3}
- Alarme com a função "Zerar": 0,066 kg m^{-3}

3.2.2 **Equipamentos de proteção respiratória**

A máscara para respiração é colocada sobre a boca e o nariz para evitar a entrada de substâncias, partículas ou organismos no corpo. As máscaras respiratórias são de purificação do ar, que filtram o ar atmosférico, ou podem ser fornecidas com um suprimento adicional de oxigênio/ar respirável.

As máscaras respiratórias com suprimento de ar não costumam ser necessárias no trabalho com fluidos refrigerantes. As exceções podem ocorrer em determinados tipos de tarefas nas quais a amônia NH_3 ou o dióxido de carbono CO_2 são manuseados, ou quando a concentração de fluido refrigerante é tão alta que haja expectativa de ela substituir o ar atmosférico.

Existem muitas normas que definem diferentes tipos de equipamentos ou dão orientações sobre o uso deles:

- EN 133 – Equipamentos de proteção respiratória – Classificação;
- ABNT NBR 12543 – Equipamentos de proteção respiratória – Classificação;
- ABNT NBR 13698 – Equipamentos de proteção respiratória – Peça semifacial filtrante para partículas;
- EN 134 – Equipamentos de proteção respiratória – Nomenclatura dos componentes;
- EN 529 – Equipamentos de proteção respiratória – Recomendações para a seleção, uso, cuidado e manutenção – Documento de orientação; e
- "BGR 190, Regras de segurança e saúde no trabalho". Esse regulamento da associação alemã de seguro de responsabilidade civil para os empregadores fornece informações úteis sobre a seleção e o uso de equipamentos de proteção respiratória para o trabalho e também para casos de evacuação de uma área. As informações estão parcialmente disponíveis em alemão.

Para fazer a seleção específica de equipamentos de proteção respiratória conforme o uso destinado, consulte o suporte do fabricante. São exemplos de empresas de boa qualidade a Draeger ou a 3M. Algumas informações podem ser encontradas nas seções a seguir.

Seleção simplificada de máscaras respiratórias

As máscaras respiratórias são classificadas conforme a capacidade delas de filtrar o ar. Cada país ou região adota normas diferentes para testar a eficácia da filtração. As mais usadas são as máscaras que filtram cerca de 95% das partículas de teste; por exemplo: FFP2, PFF2 ou N95. Elas também foram projetadas para fazer a vedação no rosto e podem ser consideradas funcionalmente comparáveis para a maioria das aplicações contra partículas transportadas pelo ar não oleosas:

- Austrália/Nova Zelândia (Austrália/Nova Zelândia AS/NZA 1716:2012) – P2;
- Brasil – PFF2;
- China (China GB2626–2006) – KN95, KP95;
- Europa (Europa EN 149–2001) – FFP2;
- Japão (Japão JMHLW–Notificação 214, 2018) – DS2, DL2;
- Índia – BIS P2;
- Coreia (Coreia KMOEL – 2017–64) – 1a classe; e
- EUA (Estados Unidos NIOSH–42CFR84) – N95, R95, P95.

Tabela 13 – Equipamentos de proteção respiratória para procedimentos técnicos de RAC

		Proteção respiratória				
		Descartável			Reutilizável	
		FFP1	FFP2ww	FFP3	Máscara completa ou semifacial[3]	Máscara completa com car-tu chos de código 6004[4]
Processo/trabalho	Substância nociva					
Soldagem (soldagem a arco elétrico)	Vapores de óxido de alumínio e metal		☺		☺	
Brasagem	Vapores		☺		☺	
Fluidos refrigerantes de halocarbono	Vapores[1] (processo de desbrasagem)		☺		☺	
Manuseio de amônia	Amônia[2]					☺
Corte de metal	Pó de metal		☺	☺	☺	
Retífica de metal	Pó de metal		☺		☺	
Marcenaria	Vapores, partículas finas, pó de madeira		☺	☺	☺	
Manuseio de isolamento de sótão	Pó de fibra			☺	☺	
Cola de isolamento de tubulação	Solventes		☺	☺	☺	
Limpeza de evaporadores de ar condicionado (mini split)	Bactérias, vírus, legionela			☺	☺	
Pintura	Sprays contendo cobre, cromo, arsênico	☺			☺	
Varrição de pisos, limpeza de oficina, equipamentos etc.	Poeira (não tóxica)				☺	
Trabalho com amianto em baixos níveis	Poeira de amianto			☺	☺	

Continuação da Tabela 13 – Legenda da Tabela 13

1 – A desbrasagem de compressores, do filtro secador e de outros componentes pode liberar vapores tóxicos, quando a chama entra em contato com o óleo misturado com fluido refrigerante. 2 – A classificação de segurança da amônia é B2L. 3 – Confirme com seu fornecedor local a referência correta do cartucho. 4 – Apenas cartuchos com o código 6004 para a marca 3M. Para o manuseio de amônia, as máscaras completas são o equipamento de proteção respiratória recomendado; elas também oferecem proteção contra queimadura e irritação nos olhos.

Fonte: HEAT GmbH, com fotos: 3M.

3.2.3 **Proteção contra incêndio**

Proteção contra incêndio significa todas as providências que evitam o desenvolvimento de um incêndio (fogo e fumaça) ou a propagação de um incêndio (proteção preventiva contra incêndio ou prevenção contra incêndio), e que possibilitam o resgate de pessoas e animais de um incêndio e a extinção eficaz de um incêndio (defesa contra incêndio).

A proteção contra incêndio é complexa e faz parte de muitas áreas da segurança ocupacional. No Brasil, as exigências de proteção contra incêndio podem ser encontradas em uma série de leis, como leis de combate a incêndio, códigos de construção, regulamentos e diretivas. De maneira geral, faz–se distinção entre proteção preventiva e defensiva contra incêndio. A norma regulamentadora brasileira NR–23 cobre proteção contra incêndios no local de trabalho.

A prevenção de incêndios se concentra em treinamentos e conscientização. O objetivo da prevenção de incêndios é treinar trabalhadores qualificados e o público sobre as precauções para evitar potenciais incêndios perigosos, e para que eles se protejam também. É um método proativo de evitar emergências e os danos provocados por elas. Muitos Corpos de Bombeiros têm oficiais responsáveis pela prevenção de incêndios.

3.2.3.1 **Extintores de incêndio**

O extintor de incêndio é um pequeno extintor portátil, que pesa no máximo 20 quilos: ele é usado para extinguir incêndios pequenos e logo no início, e contém agentes extintores emitidos sob pressão armazenada ou comissionada. Os agentes extintores apropriados são aqueles que não reagem de forma perigosa com o fluido refrigerante ou o fluido de transferência de calor.

Para o setor de AVAC–R, a recomendação geral é fornecer extintores de incêndio portáteis, na quantidade e no tamanho suficientes, para, por exemplo:

- Veículos de serviço;
- Casas de máquinas;
- Salas especiais; e
- Áreas públicas.

Os extintores de incêndio são rotulados de maneira específica e possuem cinco blocos de títulos, conforme a norma europeia EN 3–5:

1. A palavra extintor de incêndio, a quantidade e o tipo de agente extintor, e a capacidade de extinção;
2. O manual com texto e com pictogramas, bem como as classes de incêndio para as quais o extintor de incêndio é adequado;
3. Uma advertência para uso com sistemas elétricos;
4. A descrição do agente extintor, o agente propulsor, a área funcional, o número do tipo de aprovação e o tipo de designação; e
5. Informações sobre o fabricante.

3.2.3.2 **Manutenção**

A manutenção do extintor de incêndio é feita de acordo com a Portaria no 58 do INMETRO, assim como os regulamentos de teste e carga elaborados pelo fabricante. As pessoas e as empresas que fazem a manutenção de extintores de incêndio devem ser certificadas pelo INMETRO. Conforme essa norma, o funcionamento do extintor de incêndio deve ser verificado a cada 12 meses. A cada cinco anos, o extintor de incêndio deve passar também por um teste hidrostático, para verificar a resistência e a integridade dos equipamentos.

A revisão garante:

- O funcionamento adequado do extintor; e
- A segurança do usuário do extintor de incêndio (se ele for operado com alta pressão).

Se for aprovado na inspeção, o extintor de incêndio recebe um selo de inspeção. Os extintores de incêndio usados devem ser encaminhados para empresas especializadas para restauração.

3.2.3.3 **Classificação**

Existem vários métodos de classificação internacional para extintores de incêndio portáteis, que determinam o respectivo uso para diferentes classes de incêndio. Você pode encontrar informações mais detalhadas na Tabela 14.

3.2.3.4 **Tipos de extintores de incêndio**

Diversos tipos de extintores de incêndio estão disponíveis no mercado internacional, conforme mostrado na Tabela 14.

Tipo de extintor de incêndio para segurança em aplicações de AVAC-R	Para o uso em aplicações de AVAC–R, recomendam–se os extintores de incêndio com carga de pó e CO_2. A recomendação é ter os dois tipos de extintores disponíveis para cenários específicos de incêndio (por exemplo, carros de serviço, casas de máquina, queima de equipamento elétrico).

Tabela 14 – Extintor de incêndio recomendado para aplicações de AVAC–R

Água	Pó	Espuma	CO_2	Químico úmido	Névoa de água deionizada
Contra incêndio em madeira, roupas, carvão mineral, plástico, papel, têxteis e outros materiais sólidos	Contra incêndio em materiais sólidos, líquidos, gasosos e equipamentos elétricos	Contra incêndio em materiais sólidos e líquidos	Contra incêndio em materiais líquidos e elétricos	Contra incêndio envolvendo óleos de cozinha e gordura	Contra a maioria dos tipos de incêndio
Classe de incêndio: A	Classes de incêndio: A; B; C	Classes de incêndio: A; B	Classe de incêndio: B	Classes de incêndio: A; F	Classes de incêndio: A; B; C; F
					
Não adequado contra todos os demais tipos de incêndio	Não adequado contra incêndio em panelas fundas de fritura ou em metal	Não adequado contra incêndio em gás, metal, equipamentos elétricos ou panelas fundas de fritura ou gordura	Não adequado contra incêndio em gás, metal ou panelas fundas de fritura ou gordura	Não adequado contra outros tipos de incêndio	Não adequado contra incêndio em líquido e gás
	Recomendado para AVAC–R		Recomendado para AVAC–R		

Fonte: Checkfire Group UK.

3.3 **Primeiros socorros**

A expressão "primeiros socorros" significa assistência no local, antes de a pessoa ferida ou doente receber atendimento médico. Muitas vezes a vida da pessoa ferida depende da administração dos primeiros socorros, o mais rápido possível, diretamente no local do acidente. O empregador (contratante) é responsável pela eficácia dos primeiros socorros e deve tomar as devidas providências. Isso inclui a designação de um número suficiente de socorristas, garantindo treinamento apropriado, e o fornecimento de equipamentos adequados de primeiros socorros.

Figura 24 – Tratamento de primeiros socorros em caso de lesões causadas pelo frio



O perigo de queimadura pelo frio é significativo e o melhor tratamento para a vermelhidão da pele seria tratar as lesões na mão ou nos dedos do mesmo jeito que se faria no caso de queimadura. Porém, o fluido refrigerante líquido e o gelo seco são frios o suficiente para matar as células; sendo assim, se a pele ficar branca, você deve procurar assistência médica o mais rápido possível.

Fonte: Rolf Huehren.



Exemplo de queimadura pelo frio

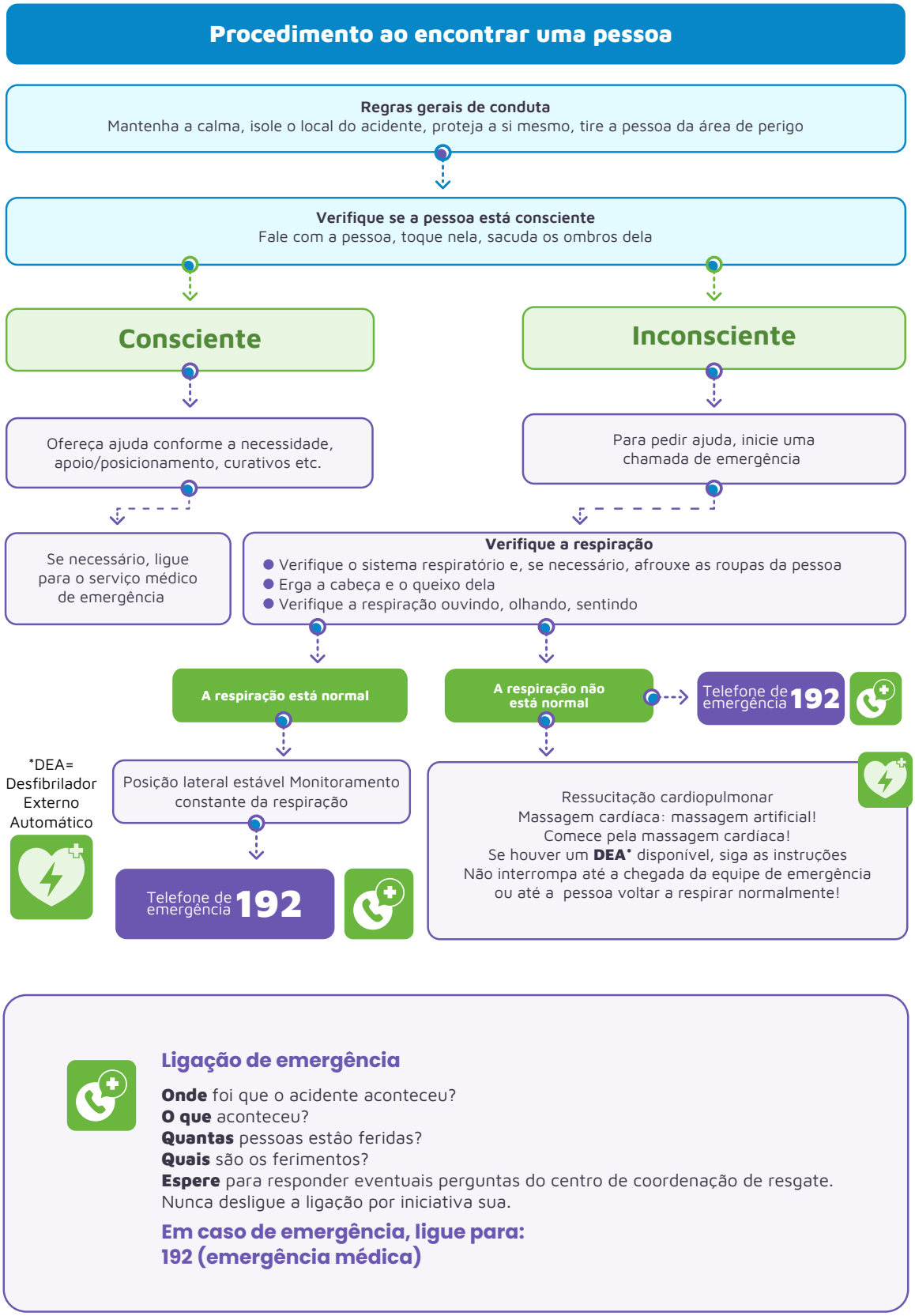
Por exemplo: exposição a fluido refrigerante líquido, gelo seco, CO_2 líquido e N_2. As queimaduras pelo frio costumam ser tratadas como queimaduras.

- Lave com água abundante;
- Use uma pomada para queimadura (sulfadiazina de prata – SSD);
- Não coloque curativo nem nada parecido sobre a ferida! Isso poderia causar mais danos (inflamação, infecção, etc.); e
- Se necessário, dependendo da gravidade, procure um médico ou hospital.

3.3.1 **Emergência**

Emergência é uma situação grave, inesperada e geralmente perigosa que exige que uma providência seja tomada imediatamente. O procedimento de emergência é um plano de ação a ser conduzido em determinada ordem ou maneira, em resposta a um evento de emergência, conforme esquematizado na Figura 25.

Figura 25 – Plano de ação em resposta a uma emergência



Ligação de emergência

Onde foi que o acidente aconteceu?
O que aconteceu?
Quantas pessoas estão feridas?
Quais são os ferimentos?
Espere para responder eventuais perguntas do centro de coordenação de resgate.
Nunca desligue a ligação por iniciativa sua.

Em caso de emergência, ligue para:
192 (emergência médica)

Fonte: Rolf Huehren.

3.3.2 Primeiros socorros gerais em caso de exposição ao fluido refrigerante



Contato com os olhos
Lave imediatamente os olhos com água em abundância, e levante um pouco as pálpebras superiores e inferiores. Verifique e retire as lentes de contato, se for o caso. Continue lavando por pelo menos 10 minutos. Procure um médico se ocorrer irritação nos olhos.



Contato com a pele
Lave a pele contaminada com água e sabão. Tire as roupas e os sapatos contaminados. Para evitar o risco de descargas estáticas e ignição de gás, molhe bem as roupas contaminadas com água antes de tirá–las. Procure um médico se surgirem sintomas. Lave as roupas antes de usá–las novamente. Limpe bem os sapatos antes de usá–los novamente.



Inalação
Leve a vítima para um local com ar fresco e mantenha a pessoa em repouso em posição confortável para respirar. Se a pessoa não estiver respirando, se a respiração dela estiver irregular, ou se ocorrer parada respiratória, providencie respiração artificial ou oxigênio ministrado por pessoas treinadas para essa função. Pode ser perigoso para a pessoa que está prestando os primeiros socorros fazer ressuscitação com respiração boca a boca. Procure um médico se os efeitos adversos persistirem ou ficarem graves. Se a pessoa estiver inconsciente, coloque–a em posição de recuperação e procure um médico imediatamente. Mantenha as vias aéreas desobstruídas. Afrouxe roupas apertadas, como golas, gravatas, cintos ou faixas na cintura.



Ingestão
Como tratamos de fluidos refrigerantes, em estado gasoso, mesmo que absorvidos pela boca, manter os mesmos procedimentos do item inalação.

3.3.3 Primeiros socorros gerais em caso de exposição a gelo seco



Contato com os olhos
Em caso de queimadura pelo frio, use spray com água por pelo menos 15 minutos. Coloque um curativo estéril. Procure assistência médica imediatamente.



Contato com a pele
Para evitar lesões de longo prazo na pele e nas camadas inferiores de tecido, o produto deve ser removido (desligado) imediatamente, caso contrário ele pode provocar uma queimadura pelo frio e o tecido morrerá em poucos segundos.

Em caso de queimadura pelo frio, use spray com água por pelo menos 15 minutos. Coloque um curativo estéril. Procure assistência médica.



Inalação

Concentrações mais baixas de CO_2 provocam maior frequência respiratória e dores de cabeça.
Concentrações altas podem provocar asfixia.
Os sintomas podem incluir perda de mobilidade / perda de consciência. A vítima pode não ter consciência da asfixia. Leve a vítima para uma área não contaminada, colocando nela um aparelho respiratório autônomo. Mantenha a vítima aquecida e em repouso. Chame um médico. Aplique respiração artificial se ela parar de respirar.



Ingestão

Deve-se evitar completamente a ingestão, pois o frio e o aumento de pressão representam uma ameaça à vida. Procure assistência médica e siga as orientações do médico.

3.3.4 Primeiros socorros envolvendo acidentes causados por correntes elétricas

Em caso de acidente causado por corrente elétrica, proteja-se. A corrente que está passando através da vítima deve ser interrompida.

Sistema de baixa tensão:

A tensão doméstica e industrial costuma ser de 230/400 V até no máximo 1.000 V. A interrupção do circuito pode ser feita, por exemplo, desligando o equipamento, tirando a tomada da parede, ou tirando o fusível. Se não for possível interromper o circuito, a vítima deve ser separada das partes vivas (por exemplo, por cabos elétricos) com um objeto não condutor, como uma haste isolada.



Aviso de tensão perigosa

Sistemas de alta tensão:

Acima de 1.000 V, os sistemas são marcados com o símbolo do raio com uma seta. Em caso de acidente, deve-se ligar imediatamente para o médico de emergência e avisar o pessoal qualificado. O resgate de sistemas de alta tensão só pode ser feito por pessoal qualificado. Logo, só a equipe competente, com a devida autorização, tem permissão para desligar o circuito.

Se a tensão não for conhecida, assim como nos sistemas de alta tensão, deve ser mantida uma distância de segurança de pelo menos cinco metros. Devem ser tomadas as mesmas providências que no caso de alta tensão.

3.4 **Plano de emergência**

Garantir a segurança operacional e a resposta de emergência exige a implementação de um plano de emergência para o sistema de refrigeração em cascata usando R–744 (CO_2) e R–290 (propano), lidando com os riscos exclusivos associados a esses fluidos refrigerantes. O plano deve garantir a segurança e a conformidade com as regulamentações, leis e códigos de construção nacionais para garantir a resposta eficiente no caso de qualquer cenário de emergência.

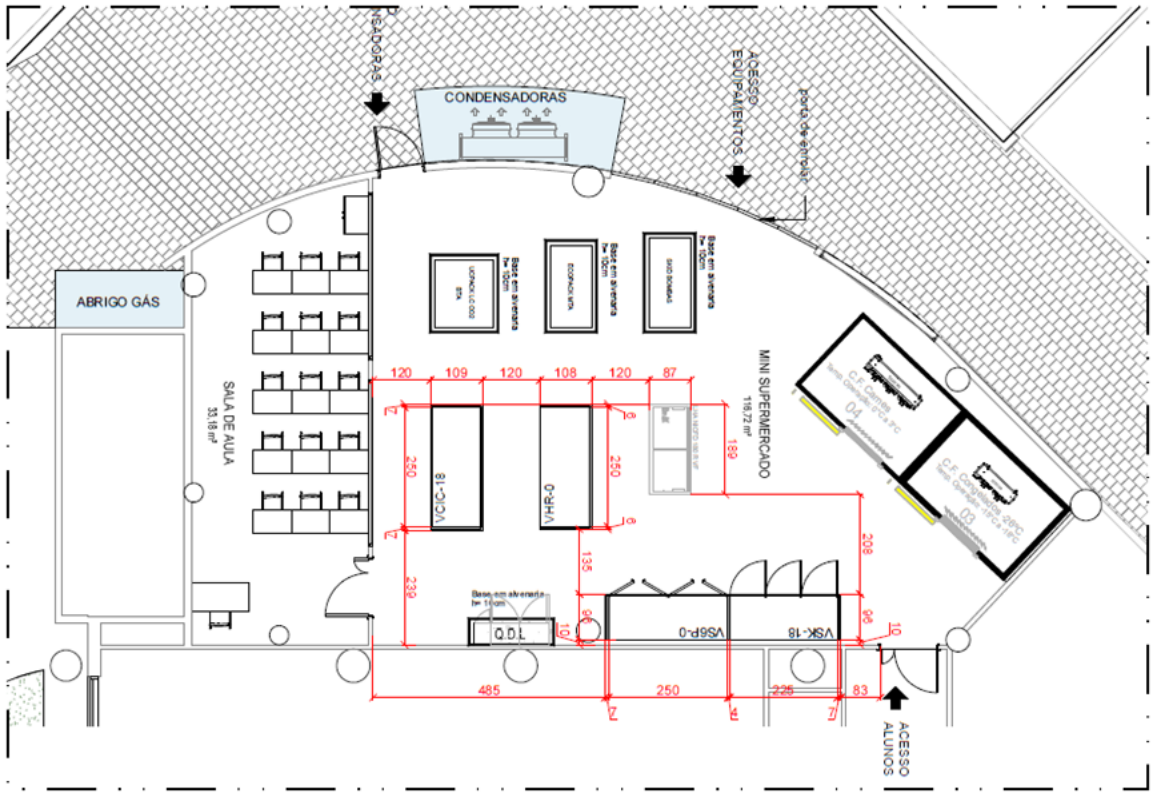
3.4.1 **Plano de emergência para sistema de refrigeração em cascata com R–744 e R–290**

Os assuntos devem ser divididos nos seguintes tópicos (conforme aplicável)

1. **Finalidade:** Garantir a segurança e mitigar os riscos associados ao R–744 e R–290 e à operação do sistema de refrigeração em cascata.
2. **Escopo:** Cobre segurança operacional, resposta de emergência e recuperação pós–incidente.
3. **Visão geral do sistema:** Sistema em cascata com R–744, no circuito de baixa temperatura, e R–290, no circuito de alta temperatura.

3.4.2 **Equipamento técnico e layout do local de treinamento como disponíveis no Senai – Unidade Benfica[3] – Rio de Janeiro (RJ)**

Figura 26 – Equipamento técnico e layout do local de treinamento no Senai Rio de Janeiro



Fonte: Eletrofrio.

[3] Instituto Senai de Tecnologia Automação e Simulação, localizado no bairro de Benfica, no Rio de Janeiro (RJ).

3.4.3 **Os cenários de emergência, no mínimo, devem refletir**

1. Incidentes relacionados a R–744 (CO_2)

- Liberação ou explosão em alta pressão;
- Baixa temperatura (risco de queimadura pelo frio);
- Asfixia em lugares fechados; e
- Falha de energia levando à falha do sistema de refrigeração de emergência em cascata.

2. Incidentes relacionados a R–290

- Vazamento de gás inflamável e incêndio;
- Concentração de explosivos em espaços fechados;
- Baixa temperatura (risco de queimadura pelo frio); e
- Asfixia em lugares fechados.

3. Perigos combinados

- Falha estrutural afetando ambos os fluidos refrigerantes; e
- Falha de alimentação levando a desequilíbrio em cascata.

3.4.4 **Procedimentos de emergência** (veja também o Capítulo 3.4.1)

Fluido refrigerante R–744

- Use sensores de CO_2 em espaços fechados; e
- Evacue o pessoal se os níveis excederem os limites seguros (por exemplo > 5.000 ppm).

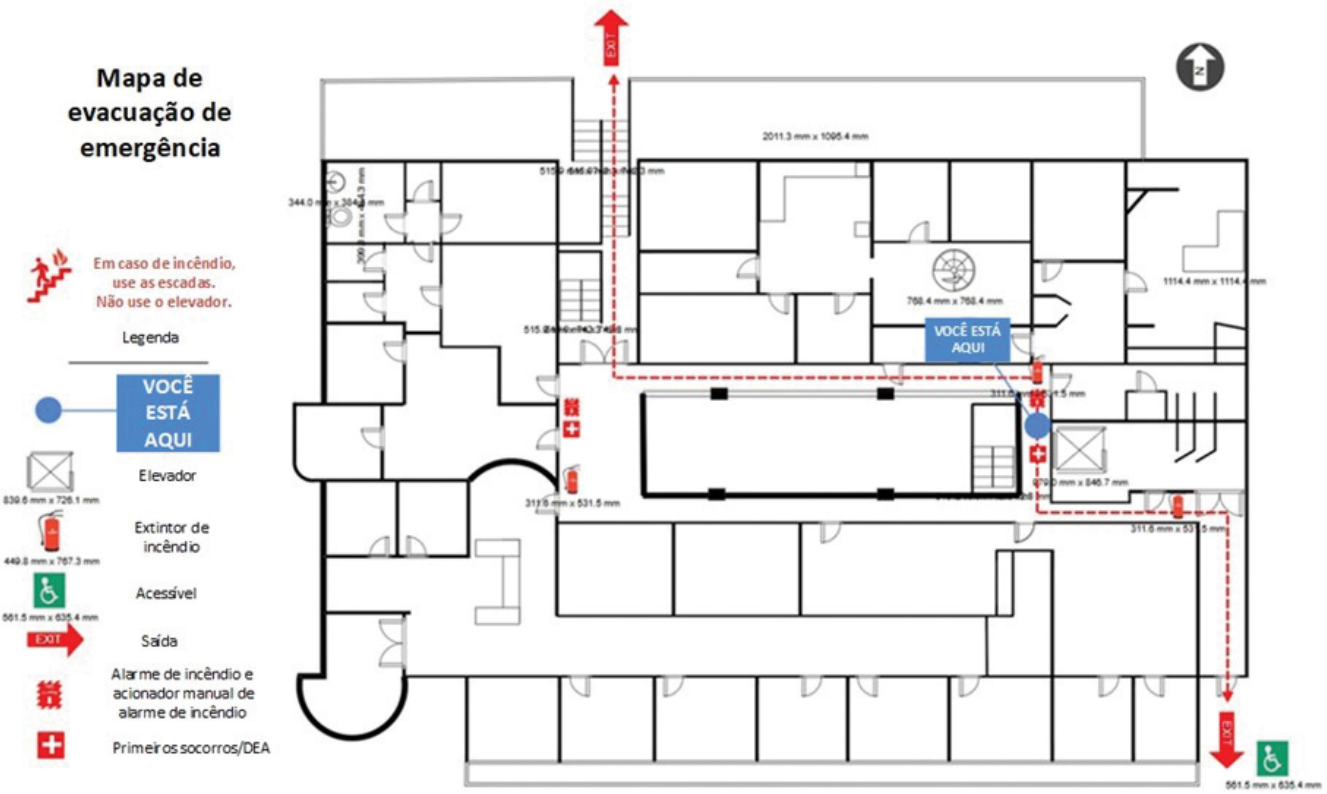
Fluido refrigerante R–290

- Use detectores de gases hidrocarbonetos; e
- Isole a energia para evitar fontes de ignição.

Evacuação

- Implemente um mapa de evacuação;
- Defina as rotas de evacuação; e
- Use dispositivos de iluminação e comunicação à prova de explosões durante emergências.

Figura 27 – Exemplo de um mapa de evacuação de emergência



Fonte: Edraw Max.

3.4.5 **Gerenciamento de incêndio causado por PROPANO** (ou combinado com as medidas da edificação)

- Use extintores de classes A e B;
- Evite água, pois ela pode espalhar as chamas causadas pelo propano ou causar queimaduras por eletricidade;
- Dê prioridade à segurança do pessoal e ligue para Corpo de Bombeiros;
- Notifique os funcionários usando sistemas de alarme e alto–falantes;
- Entre em contato com os serviços de emergência externos (bombeiros, médicos, equipes especializadas em materiais perigosos); e
- Avise as agências reguladoras se forem excedidos os limites de liberações sujeitas a comunicações.

3.4.5.1 **Funções e responsabilidades**

Função	Responsabilidade
Encarregado da segurança	Coordenar a resposta de emergência e se comunicar com as autoridades. Supervisionar as operações e garantir a conformidade com os protocolos de emergência.
Equipe de manutenção	Desligar equipamentos, reparar vazamentos e gerenciar liberações de fluido refrigerante.
Equipes de emergência	Oferecer ajuda médica, combate a incêndios ou contenção de vazamentos.

3.4.5.2 Equipamento e recursos de emergência

Equipamento	Local	Uso
Detectores de gás (CO_2, R–290)	Sala de controle e em áreas das instalações	Detecção e monitoramento de vazamentos
EPIs (luvas, máscaras, óculos de segurança e detectores de gás)	Armários de segurança	Proteção individual
Extintores de incêndio (Classe A/B)	Próximos a zonas de alto risco	Suprimir chamas de propano Suprimir queimaduras por eletricidade

3.4.5.3 Treinamento e exercícios

- Conduza exercícios de emergência trimestrais para todo o pessoal; e
- Ofereça treinamento de atualização anual sobre os perigos dos fluidos refrigerantes e os protocolos de resposta.

3.4.5.4 Conformidade com regulamentos

- Respeite os códigos de segurança locais e internacionais (por exemplo, ABNT NBR ISO 5149); e
- Mantenha os registros de inspeções, exercícios e incidentes.

3.4.5.5 Revisões e atualizações

- Revise o plano anualmente ou após incidentes significativos; e
- Faça atualizações com base nas mudanças de regulamentações, modificações do sistema ou novos perigos.

04

REGULAMENTAÇÕES, REGRAS E NORMAS TÉCNICAS PARA RAC

4 Regulamentações, regras e normas técnicas para RAC

O conjunto de regras técnicas garante o uso seguro, eficiente e ambientalmente responsável dos sistemas de refrigeração e ar condicionado no Brasil. É essencial se manter atualizado com as mudanças ou novas regulamentações publicadas pelas autoridades competentes.

4.1 Principais áreas de foco

1. Uso de fluido refrigerante: Conformidade com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal, em particular a redução gradual no consumo de HFCs;

2. Segurança: Assegurar que os sistemas sejam projetados para evitar vazamentos, explosões ou exposição a substâncias nocivas; e

3. Eficiência energética: Incentivo ou administração de sistemas com menor consumo de energia.

4.2 Foco no Brasil

O Brasil conta com diversas regras e regulamentações técnicas que regem os sistemas de refrigeração, além das normas reconhecidas internacionalmente. Essas regras cobrem projeto, instalação, manutenção e conformidade ambiental. As principais áreas incluem segurança, eficiência energética e proteção do meio ambiente.

Algumas referências importantes estão listadas a seguir:

1. NR (Normas Regulamentadoras)
- NR-12 (Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos): Concentra-se na operação segura de equipamentos de refrigeração para evitar acidentes; e
- NR-13 (Caldeiras e vasos de pressão): Aplica-se a sistemas de refrigeração que envolvem vasos de pressão, incluindo procedimentos de manutenção e de segurança.

2. Resoluções do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente)
- Resolução 267/2000: Estabelece regras para manuseio, reciclagem e descarte de fluidos refrigerantes para evitar a destruição da Camada de Ozônio;
- Resolução 340/2003: Dispõe sobre o gerenciamento de SDOs e dos recipientes utilizados no seu recolhimento e dá outras providências; e
- Resolução 436/2011: Regula as emissões de poluentes do ar oriundas de fontes fixas, que podem incluir sistemas de refrigeração.

3. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)
- ABNT NBR ISO 5149: Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Segurança e requisitos ambientais (equivalente à ISO 5149 e quase equivalente à EN 378);

- ABNT NBR 16666: Fluidos refrigerantes – Designação e classificação de segurança;
- ABNT NBR 16401: Normas para sistemas de AVAC–R, incluindo requisitos de projeto e desempenho para refrigeração;
- ABNT NBR 15569: Cobre a instalação e a manutenção de sistemas de refrigeração; e
- ABNT NBR 15218: Diretrizes para eficiência energética em refrigeração e sistemas de ar condicionado.

4. INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia)
- Certifica e regula os aparelhos de refrigeração para garantir eficiência energética e segurança; e
- Emite regulamentações técnicas para identificação e teste de equipamentos.

5. Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária)
- Estipula requisitos de higiene e segurança para refrigeração em indústrias como a alimentícia e a farmacêutica.

6. Regulamentações estaduais e municipais
- As administrações locais podem ter regras específicas para sistemas de refrigeração, especialmente no que diz respeito ao impacto ambiental e ao consumo de energia.

4.3 **Regulamentações e regras técnicas com reconhecimento internacional**

Em diversos países, os requisitos de regulamentação e autorização são estabelecidos para controlar o uso de substâncias perigosas e a aplicação delas em equipamentos de AVAC–R. A Tabela 15, na sequência, fornece alguns exemplos dessas regulamentações.

Tabela 15 – Regulamentações e regras técnicas

2024/573/CE	Regulamento sobre gases fluorados causadores de efeito estufa (regulamento europeu de gases F)	O objetivo desse regulamento é proteger o meio ambiente reduzindo as emissões de gases fluorados causadores de efeito estufa.
2024/2215/CE	Regulamento de execução para o regulamento europeu de gases F	O regulamento descreve os requisitos mínimos para a emissão de certificados a pessoas singulares e coletivas e as condições para o reconhecimento mútuo desses certificados, no que respeita aos equipamentos fixos de refrigeração, de ar condicionado e de bombas de calor, aos ciclos orgânicos de Rankine e às unidades de refrigeração de caminhões refrigerados, reboques refrigerados, veículos ligeiros refrigerados, contentores de transporte e vagões ferroviários que contenham gases fluorados com efeito de estufa ou as suas alternativas.

Continuação da Tabela 15 – Regulamentações e regras técnicas

2014/68/CE	Diretiva de equipamentos sob pressão (PED)	Artigo 13 Grupo de fluido 1 Classificação de equipamentos sob pressão e fluidos conforme um nível crescente de perigos.
2006/42/CE	Diretiva de máquinas (MD)	Essa diretiva visa à livre circulação no mercado de máquinas e à proteção de trabalhadores e consumidores que usam essas máquinas. Ela define requisitos essenciais de saúde e segurança de aplicação geral, suplementados por uma série de requisitos mais específicos para determinadas categorias de máquinas.
2014/35/CE	Diretiva de baixa tensão (LVD)	A diretiva de baixa tensão (LVD) assegura que equipamentos elétricos dentro de certos limites de tensão forneçam um alto nível de proteção para cidadãos europeus. A diretiva cobre todos os equipamentos e componentes elétricos destinados ao uso com regime de tensão entre 50 e 1.000 V para corrente alternada, e entre 75 e 1.500 V para corrente direta.
2014/34/CE	Diretiva de produtos ATEX (destinados ao uso em atmosferas potencialmente explosivas)	Aplicação de substância inflamável. Esta diretiva dispõe sobre o alinhamento de leis dos Estados–Membros da União Europeia referentes a equipamentos e sistemas de proteção destinados ao uso em atmosferas potencialmente explosivas.
1999/92/CE	Diretiva de local de trabalho ATEX	Aplicação de substância inflamável. A diretiva contém requisitos mínimos para aumentar a proteção da saúde e da segurança de trabalhadores que possam correr risco em atmosferas explosivas, bem como critérios para a seleção de equipamentos e sistemas de proteção (Anexo 2 da diretiva). Os principais pontos são: – O dever de coordenação; – O documento de proteção contra explosão; e – A classificação de locais onde as atmosferas explosivas possam estar presentes (Anexo 1 da diretiva).
1272/2008/CE	Sobre a classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas (CLP)	Transporte de substâncias e misturas. O regulamento CLP contém requisitos uniformes para a classificação, rotulagem e embalagem de substâncias químicas e misturas. Substâncias radioativas, cosméticos, produtos medicinais e dispositivos médicos, bem como alimentos, estão excluídos.
TRBS (Alemanha)	Regras técnicas para a segurança industrial	As regras técnicas para a segurança industrial refletem o que há de mais avançado em regras referentes a medicina ocupacional e higiene ocupacional, além de outras descobertas científicas ocupacionais para a provisão e uso de equipamentos de trabalho e para a operação de sistemas que demandam monitoramento.

Continuação da Tabela 15 – Regulamentações e regras técnicas

TRGS (Alemanha)	Regras técnicas para substâncias perigosas	As regras técnicas para substâncias perigosas refletem o que há de mais avançado em tecnologia, segurança e saúde ocupacional, e higiene ocupacional, além de outros conhecimentos sólidos científicos sobre trabalhos relacionados a atividades que envolvem substâncias perigosas, incluindo a classificação e a rotulagem dessas substâncias.
Requisito para autorização	Aplicável em muitos países, conforme a legislação nacional.	Exemplo 1: Lei federal de controle de emissões para a Alemanha (BImSchG); carga de amônia > 3.000 kg Exemplo 2: Portaria regulando incidentes perigosos na Suíça; carga de amônia > 2.000 kg
Lei do Ar Limpo (CAA) dos EUA	A Lei do Ar Limpo é a principal lei federal de qualidade do ar dos Estados Unidos, destinada a reduzir e a controlar a poluição atmosférica em âmbito nacional.	A Lei do Ar Limpo é administrada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), em coordenação com governos estaduais, municipais e tribais. A EPA desenvolve extensa regulamentação administrativa para fazer valer o que está na lei.

Fonte: Rolf Huehren.

4.4 Normas técnicas

Dependendo do país e das circunstâncias, há uma grande quantidade de normas de segurança, códigos de conduta e diretrizes do setor para auxiliar os diversos setores industriais na aplicação segura de fluidos refrigerantes inflamáveis, de maior toxicidade e alta pressão.

Em princípio, a norma é um documento que especifica requisitos para produtos, serviços ou processos. Ela oferece clareza sobre as características deles, facilita a livre circulação de bens e promove as exportações. As normas respaldam a racionalização e a garantia de qualidade nos negócios, na tecnologia, na ciência e na administração. Elas cuidam da segurança das pessoas e de bens, bem como da melhoria de qualidade em todas as áreas da vida.

As normas são desenvolvidas por quem depois vai aplicá–las. Em princípio, qualquer pessoa pode enviar uma solicitação de padronização. Todas as partes interessadas no assunto têm a oportunidade de participar e contribuir com seu conhecimento. Antes da adoção, um projeto da norma é publicado e fica aberto a discussões. Em princípio, os especialistas envolvidos devem chegar a um acordo sobre o conteúdo final. As normas passam por uma revisão a cada cinco anos pelo menos, para conformidade com as condições mais avançadas.

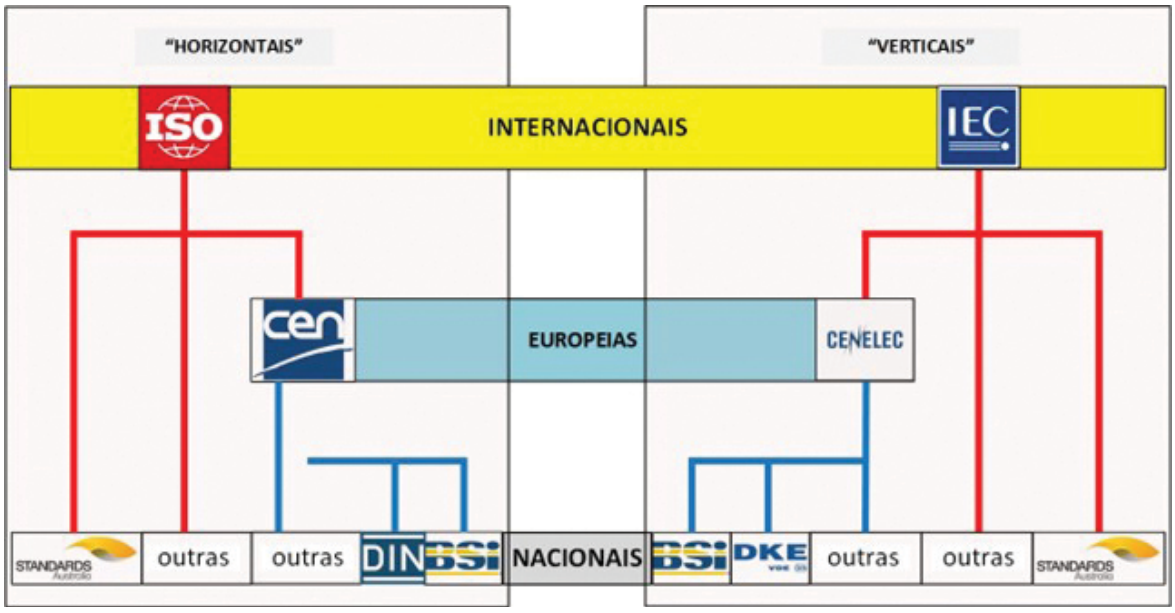
A aplicação das normas é voluntária. As normas só são vinculantes quando passam a fazer parte de contratos, ou quando o legislador obriga ao cumprimento da norma. Elas não representam uma "carta branca" no caso de possível responsabilização. A aplicação de normas, como códigos de conduta amplamente aceitos, facilita a comprovação da conformidade.

Cerca de 85% de todos os projetos de normas hoje em dia se baseiam em normas europeias ou internacionais (DIN, 2020). As normas internacionais representam uma linguagem técnica em comum entre parceiros comerciais e, assim, promovem

o comércio global e conformidade geral na segurança e tecnologia do produto.

Para as partes ou pessoas envolvidas, as normas de segurança (e códigos de conduta do setor) são desenvolvidas para fornecer uma interpretação mais prática das orientações fornecidas em regulamentações e tratados internacionais. Às vezes elas são desenvolvidas para tipos específicos de equipamentos ou aplicações (as chamadas "normas verticais" ou "normas de produtos"), enquanto outras vezes elas são mais genéricas e com uma abordagem holística ("normas horizontais"), como a EN 378, a ISO 5149 e a ABNT NBR ISO 5149 (veja a Figura 28).

Figura 28 – Normas de segurança desenvolvidas por vários órgãos de padronização



Fonte: Daniel Colbourne.

As normas de segurança são desenvolvidas em âmbito internacional (ISO, CEN, IEC, CENELEC), regional (EN na Europa, BS no Reino Unido) e nacional (ABNT no Brasil). As principais normas internacionais e regionais que afetam o projeto, a construção, a aplicação e o descomissionamento de aparelhos e sistemas de acordo com o fluido refrigerante selecionado estão listadas na Tabela 16, na sequência, junto com os respectivos setores e aplicações.

Os principais tópicos dentro das normas de segurança de AVAC–R são os seguintes:

1. Classificação de fluidos refrigerantes, ocupação, sistemas;
2. Tamanho da carga do fluido refrigerante – limites;
3. Projeto seguro, construção e testes de componentes e tubulações;
4. Projeto seguro, construção e testes de conjuntos (sistemas);
5. Segurança elétrica, fontes de ignição;
6. Áreas de instalação, posicionamento, tubulação, ventilação mecânica, detecção de gás, comissionamento, descomissionamento;
7. Instruções, manuais, placas de identificação de sistemas;
8. Manuseio do fluido refrigerante; e
9. Definição de competências e critérios de avaliação.

Tabela 16 – Escopo de áreas de aplicação das normas internacionais

Setores								
Normas	**Refrigeração doméstica**	**Refrigeração comercial**	**Refrigeração industrial**	**Refrigeração para transporte**	**Aparelhos de ar condicionado (refrigeração/ aquecimento)**	**Bombas de calor para aquecimento de água**	***Chiller***	**Aparelho de ar condicionado automotivo**
IEC 60335–2–24	X							
IEC 60335–2–40					X	X	X	
IEC 60335–2–89		X						
ISO 5149 partes 1 a 4 / ABNT NBR ISO 5149 partes 1 a 4		X	X	X	X	X	X	
EN 378 partes 1 a 4		X	X	X	X	X	X	
ISO 13043								X
ISO 817	X	X	X	X	X	X	X	
ISO 22712 e ABNT 17131	X	X	X	X	X	X	X	
EN 50110–1	X	X	X	X	X	X	X	
ISO 13585	X	X	X	X	X	X	X	
EN 1861	X	X	X	X	X	X	X	
Handbook of Fundamentals (manual de princípios básicos) da Sociedade Americana ASHRAE, 2021					X	X		

Fonte: HEAT GmbH.

A Tabela 17 mostra uma lista de normas e códigos de conduta, e cita o título oficial para o uso específico e o escopo geral de cada documento. Ela dá uma visão geral não exaustiva das respectivas normas para a aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis.

Tabela 17 – Lista de normas aplicáveis de AVAC–R (resumo)

EN 378–1	**Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Requisitos ambientais e de segurança** – Requisitos básicos, definições, classificação e critérios de seleção. A revisão, realizada em 2019, considera a adaptação do Anexo D – "Inspeções periódicas" ao Regulamento europeu de gases F (gases fluorados de efeito estufa).
EN 378–2	**Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Requisitos ambientais e de segurança** – Projeto, construção, testes, marcação e documentação.
EN 378–3	**Sistemas de refrigeração e bombas de calor** – Requisitos ambientais e de segurança –Proteção do pessoal e do local de instalação.
EN 378–4	**Sistemas de refrigeração e bombas de calor** – Requisitos ambientais e de segurança – Operação, manutenção, reparos e regeneração.
ISO 5149 Partes 1–4	A **ABNT NBR ISO 5149** consiste nas seguintes partes, sob o título geral de "**Sistemas de refrigeração e bombas de calor — Segurança e requisitos ambientais**". Ela é uma das normas nacionais e internacionais (ISO) mais importantes para o setor de AVAC–R e a versão mais recente publicada é a de 2014. **(Quase equivalente à norma EN 378)** ⚠ **Parte 1:** Requisitos básicos, definições, classificação e critérios de seleção; ⚠ **Parte 2:** Projeto, construção, testes, marcação e documentação; ⚠ **Parte 3:** Proteção do pessoal e do local de instalação; ⚠ **Parte 4:** Operação, manutenção, reparos e regeneração.
ABNT NBR ISO 5149 Partes 1–4	**Sistemas de refrigeração e bombas de calor** – Requisitos ambientais e de segurança ⚠ **(Equivalente à ISO 5149 e quase equivalente à norma EN 378).**
ABNT NBR 16069	**Segurança em sistemas frigoríficos**
ABNT NBR 13598	**Vasos de pressão para refrigeração**
NR 12	**Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**
NR 13	**Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos para armazenamento**
ISO 817	**Fluidos refrigerantes – Designação e classificação de segurança**

Fonte: Rolf Huehren.

ABNT NBR 16666	**Fluidos refrigerantes – Designação e classificação de segurança**
DIN 8941	**Símbolos e unidades de refrigeração**
ABNT NBR 16186	**Refrigeração comercial, detecção de vazamentos, contenção de fluido refrigerante, manutenção e reparos**
ABNT NBR 15976	**Redução de emissões de fluidos refrigerantes em instalações e equipamentos fixos de refrigeração e ar condicionado – Requisitos e procedimentos gerais**
ISO 12100	**Segurança de máquinas – Princípios gerais de projeto – Avaliação e redução de risco** A norma especifica a terminologia básica, os princípios e a metodologia para ter segurança no projeto do maquinário. Ela especifica os princípios de avaliação de risco e redução de risco para ajudar os projetistas a alcançar esse objetivo. Esses princípios se baseiam no conhecimento e na experiência do projeto, uso, incidentes, acidentes e riscos associados ao maquinário. São descritos os procedimentos para identificar os perigos e estimar e avaliar os riscos durante as fases relevantes do ciclo de vida da máquina, e para a eliminação de perigos ou redução suficiente de riscos. É fornecida orientação sobre a documentação e a verificação da avaliação de risco e do processo de redução de riscos.
ABNT NBR ISO 12100	**Segurança de máquinas – Princípios gerais de projeto – Avaliação e redução de risco** (Equivalente à norma ISO 12100)
ISO 14903	**Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Procedimento de verificação da vedação de componentes e das juntas** Esse documento fornece o procedimento de qualificação para a aprovação de estanqueidade da vedação hermética e dos componentes fechados, juntas e peças usadas em sistemas de refrigeração e bombas de calor, conforme descrito nas partes relevantes da ISO 5149. Os componentes, juntas e peças fechados e vedados em questão são, em particular, os acessórios, os discos de ruptura, e os conjuntos flangeados ou encaixados. A estanqueidade da tubulação flexível fabricada com material não metálico é coberta na ISO 13971. Os tubos flexíveis de metal são cobertos por esse documento. Os requisitos contidos nesse documento são aplicáveis a juntas de DN 50 no máximo, e a componentes de volume interno de no máximo 5 l, com peso máximo de 50 kg.
EN 1127–1	**Atmosferas explosivas – Prevenção de explosão e proteção contra explosão – Parte 1: Conceitos básicos e metodologia** Essa norma é importante tanto para fabricantes quanto para operadores de máquinas, equipamentos, instalações e sistemas na área de proteção contra explosões. Assim que substâncias, materiais e as condições derem margem a uma atmosfera potencialmente explosiva, deve–se aplicar a metodologia de avaliação de risco e redução de risco. Isso inclui a consideração de incidentes.

IEC 60079–0	**Atmosferas explosivas – Parte 0: Equipamentos – Requisitos gerais** Essa norma especifica os requisitos gerais para construção, teste e marcação de equipamentos e componentes à prova de explosão destinados ao uso em atmosferas explosivas. As condições atmosféricas padrão (referentes às características de explosão da atmosfera), sob as quais se pode pressupor que os equipamentos à prova de explosão podem operar, são: • Temperatura –20 °C a +60 °C; • Pressão 80 kPa (0,8 bar) a 110 kPa (1,1 bar); e • Ar com nível normal de oxigênio, geralmente 21% v/v. Essa parte da IEC 60079 e outras normas que a suplementam especificam os requisitos adicionais de testes para equipamentos à prova de explosão, que operam fora do intervalo padrão de temperatura. Mas pode ser necessário fazer mais considerações e mais testes para equipamentos à prova de explosão, que operem fora do intervalo padrão da pressão atmosférica e do nível de oxigênio padrão. Esses outros testes podem ser de especial relevância com relação aos tipos de proteção que dependem da extinção de uma chama, como "invólucros à prova de explosão d" (IEC 60079–1) ou limitação de energia, "segurança intrínseca i" (IEC 60079 –11).
IEC 60079–10–1	**Atmosferas explosivas – Parte 10–1: Classificação de áreas – Atmosferas de gás explosivo** Essa norma se refere à classificação de áreas nas quais possam surgir perigos oriundos de gás ou vapor inflamável e pode ser usada como base para respaldar o projeto, a construção, a operação e a manutenção apropriados dos equipamentos para uso em áreas perigosas. Ela se destina a casos nos quais possa haver um perigo de ignição devido à presença de gás ou vapor inflamável, misturado com o ar, mas não se aplica a: **a)** Minas suscetíveis à presença de grisu; **b)** Processamento e fabricação de explosivos; **c)** Falhas catastróficas ou falhas raras de funcionamento que estão além do conceito de normalidade coberto por essa norma; **d)** Salas usadas para finalidades médicas; **e)** Instalações domésticas; e **f)** Onde possa surgir um perigo devido à presença de poeiras combustíveis ou partículas combustíveis, mas os princípios podem ser utilizados na avaliação de uma mistura híbrida. Névoas inflamáveis podem se formar ou estar presentes ao mesmo tempo que vapor inflamável. Em um caso desses, a aplicação estrita dos detalhes desse documento pode não ser apropriada. Névoas inflamáveis também podem se formar quando líquidos que não são considerados perigosos, devido ao alto ponto de fulgor, acabam sendo liberados sob pressão. Em casos assim, as classificações e os detalhes fornecidos nesse documento não se aplicam.
ABNT NBR IEC 60079–10–1	**Atmosferas explosivas – Parte 10–1: Classificação de áreas – Atmosferas de gás explosivo (equivalente à norma IEC 60079–10–1)**

IEC 60079–14	**Atmosferas explosivas – Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas** Essa norma contém os requisitos específicos para o projeto, seleção, montagem e inspeção inicial de instalações elétricas em atmosferas explosivas ou associadas a elas. Nos casos em que sejam necessários equipamentos para atender a outras condições ambientais, como proteção contra a entrada de água e resistência a corrosão, podem ser necessários outros requisitos de proteção. Os requisitos dessa norma se aplicam somente ao uso de equipamentos sob as condições atmosféricas padrão definidas na IEC 60079–0. Para outras condições, pode ser necessário tomar precauções adicionais, e o equipamento deve ter certificação para essas outras condições. Por exemplo: a maioria dos materiais inflamáveis e muitos materiais que são normalmente vistos como não inflamáveis podem queimar vigorosamente sob condições de enriquecimento de oxigênio. Esses requisitos são complementares aos requisitos para instalações em áreas não perigosas. Essa norma se aplica a todos os equipamentos elétricos, incluindo fixos, portáteis, transportáveis e pessoais, além de instalações, permanentes ou temporárias. Essa norma não trata dos riscos tóxicos associados a gases, líquidos e poeiras inflamáveis em concentrações que costumam ficar muito abaixo do limite explosivo inferior. Em locais nos quais o pessoal fique exposto a concentrações potencialmente tóxicas de material inflamável, devem ser tomadas as devidas providências. Tais precauções estão fora do escopo dessa norma.
IEC 60079–15	**Atmosferas explosivas – Proteção de equipamento por tipo de proteção "n"** Essa parte da IEC 60079 especifica os requisitos para a construção, teste e marcação de aparelhos elétricos do Grupo II por tipo de proteção "n" destinada a uso em atmosferas com gás explosivo. Essa norma se aplica a aparelhos elétricos que não geram faísca e a aparelhos elétricos com peças ou circuitos que produzem arcos ou faíscas ou que tenham superfícies quentes que, se não forem protegidas de uma das maneiras especificadas nessa norma, poderiam provocar a ignição de uma atmosfera de gás explosivo no entorno.
IEC 60079–17	**Atmosferas explosivas – Parte 17: Inspeção e manutenção de instalações elétricas** Essa norma se aplica a usuários e cobre fatores diretamente relacionados à inspeção e manutenção de instalações elétricas apenas dentro de áreas perigosas, nas quais o perigo possa ser causado por gases, vapores, névoas, poeiras, fibras ou partículas inflamáveis. Ela não inclui: • Outros requisitos fundamentais de instalação e inspeção para instalações elétricas; • A verificação de equipamentos elétricos; e • O reparo e a recuperação de equipamentos protegidos contra explosão (consulte a IEC 60079–19). Essa norma suplementa os requisitos da IEC 60364–6. No caso de poeiras, fibras ou partículas, o nível de limpeza e organização pode influenciar os requisitos de inspeção e manutenção. Essa norma se destina à aplicação onde possa haver risco devido à presença de gás ou misturas de poeira explosivas com o ar ou camadas de poeira combustível sob condições atmosféricas normais.

Continuação da Tabela 17 – Lista de normas aplicáveis de AVAC–R (resumo)

IEC 60079–29–1 CSV – Versão consolidada	**Atmosferas explosivas – Parte 29–1: Detectores de gás – Requisitos de desempenho de detectores para gases inflamáveis** Essa norma especifica requisitos gerais para a construção, teste e desempenho, e descreve os métodos de teste que podem ser aplicados a equipamentos portáteis, transportáveis e fixos para a detecção e medição de concentrações de gás ou vapor inflamável com o ar. Os equipamentos ou respectivas peças se destinam ao uso em atmosferas explosivas e em minas suscetíveis à presença de grisu.
EN 13306	**Manutenção – Terminologia de manutenção** A finalidade dessa norma europeia é definir os termos básicos para todos os tipos de manutenção e gerenciamento de manutenção, seja qual for o tipo de objeto considerado. A manutenção apenas do *software* não tem cobertura conceitual nessa norma. No entanto, a manutenção de objetos e sistemas que contêm *software* é considerada nessa norma. Termos separados não são definidos nessa norma. É de responsabilidade de cada gerência de manutenção definir sua própria estratégia de manutenção de acordo com os seguintes objetivos principais: • Assegurar a disponibilidade do objeto na função exigida pelo custo mais favorável; • Cumprir os requisitos de segurança, mão de obra, ambientais e todos os demais requisitos obrigatórios associados ao objeto; • Observar todas as influências sobre o meio ambiente; e • Fazer a manutenção da durabilidade do objeto e/ou da qualidade dos produtos fornecidos ou dos serviços recebidos, levando em consideração os custos.
EN 50110–1	**Operação das instalações elétricas – Parte 1: Requisitos gerais** Essa norma se aplica a todas as operações e atividades de trabalho com ou na proximidade de instalações elétricas. Trata–se de instalações elétricas operando desde tensões extrabaixas até altas tensões. • Extrabaixa tensão (EBT) – normalmente não ultrapassa 50 V de corrente alternada (CA) ou 120 V de corrente contínua (CC) sem ondulação, seja entre condutores ou para a terra; • Baixa tensão (BT) – normalmente não ultrapassa 1.000 V CA ou 1.500 V CC; e • Alta tensão (AT) – normalmente não ultrapassa 1.000 V CA ou 1.500 V CC.
ABNT NBR 5410	**Instalações elétricas em edifícios – baixa tensão**
ABNT NBR 5419	**Proteção contra descargas atmosféricas**
NR 10	**Segurança em instalações elétricas e serviços**

Continuação da Tabela 17 – Lista de normas aplicáveis de AVAC–R (resumo)

EN 1861	**Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Diagramas de fluxo do sistema e diagramas de tubulação e instrumentação – layout e símbolos** Essa norma especifica regras de símbolos e desenhos para diagramas de fluxo do sistema e diagramas de tubulação e instrumentação a serem usados para sistemas de refrigeração, incluindo bombas de calor. Esses diagramas de fluxo representam a estrutura e a função do sistema de refrigeração e fazem parte de toda documentação técnica necessária para o projeto, construção, instalação, comissionamento, operação, manutenção e descomissionamento de um sistema de refrigeração. Essa norma não se aplica a sistemas de refrigeração nos quais o calor é extraído por um circuito elétrico, como, por exemplo, efeito Peltier.
ISO 45001	**Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional – Requisitos com orientações de uso** Reduza o risco de lesões, acidentes e doenças relacionadas ao trabalho em sua empresa. As lesões e doenças relacionadas ao trabalho representam um fardo significativo tanto para os empregadores quanto para a economia como um todo. Iniciativas de sustentabilidade podem evitar isso. Elas asseguram que os funcionários trabalhem com mais segurança e que sejam mais saudáveis, ao mesmo tempo elevando os lucros da empresa.

As normas de segurança de AVAC–R abordam uma ampla gama de perigos associados a sistemas e equipamentos de RAC. Aspectos relacionados à segurança dos fluidos refrigerantes representam uma proporção desses perigos e dos respectivos requisitos de projeto, construção e manuseio. A Tabela 18 resume os tópicos importantes cobertos pelas normas de segurança de AVAC–R que são afetados pela escolha do fluido refrigerante.

Tabela 18 – Escopo de áreas de aplicação das normas internacionais

Categoria	IEC 60335–2–24	IEC 60335–2–89	IEC 60335–2–40	ISO 5149–1, –2, –3, –4 (ABNT NBR ISO 5149–1, –2, –3, –4) EN 378–1, –2, –3, –4
Escopo	Refrigeradores, máquinas de fazer gelo e *freezers* domésticos.	Aparelhos comerciais do tipo *plug–in* e gabinetes com uma unidade condensadora e um único compressor.	Aparelhos de ar condicionado completos, bombas de calor, desumidificadores, e unidades parciais, manufaturados em fábrica.	Todos os sistemas comerciais e industriais de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração.
Limites na quantidade de carga do fluido refrigerante	Fluido refrigerante inflamável 150g. Sem limite para R–744. R–717 fora de escopo	Fluido refrigerante inflamável A3 – 500g. A2L – 1,2 kg. Sem limite para R–744. R–717 fora de escopo.	A3 – Cerca de 1 kg de HC em um sistema direto interno (conforme o tamanho da sala) e 5 kg externo ou em invólucro especial. A2L até 7,5 kg. Sem limite para R–744. R–717 fora de escopo.	1 kg, 1,5 kg, 5 kg, 10 kg, 25 kg de HC e sem limite, conforme o tipo de sistema e/ou tamanho da sala. Sem limite para R–744, ou limitado pelo tamanho da sala. Sem limite para R–717 se estiver do lado de fora ou em casa de máquinas.

Continuação da Tabela 18 – Escopo de áreas de aplicação das normas internacionais

Marcação	Requer símbolos de aviso de inflamabilidade ou de alta pressão, conforme o caso.	
Resistência de pressão	Especifica os testes de pressão para sistemas e componentes (onde aplicável).	
Equipamentos elétricos	Especifica os requisitos de projeto, construção e testes.	Refere-se às normas apropriadas.
Fontes de ignição	Descreve o que deve ser levado em conta e como evitar uma possível fonte de ignição, incluindo uma opção de método de teste.	
Informações e instruções	Detalhes sobre instalação, uso, serviço, manutenção e descarte de equipamentos de modo que usuários, operadores e técnicos/as tenham consciência sobre como lidar com perigos de inflamabilidade.	
Estanqueidade do sistema	De modo geral, os sistemas devem ser construídos como "vedados" ou "hermeticamente vedados" se forem usar fluidos refrigerantes inflamáveis em ambientes internos (isto é, sem uso ou com uso limitado no número de conexões ou acessórios mecânicos reutilizáveis).	
Dispositivos de limitação/alívio de pressão	A necessidade de dispositivos adicionais para limitar ou aliviar a pressão em excesso pode se aplicar a sistemas menores se forem usados fluidos refrigerantes inflamáveis.	
Sistemas secundários/indiretos	Componentes adicionais para circuitos secundários ou indiretos (como os que usam água ou salmoura) são exigidos para ventilar algum vazamento que venha a ocorrer do evaporador para dentro de um circuito secundário caso o circuito de refrigeração primário ultrapasse determinado tamanho de carga.	
Sensores de gás	N/A	Sensores de gás podem ser obrigatórios para iniciar medidas de mitigação como ventilação, alarmes, terminações de fontes elétricas etc. Eles podem ser aplicáveis a sistemas que usam fluidos refrigerantes inflamáveis em salas de máquinas ou mesmo para sistemas em espaços ocupados.
Construção de salas de máquinas ou invólucros ventilados	N/A	As salas de máquinas ou invólucros especiais podem ter determinados requisitos se forem usados fluidos refrigerantes inflamáveis, como quantidade e abertura de portas, resistência das paredes ao fogo, índice de estanqueidade e fluxo mínimo de ar, etc.

Fonte: HEAT GmbH.

05

VISÃO GERAL DAS TECNOLOGIAS AVAC-R

5 Visão geral das tecnologias AVAC-R

O papel das tecnologias modernas de Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração (AVAC-R)

As tecnologias de AVAC-R são fundamentais para a vida moderna e têm impacto na saúde, na economia e na sustentabilidade ambiental. Desde a conservação de alimentos e medicamentos até ambientes confortáveis para viver e trabalhar, esses sistemas são vitais para a sociedade global. Além da conveniência proporcionada no dia a dia, eles têm um papel crucial na segurança alimentar no mundo inteiro, possibilitando o armazenamento e o transporte seguros de produtos perecíveis. No setor industrial, os sistemas de AVAC-R são essenciais em processos como a produção química e farmacêutica. Enquanto o mundo luta contra as mudanças climáticas (aquecimento global), essas tecnologias mais avançadas, com uso de fluidos refrigerantes naturais, também oferecem oportunidades para economia de energia significativa e redução na pegada de carbono, particularmente também com avanços na tecnologia de bombas de calor para aquecimento e refrigeração eficientes.

Os desafios da transição para sistemas de AVAC-R modernos e sustentáveis

Apesar da importância das tecnologias de AVAC-R, elas enfrentam inúmeros desafios. Uma das questões prementes é o impacto ambiental produzido por elas. Muitos fluidos refrigerantes tradicionais, como os hidrofluorcarbonetos (HFCs), possuem alto potencial de aquecimento global (GWP) e contribuem significativamente para as mudanças climáticas. A transição para alternativas com baixo GWP, em particular fluidos refrigerantes naturais como amônia (NH_3 – R-717), dióxido de carbono (CO_2 – R-744) e hidrocarbonetos (HCs – R-600a, R-290, R-1270) é essencial, mas isso não significa que não haja desvantagens. Muitas normas, regulamentações e códigos de construção nacionais e internacionais são rigorosos ao limitar a aplicação de fluidos refrigerantes naturais positivamente em termos de segurança da aplicação e negativamente se não estiverem atualizados.

A amônia, embora seja eficiente, é tóxica e requer protocolos de segurança rigorosos. Os hidrocarbonetos são inflamáveis, o que exige um cuidadoso treinamento sobre manuseio e projeto do sistema. Os sistemas de dióxido de carbono operam em altas pressões e de certa forma são tóxicos, o que requer equipamentos, componentes e treinamentos especializados. O *retrofit* dos sistemas já existentes para acomodar esses fluidos refrigerantes também envolve custos consideráveis e grandes desafios técnicos.

Os arcabouços regulatórios complicam ainda mais o cenário. Políticas como o Protocolo de Montreal e sua Emenda de Kigali e estipulam reduções graduais no uso de fluidos refrigerantes com alto GWP, gerando pressão para as indústrias inovarem rapidamente. Encontrar o equilíbrio entre a adequação a essas políticas e a relação custo-benefício é um desafio importante para as empresas, em especial em regiões em desenvolvimento com acesso limitado a tecnologias avançadas e a recursos.

A promessa dos fluidos refrigerantes naturais

Os fluidos refrigerantes naturais estão encabeçando os esforços para fazer com que as tecnologias de AVAC-R sejam mais sustentáveis. Com um GWP desprezível e sem potencial de destruição da Camada de Ozônio, essas substâncias se alinham com os objetivos ambientais e as tendências regulatórias de longo prazo. Por exemplo, os sistemas de dióxido de carbono (CO_2) estão atraindo a atenção em supermercados e na refrigeração industrial por conta da eficiência e dos benefícios ambientais.

A amônia, que é um fluido refrigerante bem estabelecido em aplicações industriais há muitos anos, continua sendo uma opção confiável para refrigeração em larga escala, enquanto os hidrocarbonetos estão se tornando mais comuns em aplicações de pequena e média escala.

A adoção de fluidos refrigerantes naturais não só diminui as emissões diretas, mas também abre caminho para inovações no projeto de sistema e na eficiência energética. Contudo, superar as barreiras técnicas e econômicas para conseguir ampla implementação continua sendo crucial para realizar todo o potencial desses fluidos.

Vantagens tecnológicas e econômicas

As vantagens das tecnologias modernas de AVAC-R vão além das considerações ambientais. Avanços na eficiência do sistema reduzem o consumo de energia, resultando em custos operacionais mais baixos para as empresas e as residências. As bombas de calor, em particular, são uma alternativa sustentável para os sistemas tradicionais de aquecimento, já que usam fontes de energia renovável. Elas podem cortar substancialmente as emissões de gases de efeito estufa, em especial em regiões que estão fazendo a transição para deixar de usar combustíveis fósseis.

Além do mais, as inovações tecnológicas em sistemas de AVAC-R estão promovendo progresso em outras áreas. Por exemplo: sistemas inteligentes de refrigeração e aquecimento que usam IoT (Internet das coisas) possibilitam a manutenção preditiva e o uso otimizado da energia. Tecnologias emergentes como refrigeração magnética prometem maiores ganhos de eficiência, ao mesmo tempo reduzindo ao máximo o impacto ambiental.

As vantagens econômicas também são impressionantes. Embora os custos iniciais de adoção de sistemas de AVAC-R modernos e sustentáveis sejam altos, a economia de longo prazo obtida com o aumento de eficiência energética e redução dos riscos regulatórios faz com que esses sistemas sejam um ótimo investimento. Para as indústrias e as residências, esses sistemas representam um caminho com bom custo-benefício em direção à sustentabilidade.

5.1 **Classificação dos níveis de temperatura em sistemas AVAC-R**

A seguir será descrita a classificação dos níveis de temperatura em sistemas AVAC-R.

5.1.1 **Bombas de calor**

As bombas de calor são classificadas conforme a faixa de temperatura no lado da saída e aplicação a que se destinam. Diferentes de sistemas de refrigeração tradicionais, as bombas de calor podem funcionar como um sistema de aquecimento e de refrigeração. Em geral, as bombas de calor são classificadas assim:

1. Bombas de calor de baixa temperatura (LT)
Faixa de temperatura: -20 °C a +35 °C (entrega).
Finalidade: Projetadas para aplicações como aquecimento de ambientes em climas mais frios ou processos industriais de baixa temperatura.
Exemplos: Piso radiante e aquecimento de ambientes em prédios com eficiência energética.

2. Bombas de calor de média temperatura (MT)
Faixa de temperatura: +35 °C a +65 °C (entrega).
Finalidade: Geralmente usadas em aplicações de aquecimento, sistemas domésticos de água quente ou aquecimento industrial moderado.
Exemplos: Aquecimento de prédio, aquecimento de água residencial e aquecimento de piscina.

3. Bombas de calor de alta temperatura (HT)
Faixa de temperatura: +65 °C a +150 °C ou acima (entrega).
Finalidade: Usadas em aplicações industriais ou sistemas de aquecimento com *retrofit* que exigem temperaturas mais altas para processos ou sistemas tradicionais de radiador de prédio.
Exemplos: Processos industriais de secagem, redes de aquecimento distrital e sistemas de aquecimento de prédio com *retrofit*.

As faixas específicas podem variar um pouco, conforme as normas da indústria e os requisitos da aplicação.

5.1.2 **Refrigeração e ar condicionado**

Os níveis de temperatura para aplicações de refrigeração costumam ser classificados assim:

1. Temperatura alta (HT)
Faixa: +10 °C a +0 °C (entrega)
Finalidade: Usada para aplicações como sistemas de ar condicionado ou armazenamento de produtos que precisam de refrigeração, mas não congelamento (como frutas frescas, legumes, laticínios, medicamentos, processamento de dados e refrigeração de ambientes).
Exemplo: Aplicações da cadeia de frio, incluindo câmaras frias para produtos perecíveis, refrigeradores verticais com portas de vidro, *chillers*, sistemas de ar condicionado do tipo split, resfriamento de processos e transporte de produtos resfriados.

2. Temperatura média (MT)
Faixa: -1 °C a -18 °C (entrega)
Finalidade: Própria para a preservação de alimentos gelados e congelados que não exigem ultracongelamento (como carnes, sorvetes e itens prontos para cozinhar).
Exemplo: Locais de exibição nos supermercados, *freezers* de armazenamento e transporte de alimentos congelados.

3. Baixa temperatura (LT)
Faixa: -18 °C a -40 °C (entrega – ou até temperaturas mais baixas para aplicações específicas)
Finalidade: Para ultracongelamento e armazenamento de longo prazo de produtos perecíveis (como sorvete, frutos do mar e produtos farmacêuticos).
Exemplo: Freezers de instalações industriais de armazenamento e transporte de alimentos congelados.

As faixas específicas podem variar um pouco, conforme as normas da indústria e os requisitos da aplicação.

5.2 **Descrição dos setores**

A seguir os diferentes setores de aplicação de tecnologias AVAC-R serão descritos.

5.2.1 **Refrigeração comercial**

As aplicações de refrigeração comercial incluem equipamentos isolados, pontos de resfriamento de unidades condensadoras e sistemas centralizados (como aplicações em supermercados, por exemplo). Recentemente, equipamentos ligados na tomada em pequenas lojas e mercados, como máquinas de vendas (expositores refrigerados) que fazem uso de hidrocarbonetos (R-290, R-600a, etc.) passaram a estar disponíveis no mundo inteiro. Também foram lançados diversos sistemas baseados em R-744 (CO_2).

Em sistemas de refrigeração grandes para supermercados (sistemas centralizados), os sistemas em cascata e transcríticos de R-744 (CO_2) são uma alternativa para sistemas de HFC geralmente usados em muitos climas.

O sistema de refrigeração em cascata é estruturado com a conexão de pelo menos dois sistemas de refrigeração em série, com um lado com temperatura mais alta (HT e MT) e um lado com temperatura mais baixa (LT) (veja classificação, acima). Nesses sistemas de refrigeração, são usados diferentes tipos de fluidos refrigerantes, com diferentes propriedades termodinâmicas, conforme a aplicação (como R-290 e R-744 em cascata). Eles costumam ser mais eficientes comparados com sistemas de refrigeração convencionais.

O dióxido de carbono e os hidrocarbonetos já se mostraram alternativas altamente eficientes na maioria das aplicações sob temperaturas ambientes altas, exceto no caso de unidades condensadoras maiores (HCs).

5.2.2 Refrigeração industrial

Na refrigeração industrial, como instalações grandes de refrigeração e congelamento para processamento de alimentos ou resfriamento de processos na indústria química, os sistemas com amônia (NH_3-R-717) vêm sendo usados de modo seguro há vários anos.

A amônia tem sido a opção mais comum de substituição de HCFCs e HFCs e seu uso já está disseminado. Na Europa, mas também em outras partes do mundo, como na América do Norte, América do Sul e Ásia, um número cada vez maior de sistemas em cascata com NH_3 e CO_2 tem sido instalado na indústria de alimentos e de bebidas

5.2.3 Ar condicionado fixo

O ar condicionado (AC) fixo foi projetado para controlar o conforto térmico dos espaços de moradia e trabalho. Os hidrocarbonetos são usados com segurança como fluidos refrigerantes alternativos em um número cada vez maior de aplicações no mundo todo. O setor de AC fixo pode ser dividido em várias subcategorias.

AC que pode ser levado para outros ambientes:

Sistemas de unidades hermeticamente fechadas, que podem ser deslocadas para outros ambientes pelo usuário. Usados principalmente em residências. Trata-se de um sistema autocontido, que foi montado, enchido e já está pronto para usar. Ele é testado antes da instalação, e instalado sem necessidade de conectar nenhuma peça que contenha fluido refrigerante.

AC do tipo split simples:

Sistema autocontido, que consiste em uma unidade externa e uma unidade interna completa de fábrica em uma estrutura e/ou invólucro adequado, fabricado e transportado corretamente em duas ou mais seções. Neste sistema, nenhuma peça contendo fluido refrigerante é conectada no local, exceto pelas válvulas de isolamento, como válvulas complementares. Usado principalmente em aplicações residenciais e pequenas aplicações comerciais.

AC do tipo split múltiplo/VRV e VRF:

Em geral considerado um sistema do tipo split com mais de uma unidade interna. Os termos VRV (*Variable Refrigerant Volume*, ou volume variável de fluido refrigerante) e VRF (*Variable Refrigerant Flow*, ou fluxo variável de fluido refrigerante) costumam ser usados de maneira intercambiável, pois se referem ao mesmo tipo de tecnologia de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado). Porém, vale a pena esclarecer algumas questões:

1. **Terminologia e branding**

VRV é marca comercial da Daikin Co., a empresa que inventou a tecnologia.
VRF é uma expressão genérica usada para descrever o mesmo sistema de outros fabricantes, como a Mitsubishi, a LG, a Toshiba, etc.

2. **Tecnologia**

Os dois sistemas, VRV e VRF, operam usando princípios tecnológicos parecidos. Os "sistemas autocontidos" que já vêm assim de fábrica controlam o fluxo de

fluido refrigerante para diversas unidades internas, possibilitando um controle preciso de temperatura para zonas individuais.
Eles usam compressores movidos pelo inversor para ajustar a variável de vazão de fluido refrigerante (dinamicamente), otimizando a eficiência energética do sistema. Outros sistemas desenvolvidos possibilitam um fluxo variável de fluido refrigerante em direção à cada unidade interna se necessário, aquecendo e refrigerando ao mesmo tempo no circuito de refrigeração distribuído.
Os dois sistemas são utilizados em instalações comerciais, como prédios de escritórios e hotéis.

5.2.4 *Chiller*

No contexto dos sistemas de AVAC-R (Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração), o *chiller* é uma máquina (ciclo de compressão de vapor ou absorção) usada para retirar vapor de um fluido refrigerante secundário, em geral água ou salmoura (mistura de água e glicol), que depois circula através de um sistema de refrigeração para manter a refrigeração ou o ar condicionado. Em ar condicionado (aquecimento e refrigeração), os *chillers* são fundamentais para sistemas de grande escala, como configurações centralizadas de AVAC e refrigeração ou aquecimento distrital. Em refrigeração, os *chillers* servem como fonte de refrigeração para sistemas que exigem controle preciso de temperatura. Para uso como bombas de calor, os *chillers* também podem funcionar no modo reverso para fornecer aquecimento, rejeitando o calor no espaço condicionado. Nos *chillers*, os hidrocarbonetos (HCs), a amônia (NH_3) e o dióxido de carbono (CO_2) são alternativas seguras e com eficiência energética para substituir os HFCs e os HFOs, tanto em condições de temperatura ambiente moderada quanto alta.
Os três principais tipos de *Chillers* são:

1. ***Chillers* refrigerados a ar:**
Usam o ar ambiente para dissipar o calor através do condensador com ventiladores.
Próprios para instalações externas ou espaços onde não haja disponibilidade de água para refrigeração.

2. ***Chillers* refrigerados a água:**
Usam a água de uma torre de refrigeração, cooler seco ou reservatório externo (como águas subterrâneas) para dissipar o calor. Têm maior eficiência energética em sistemas grandes, e costumam ser usados em aplicações comerciais e industriais. Usados em sistemas de ar condicionado em prédios grandes, refrigeração industrial para processos como produção de alimentos, produtos farmacêuticos, moldagem de plástico e refrigeração de data centers (ou Centros de Processamento de Dados – CPD).

3. ***Chillers* de absorção:**
Usam o aquecimento por gás, vapor, calor residual ou energia solar em vez de eletricidade para realizar o ciclo de refrigeração. Muito comuns em aplicações de recuperação de energia.

Usados em sistemas de ar condicionado em prédios grandes, refrigeração industrial para processos como produção de alimentos, produtos farmacêuticos, moldagem de plástico e refrigeração de *data centers*.

5.2.5 Refrigeração doméstica

A expressão refrigeração doméstica se refere ao uso de sistemas de refrigeração projetados especificamente para fins residenciais para conservar alimentos e manter a higiene de alimentos perecíveis, bebidas e outros, mantendo-os a baixas temperaturas no final da cadeia de frio. Esses sistemas costumam operar dentro de uma faixa de temperatura apropriada para armazenamento de alimentos, como de 0 °C a 10 °C, para refrigeradores, e abaixo de 0 °C, para *freezers*. Unidades especializadas podem incluir coolers de vinho ou minigeladeiras. Na Europa, os fluidos refrigerantes de hidrocarbonetos (R-600a e R-290) substituíram os HFCs (como R-134a) desde meados da década de 1990 e o uso deles se espalhou pelo mundo inteiro.

5.2.5.1 Tipos mais comuns

Refrigeradores: Mantêm as temperaturas ligeiramente acima do congelamento, em geral usados para o armazenamento de alimentos frescos;

Freezers: Funcionam abaixo de 0 °C, projetados para armazenamento de alimentos congelados no longo prazo; e

Combinações de refrigerador-*freezer*: Unidades que possuem compartimentos tanto para refrigeração quanto para congelamento.

5.2.5.2 Eficiência energética

Os sistemas de refrigeração doméstica foram projetados para equilibrar o desempenho da refrigeração com o consumo de energia.

Classificações e normas de energia ajudam os consumidores a escolher modelos eficientes.

5.2.6 Ar condicionado automotivo (MAC)

São sistemas de ar condicionado projetados especificamente para veículos. Esses sistemas são fundamentais para manter um ambiente confortável na cabine, controlando a temperatura, a umidade e a qualidade do ar dentro do veículo, independentemente da velocidade do motor e das condições do tempo do lado de fora. As unidades de ar condicionado portáteis garantem condições seguras de direção, reduzindo fatores físicos relacionados ao calor e fatores mentais.

5.2.6.1 Aplicações comuns

Automóveis (carros, caminhões e ônibus). Veículos *off-road* (veículos utilizados fora da estrada), como equipamentos usados na construção civil e na agricultura, aeronaves, trens e navios.

5.2.6.2 Fluido refrigerante

O uso do fluido refrigerante HFC R-134a em sistemas de ar condicionado de carros está proibido na Europa, conforme a Diretiva da UE 2006/40/EC sobre sistemas de ar condicionado automotivo (a "Diretiva MAC").

Hoje em dia, o principal substituto é o HFO R-1234yf, que é usado quase exclusivamente. A única alternativa além dele é o dióxido de carbono (CO_2), que é usado por alguns fabricantes automotivos, com expectativa de disseminação de seu uso no futuro. A expectativa é também que o CO_2 seja disponibilizado como alternativa no futuro para veículos de carga pesada, ônibus e trens. O objetivo é melhorar o *design* dos sistemas para aumentar a eficiência energética e reduzir o consumo de combustível em veículos convencionais.

5.2.6.3 Fonte de energia

- O motor dos veículos convencionais é acionado por um compressor com correia; e
- Os veículos elétricos usam compressores acionados eletricamente, independentemente dos arranjos do motor.

5.2.7 Refrigeração para transporte

Refrigeração para transporte refere-se a sistemas de refrigeração projetados para veículos de carga, que transportam produtos sensíveis a temperatura, garantindo que produtos como alimentos, produtos farmacêuticos e químicos sejam mantidos em temperaturas específicas enquanto estiverem em trânsito. Esses sistemas são essenciais para a conservação da qualidade e da segurança do produto, conforme os requisitos da cadeia de frio e de logística. Os sistemas conseguem manter uma ampla gama de temperaturas, desde ultracongelamento (-20 °C ou mais frio) até condições de resfriamento (2 a 8 °C). Alguns veículos estão equipados com sistemas de multicompartimentos para transportar bens que exigem diferentes zonas de temperatura. Áreas de carga isoladas reduzem o ganho de calor da parte externa.

5.2.7.1 Aplicações comuns

- Caminhões e vans refrigerados;
- Trailers (carreta ou reboque) para transporte em longas distâncias;
- Contêineres de transporte refrigerado;
- Unidades de refrigeração para carga aérea;
- A refrigeração por ciclo de ar é usada para o ar condicionado da cabine de aeronaves; e
- Transporte por trilho para produtos perecíveis.

5.2.7.2 **Fluido refrigerante**

Ultimamente, o R-448A, o R-449A e o R-452A têm sido muito usados para substituir o R-404A em veículos refrigerados no transporte terrestre. O R-452A apresenta um GWP muito alto de 2.140, portanto não será adequado para uso futuro. Para contêineres refrigerados, o CO_2 pode ser usado como alternativa no longo prazo. O desenvolvimento de sistemas eletrificados e com maior eficiência energética precisa respeitar as regulamentações sobre emissões.

5.2.7.3 **Fontes de energia**

- As unidades a diesel são um pequeno motor a diesel para acionar o sistema de refrigeração;
- Unidades elétricas acionadas pela principal fonte de energia do veículo ou fontes de energia externas (incluindo energia solar) são cada vez mais usadas em aplicações urbanas e com eficiência energética; e
- Sistemas híbridos, que combinam energia a diesel e elétrica para maior eficiência.

5.2.8 **Espuma expansiva**

1. Espuma de poliuretano (PU):

São poucos os produtos de espuma de PU que ainda são fabricados com agentes de expansão de HFC. A grande maioria conta com hidrocarbonetos, como o pentano ou o ciclopentano sem perda na eficiência energética. Os HFCs ficam limitados, principalmente, a aplicações no local de espuma de spray de PU. Para essa e algumas outras aplicações de nicho, os HFCs já estão comercialmente disponíveis.

2. Poliestireno extrudado (XPS):

Os maiores fabricantes de placas de isolamento de XPS já converteram suas fábricas para solventes orgânicos ou HFOs. Quem ainda usa os HFCs está mudando para os HFOs. A eficiência energética dos HFOs é considerada melhor que a dos HFCs.

5.3 **Termodinâmica básica**

Entender os princípios básicos (e avançados) da termodinâmica assegura eficácia no projeto, manufatura, utilização, operação, serviço e nos cenários de fim de vida útil dos sistemas de AVAC-R.

A termodinâmica básica na refrigeração gira em torno das leis e princípios da Física que possibilitam a transferência de calor de um espaço de temperatura mais baixa para um espaço de temperatura mais alta usando informações sobre o trabalho. Os principais elementos incluem, dentre outros:

1. **Leis da termodinâmica**

- **Primeira lei da termodinâmica:**

Conservação de energia, afirmando que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transferida ou transformada; e

- **Segunda lei da termodinâmica:**

O calor flui naturalmente de um corpo quente para um corpo frio; a refrigeração precisa de um trabalho externo para reverter esse fluxo.

2. **Ciclo de refrigeração**

- **Evaporação:**

O fluido refrigerante de baixa pressão absorve o calor do espaço refrigerado, mudando de líquido para vapor;

- **Compressão:**

O vapor é comprimido, aumentando a pressão e a temperatura;

- **Condensação:**

O vapor de alta pressão libera calor para o entorno, condensando em líquido; e

- **Expansão**:

O líquido passa por uma válvula de expansão, diminuindo a pressão e a temperatura para reiniciar o ciclo.

3. **Fluidos refrigerantes**

- Substâncias usadas para absorver e liberar o calor de forma eficiente durante as mudanças de fase. Por exemplo: fluidos refrigerantes tradicionais, como o R-134a e o R-32, além de substitutos não prejudiciais ao meio ambiente, como o R-744, o R-717 e o R-290.

4. **Principais propriedades termodinâmicas**

- **Pressão (p):** Influencia o estado do fluido refrigerante e o desempenho do ciclo;
- **Temperatura (t):** Promove troca de calor entre o sistema e o entorno;
- **Entalpia (h):** Representa o conteúdo total de calor do fluido refrigerante; e
- **Entropia (s):** Mede o grau de desordem ou de aleatoriedade de um sistema físico.

5. **Coeficiente de desempenho (COP)**

Fator de eficiência, definido como a razão entre o efeito de refrigeração e o trabalho realizado para que isso aconteça:

$$COP = \frac{Efeito\ de\ refrigeração}{Trabalho\ realizado}$$

6. Transferência de calor

A troca de calor ocorre por meio de condução, convecção ou radiação durante a evaporação e a condensação.

7. Mudanças de fases

Os fluidos refrigerantes passam por transições de fases (de líquido para gasoso e vice-versa), essenciais para a transferência de calor eficiente.

8. Principais componentes do sistema

- **Compressor:** Acrescenta trabalho ao sistema, elevando a pressão e a temperatura do fluido refrigerante;
- **Condensador:** Rejeita calor para o entorno, condensando o fluido refrigerante;
- **Válvula de expansão:** Reduz a pressão e a temperatura do fluido refrigerante; e
- **Evaporador:** Absorve calor do espaço refrigerado.

9. Eficiência energética

A otimização envolve redução do trabalho realizado, usando compressores eficientes e dispositivos otimizados de transferência de calor, e selecionando fluidos refrigerantes com alta capacidade de calor latente que não sejam prejudiciais ao meio ambiente.

5.3.1 O sistema internacional de unidades – SI

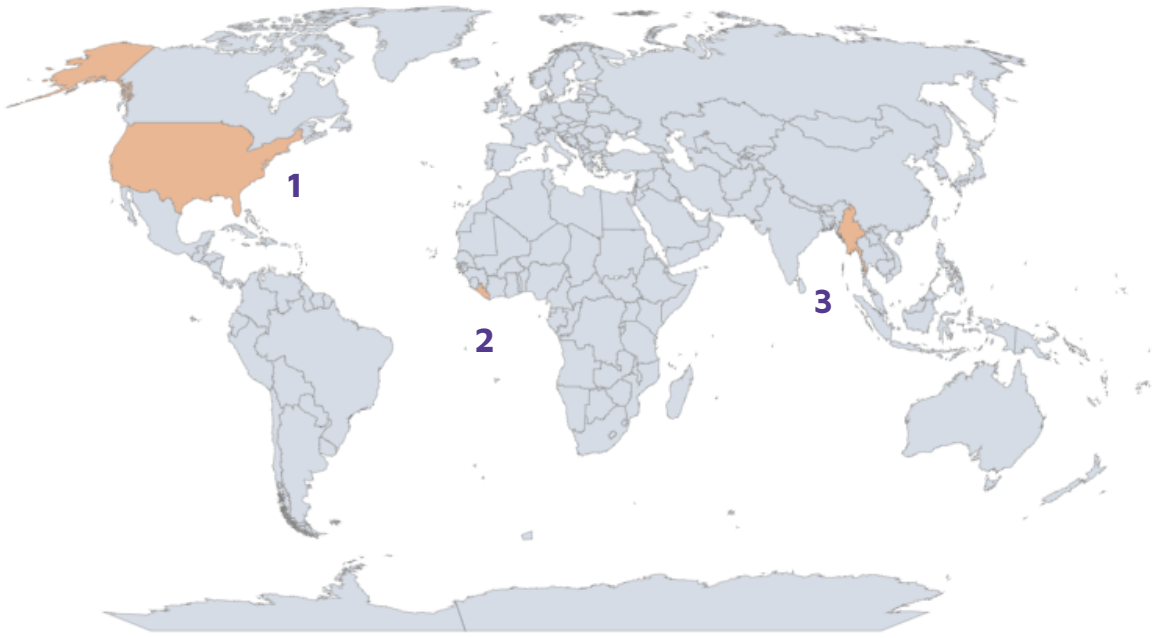
As unidades de medida aceitas nos setores de refrigeração e ar condicionado na maioria dos países são as que foram harmonizadas pela ISO (Organização Internacional de Normalização). A Norma ISO 1000 recomenda o uso do sistema internacional de unidades (SI).

Atualmente, o sistema SI é usado praticamente no mundo inteiro, com exceção dos Estados Unidos, Libéria e Miamar, onde as unidades imperiais mais antigas ainda são amplamente utilizadas (veja a Figura 29).

O sistema internacional de unidades é a forma moderna padrão do sistema métrico. O nome desse sistema pode ser abreviado para SI, oriundo do francês *Système International d'unités*.

Durante uma reunião na Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) em Versailles, na França, os representantes votaram para redefinir o Sistema Internacional de Unidades (SI), mudando a definição mundial de quilograma, ampère, kelvin e mol. As alterações entraram em vigor no dia 20 de maio de 2019. Existem sete (7) unidades/grandezas de base e vinte e duas (22) unidades/grandezas derivadas das sete unidades de base. As unidades mais importantes para o setor de refrigeração e ar condicionado (RAC) estão listadas na Tabela 19.

Figura 29 – Uso de unidades SI nos países em cinza; não utilização das unidades SI nos países em laranja



Fonte: statista.com.

Tabela 19 – Unidades relevantes relacionadas à refrigeração básica

Temperatura (unidade de base SI) A escala de Kelvin (k), que usa grau Celsius (°C) para incrementos de unidades.	**Velocidade** (unidade derivada coerente) Metros por segundo (m/s)
Pressão (unidade derivada) Pascal (Pa) 100kPa = 1 bar	**Taxa de fluxo de massa** (unidade derivada coerente) Metros cúbicos por segundo (m3/s)
Massa (unidade de base SI) Quilograma (kg)	**Densidade** (unidade derivada coerente) A densidade é a razão da massa (peso) de uma substância comparada com seu volume $= \frac{Massa}{Volume} = \frac{kg}{m^3}$ (kg/m³)
Comprimento (unidade de base SI) Metro (m)	**Energia** (unidade derivada com nome especial) Joule (J)
Tempo (unidade de base SI) Segundo (s)	**Potência** (unidade derivada com nome especial) Watt (W) é o equivalente a 1 joule por segundo 1kW = 1.000W = 1.000J/s.

Continuação da Tabela 19 – Unidades relevantes relacionadas à refrigeração básica

Volume (unidade derivada coerente) Metros cúbicos (m3) Litro (l) é 1/1.000o de um metro cúbico de água, ou 1 decímetro cúbico (dm3), que são 1.000 cm3	**Capacidade elétrica** (unidade de base SI) 1 Ampère = 1 Coulomb / Segundo = 1 C/s

Fonte: Rolf Huehren.

A Tabela 20 fornece recursos para a conversão das unidades SI em unidades tradicionais.

Tabela 20 – Tabelas de conversão de unidades

POTÊNCIA	BUT/h	Kcal/h	KW	W	KJ	Hp	RT
1 BUT/h	1	0,252	0,000293	0,293	1,055	0,00039	0,000083
1 Kcal/h	3,968	1	0,001163	1,163	4,186	0,00155	0,000329
1 KW	3.412,00	860,00	1	1.000,00	3.601,00	1,33	0,283
1 W	3,412	0,86	0,001000	1	3,601	0,00133	0,000283
1 KJ	0,948	0,239	0,000278	0,278	1	0,00037	0,000079
1 Hp	2.559,00	645,00	0.750	750,00	2.700,00	1	0,212
1 RT	12.000,0	3.024,00	3,516	3.516,00	12.660,00	4,68	1

PRESSÃO	Psi	kPa	kg/cm²	inHg	mmHg	oz/in²	bar	mbar
1 psi	1	6,895	0,07031	2,036	51,715	16,00	0,0689	68,948
1 kPa	0,1450	1	0,01020	0,2953	7,501	2,321	0,0100	10,00
1 kg/cm²	14,2233	98,067	1	28,959	735,559	227,573	0,9807	1.013,25
1 inHg	0,4912	3,386	0,03453	1	25,400	7,858	0,0339	33,864
1 mmHg	0,0193	0,133	0,00136	0,0394	1	0,309	0,0013	1,333
1 oz/in²	0,0625	0,431	0,00439	0,1273	3,232	1	0,0043	4,309
1 bar	14,5038	100,00	1,01972	29,53	750,063	232,061	1	1.000,00
1 mbar	0,0145	0,100	0,00102	0,0295	0,750	0,232	0,0010	1

Fonte: Rolf Huehren.

5.3.2 **O que é calor?**

O calor físico é uma forma de energia também conhecida como energia térmica. Existem várias formas de energia:

- Energia térmica;
- Energia elétrica;
- Energia química;
- Energia mecânica (de movimento);
- Energia nuclear;
- Energia radiante;
- Energia gravitacional;
- Energia de ionização ou potencial de ionização.

A energia não pode ser criada nem destruída (é a primeira lei da termodinâmica); ela só muda de uma forma para outra. Por exemplo: O vento (energia cinética) é convertido em energia elétrica em uma usina eólica. A energia elétrica é convertida em calor (energia térmica) em uma chaleira, ou convertida em luz (energia radiante) no bulbo de uma lâmpada.

O calor é uma forma de energia e se deve ao movimento das moléculas das quais todas as substâncias são compostas. Todas as substâncias podem existir como sólidas, líquidas ou gasosas. A mudança de um estado a outro ocorre com o acréscimo ou a remoção de calor da substância.

> ⚠ **Atenção!**
> O calor só passa de um corpo quente para outro frio. Essa transferência de calor pode acontecer de três maneiras: condução, convecção e radiação. Esses três processos podem ocorrer isoladamente ou ao mesmo tempo.

5.3.3 **O que é temperatura?**

A temperatura é um parâmetro físico importante na termodinâmica. Quando você toca em um corpo com as mãos, consegue sentir se ele está frio ou quente. Porém, o ser humano só consegue sentir a temperatura do corpo até determinado grau. Influências externas podem afetar a percepção.

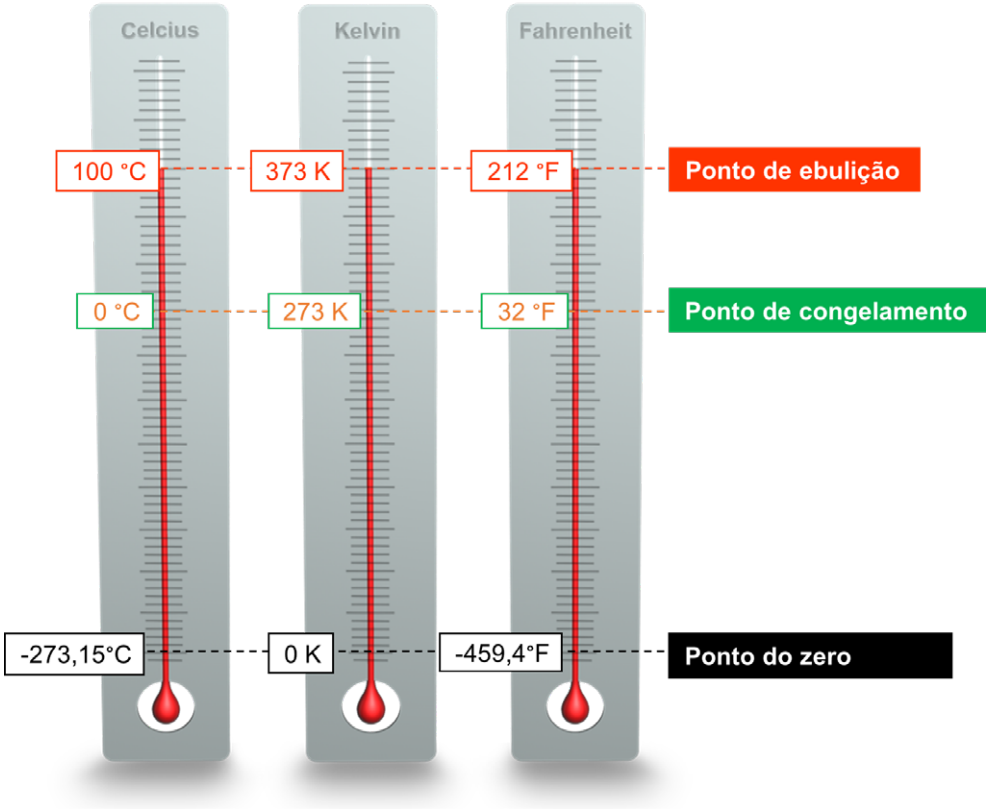
No dia a dia, a escala Celsius (°C) e a escala Fahrenheit (°F) são usadas. As duas escalas de temperatura receberam os nomes dos físicos Daniel Gabriel Fahrenheit (1686 a 1736) e Anders Celsius (1701 a 1744). Para desenvolver a escala de temperatura, Anders Celsius adotou dois pontos fixos. A temperatura de uma mistura de água líquida e gelo (0 °C) e de água fervendo (100 °C). Fahrenheit adotou como pontos fixos a temperatura corporal de uma pessoa saudável, a temperatura de uma mistura refrigerada de gelo, água e cloreto de amônia, e a temperatura mais baixa em Danzig no inverno frio de 1708/1709. Os intervalos entre os pontos fixos foram divididos para criar a escala de temperatura que usamos até hoje.

Na segunda metade do século XIX, entendeu-se que o calor é o movimento de átomos e moléculas. A temperatura depende do calor contido e da

capacidade de calor de uma substância. Sendo assim, a temperatura mais baixa possível deve ser aquela de quando os átomos ou moléculas não estão mais se movimentando. Essa temperatura é de -273 °C. William Thomson (que posteriormente recebeu o título de nobreza de Lord Kelvin de Largh) indicou em 1864 que essa temperatura poderia ser o ponto zero de uma escala de temperatura. Uma escala de temperatura desse tipo foi adotada em 1960, e a unidade é conhecida como Kelvin.

A temperatura "t" é a variável determinante para o grau de calor de uma substância. A unidade de temperatura é °C (Celsius) ou °F (Fahrenheit). O ponto do zero absoluto, no qual não existe mais energia vibracional molecular, é medido com 0 Kelvin ou também com -273,15 °C (veja a Figura 30). A unidade Kelvin (K) descreve em geral uma diferença de temperatura em refrigeração.

Figura 30 – Termômetro com escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit para água (p = 1.013 mbar)



Fonte: Vulkan Lokring.

5.3.4 **O que é pressão?**

Quando uma força pressiona uma superfície, chamamos de pressão. A pressão pode ser medida ou calculada. A unidade SI para pressão é Pascal (Pa); o símbolo da pressão é p.

Por exemplo: 1 Pa equivale ao peso de cem gramas de areia distribuída uniformemente por um metro quadrado.

A fórmula usada para calcular uma pressão é:

$$p = \frac{F}{A}$$

P = pressão em Pa
F = força em N
A = área em m²

Outra unidade comum de pressão é bar. Ela é usada comumente em medidas de pressão atmosférica ou de refrigeração.

1 bar é igual a 100.000 Pa, 100 kPa, ou 0,1 mPa

A pressão atmosférica é criada porque nosso ar ambiente é atraído pela gravidade da Terra. A superfície da Terra funciona como área de superfície, o ar atraído atua como uma força. Quanto mais ar houver sobre a superfície, maior o peso e a pressão. No nível do mar, a pressão atmosférica é de 1,013 bar. Tem menos ar acima de uma montanha. Logo, a pressão atmosférica é mais baixa. A 1.000 m acima do nível do mar, a pressão atmosférica é de 0,89 bar.

A maioria dos manômetros de pressão usados na prática são manômetros de sobrepressão (por questão de custos). Quando se mede a pressão, o valor obtido geralmente exclui a pressão atmosférica ambiente e é chamado de (manômetro de) sobrepressão pe.

Pressão manométrica versus Pressão absoluta	Para obter a pressão absoluta ("real") pabs, a pressão ambiente pamb deve ser acrescentada à leitura do manômetro de pressão (pg).

A pressão absoluta é necessária para calcular e determinar as propriedades físicas.

A Figura 31 mostra um manômetro de pressão indicando a pressão absoluta e a sobrepressão.

Figura 31 – Manômetro indicando pressão absoluta e sobrepressão

pabs = pamb + pg (em bar)
pabs: pressão absoluta
pg: sobrepressão (pressão do manômetro)
pamb: pressão atmosférica



Fonte: Vulkan Lokring.

Observação 1: As leituras do manômetro em refrigeração geralmente indicam uma sobrepressão!

Observação 2: O valor numérico da sobrepressão é de exatamente 1 bar mais baixo que a pressão absoluta.

Observação 3: O termo "amb" deriva do latim "ambire" ou "entorno". Também pode corresponder à palavra "ambiente", em português.

Por exemplo:

- Em um sistema de refrigeração recém-instalado sem carga de fluido refrigerante, já existe uma pressão atmosférica p_{amb} = 1 bar; e
- Quando é realizada a carga no sistema com fluido refrigerante, por exemplo, com pressão manométrica de 3 bar, a pressão absoluta é p_{abs} = 4 bar.

Durante a evacuação, os procedimentos ficam no intervalo negativo de pressão manométrica. A pressão do sistema fica menor do que a pressão ambiente.

- Uma pressão manométrica negativa pg = −0,6 bar é equivalente a uma pressão absoluta de cerca de pabs = 0,4 bar.

5.3.5 Relação entre conteúdo de calor e temperatura

Para mudar a temperatura de uma substância, é preciso adicionar ou remover energia (na forma de calor). A capacidade de calor específico (símbolo "c") é uma constante material. Ela indica quanto calor deve ser absorvido ou liberado por 1 kg da substância para mudar em 1 K. A capacidade de calor específico varia de uma substância para outra; para a água é c = 4.184 J / (kg K).

Para aumentar a temperatura de 1 kg (ou 1 litro) de água em 1 K (ou 1°C), deve-se acrescentar 4.184 J de energia de calor à água. Por exemplo: se a temperatura de 1 kg de água aumentou de 14 °C para 15 °C, a água deve conter agora mais 4.184 Joules de energia térmica.

Para calcular quanto calor é necessário para mudar a temperatura, isso resulta em:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Q = quantidade de energia térmica em Joule (J) ou kJ
m = massa em quilogramas
c = capacidade de calor específico da água
ΔT = mudança de temperatura em Kelvin

Por exemplo: Uma pessoa quer aquecer 10 litros (l) de água, de 20 °C para 30 °C. De quanto calor ela precisa (qual é o valor Q)?

m = 10 kg (1 l de água pesa 1 kg a 4 °C e 1 bar)
c = 4.184
ΔT = 10 K (303 K – 293 K = 10 K)

Cálculo:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

$$Q = 10\,kg \times 4.184\,\frac{J}{kg \times K} \times 10\,K$$

Resposta:
Ela precisa de 418,40 kJ de calor.

5.3.6 Como transferir calor

Como transferir calor? A transferência de calor só acontece do corpo de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa (essa é a segunda lei da termodinâmica). Essa regra é válida para todos os tipos de transferência de calor. As três possibilidades de transferência de calor são condução, convecção e radiação.

5.3.6.1 Principais leis da termodinâmica

O calor pode ser equiparado à energia, que pode assumir diversas formas de acordo com a primeira lei da termodinâmica. Logo, o calor pode ser definido como a energia cinética das moléculas.

Primeira (1ª) lei principal	**Conservação de energia:** A energia não pode ser criada nem destruída. Ela pode apenas ser convertida de uma forma para outra. Embora a quantidade de energia de um sistema fechado permaneça constante, a proporção utilizável de energia varia conforme a conversão.

A unidade de medida da quantidade de calor é o joule. 4,18 kJ é a quantidade de calor necessária para aquecer 1 kg de água em pressão atmosférica a 1 Kelvin; por exemplo: de 14,5 °C para 15,5 °C.
O termo usado para indicar a quantidade de calor é Q.

Dados que apoiam a conversão:
1 Ws = 1J
1 kWh = 860 kcal = 3.600 kJ
1 kcal = 4.187 kJ

Segunda (2ª) lei principal	**O calor sempre flui de modo espontâneo de uma temperatura mais alta para uma temperatura mais baixa.** No sentido inverso, o calor só pode ser transferido de uma temperatura mais baixa para uma temperatura mais alta realizando um trabalho. O fluxo de calor é interrompido se dois corpos tiverem a mesma temperatura.

5.3.6.2 **Condução**

A condução descreve a transferência de calor dentro de um corpo sólido ou entre corpos que se tocam. O calor sempre flui do corpo de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa. O calor é transferido até que a temperatura de ambas as substâncias fique balanceada. A temperatura da mistura fica entre as temperaturas iniciais.

São exemplos de condução:

- Em um ferro de solda elétrico, a energia térmica do elemento de aquecimento é transferida alguns centímetros para a ponta da solda;
- Em um aperto de mãos, a mão mais quente aquece a mão mais fria;
- O radiador de um sistema de aquecimento central costuma ser de metal, de modo que a energia térmica da água quente seja bem conduzida de dentro para a superfície externa; e
- A maçaneta de uma porta de metal passa a sensação de ser fria porque ela dissipa bem o calor do corpo humano.

5.3.6.3 **Convecção**

A convecção do calor ocorre quando o calor é transferido de um local para outro em uma massa fluida pela movimentação real da própria massa. Por exemplo: o transporte de calor pelo vapor, ar quente ou água quente em tubulações. O fluxo é acionado por uma diferença em densidade, que o fluido experimenta como resultado da mudança na temperatura. O processo é descrito como convecção natural. A convecção só ocorre em líquidos e gases, já que os sólidos não fluem.

São exemplos de convecção:

- Durante o processo de aquecimento, o radiador aquece o ar. O ar quente se expande, fica mais leve (a densidade diminui) e sobe. No teto, o ar refrigera e desce para o piso de novo; e
- Um elemento de aquecimento elétrico aquece água em um tanque de água quente. Por meio de convecção natural, a água aquecida é distribuída por todo o volume do tanque de armazenamento.

5.3.6.4 **Radiação**

Radiação é uma forma de movimento de calor comparável a da luz, só que não conseguimos enxergá-la. Na radiação, o calor é sempre transferido do corpo de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa. O calor radiante é transmitido sem o auxílio de nenhum meio material. O exemplo mais comum nesse caso é a do calor do sol, que viaja pelo vácuo do espaço e aquece a Terra.

São exemplos de radiação:

- O Sol aquece a Terra com calor radiante; e
- O fogo aquece a pele mesmo sem contato direto.

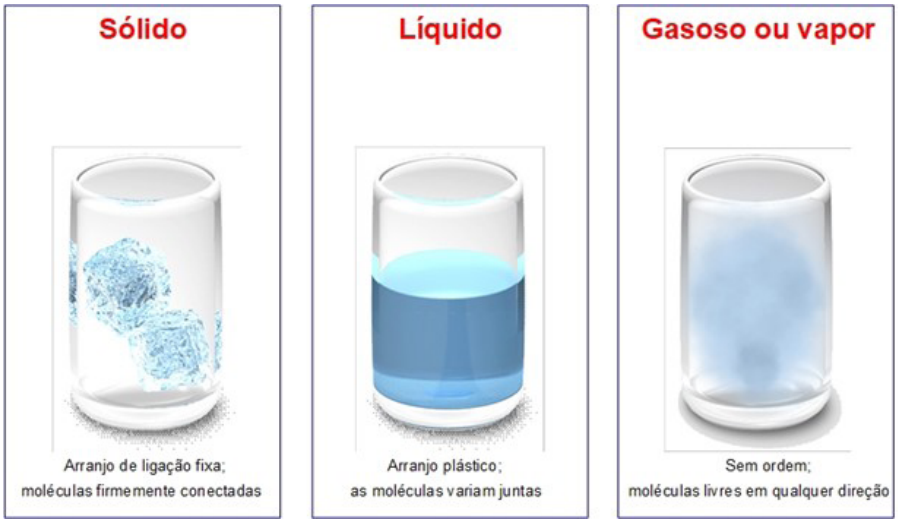
A maior parte das transferências de calor usa vários métodos ao mesmo tempo. Por exemplo: os aquecedores transferem a maior parte do calor para dentro da sala usando convecção e radiação.

5.3.7 **Estado da matéria**

Estados de agregação descrevem o estado físico "real" de uma substância, ou sua aparência, dependendo de fatores externos. Quase todas as substâncias existem em estados de agregação sólidos, líquidos e gasosos, desde que as condições externas necessárias prevaleçam. Temperatura, pressão e volume têm uma influência significativa no estado físico das substâncias.

O exemplo mais conhecido e simples de estados agregados e suas transições de fase é provavelmente a água. Todos a conhecem em seu estado sólido como gelo, líquido como água e gasoso como vapor. Devido às suas propriedades materiais, todas as transições de fase da água podem ser rastreadas em faixas de temperatura e pressão, que também podem ser regularmente alcançadas e observadas na vida cotidiana. Os estados de agregação são os diferentes estados de uma substância que podem se transformar entre eles por mera mudança de fase (veja a Figura 32).

Figura 32 – Ilustrações visuais de mudanças de fases



Fonte: Vulkan.

Para explicar os estados da matéria de forma mais simples, é melhor usar o chamado modelo de partículas. A menor unidade de uma substância pura é representada aqui como uma "partícula" esférica (também chamada de moléculas e, em certo sentido, átomos) que está em relação e movimento com as outras partículas em seu ambiente. As partículas de substâncias puras são idênticas entre si e estão sempre em movimento em maior ou menor grau. Normalmente, quanto maior a temperatura de uma substância, mais rápido suas partículas se movem. Em temperaturas mais altas, elas se movem cada vez mais rápido e as forças atrativas entre as partículas não conseguem mais funcionar tão bem. Quando as substâncias esfriam, as partículas também desaceleram novamente.

Energia é a chave para o estado da matéria.

O estado de agregação de uma substância é, portanto, amplamente determinado pela relação entre a força de atração e a energia, ou a velocidade de suas partículas. Em combinação com a pressão, isso determina se uma substância é sólida, líquida ou gasosa.

Substâncias puras são geralmente definidas como sólidas, líquidas ou gasosas de acordo com seu estado físico à temperatura ambiente (20 °C) e pressão normal (1013,25 hPa).

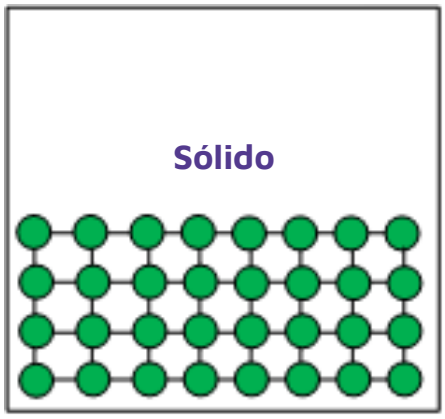
Além disso, todas as substâncias puras são capazes de mudar seu estado da matéria, desde que energia suficiente seja adicionada ou removida na forma de calor e pressão. Neste contexto, também falamos da entalpia de um sistema termodinâmico, consistindo na energia interna do sistema e no produto da pressão e do volume.

Os estados da matéria estão diretamente relacionados entre si, mas diferem nas transições de fase específicas. Com a ajuda de energia suficiente, o estado gasoso da matéria ainda pode ser convertido em um estado de plasma, mas este não é geralmente um dos estados clássicos da matéria.

Estado sólido

As partículas no estado sólido se movem muito lentamente e oscilam em torno de uma posição fixa, geralmente em torno de seus próprios eixos (ver Figura 33). Se a temperatura aumenta, o movimento das partículas também aumenta. Isso também aumenta as distâncias entre as partículas no estado sólido, mas o formato do sólido permanece inalterado. Exceções são substâncias que estão sujeitas a uma anomalia de densidade, por exemplo, água.

Figura 33 – Disposição das partículas no estado sólido agregado



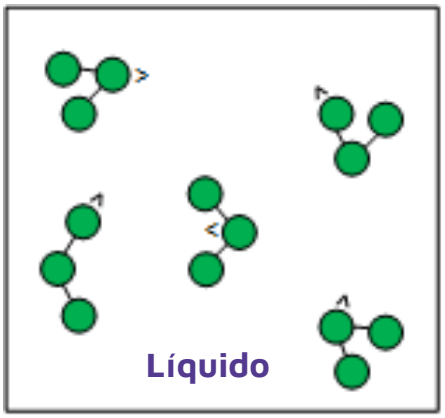
Fonte: Rolf Huehren.

Uma substância muda do estado líquido para o estado sólido. Para conseguir isso, o calor de solidificação deve ser removido da substância. No caso da água, a temperatura do gelo permanece constante em 0°C até que todo o líquido tenha mudado para o estado sólido.

Estado líquido

Em contraste com os sólidos, as partículas individuais no estado líquido da matéria podem se mover mais livremente e deslocar umas às outras (ver Figura 34). Quanto maior a temperatura, mais rápido as partículas se movem e menor sua atração mútua. Ao contrário dos sólidos, acima de uma certa temperatura as partículas deixam sua ordem sólida e se movem livremente. Embora sua distância aumente ligeiramente devido aos movimentos mais rápidos, as partículas continuam a ficar juntas.

Figura 34 – Disposição das partículas no estado líquido da matéria



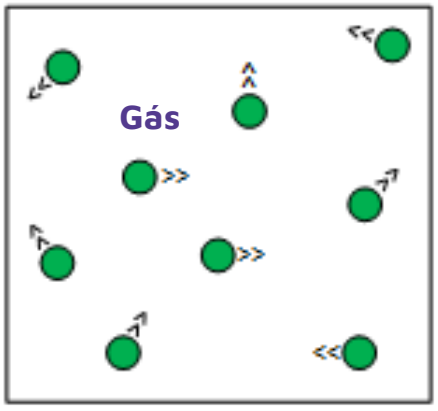
Fonte: Rolf Huehren.

Uma substância muda do estado sólido para o líquido quando calor é adicionado a ela para derretê-la. No caso da água, a temperatura permanece constante em 0 °C, apesar da adição de calor, até que todo o gelo tenha derretido. A substância retém seu volume, mas sua forma se adapta à forma ou espaço circundante.

Estado gasoso

No estado gasoso da matéria, as partículas se movem muito rapidamente e, na medida do possível, se espalham por todo o volume espacial disponível para elas (ver Figura 35). Em contraste com sólidos ou líquidos, as partículas não ficam mais juntas, mas estão bem afastadas. Se estiverem espacialmente confinadas, elas ricocheteiam nas paredes, resultando na pressão do gás.

Figura 35 – Disposição das partículas no estado líquido da matéria



Fonte: Rolf Huehren.

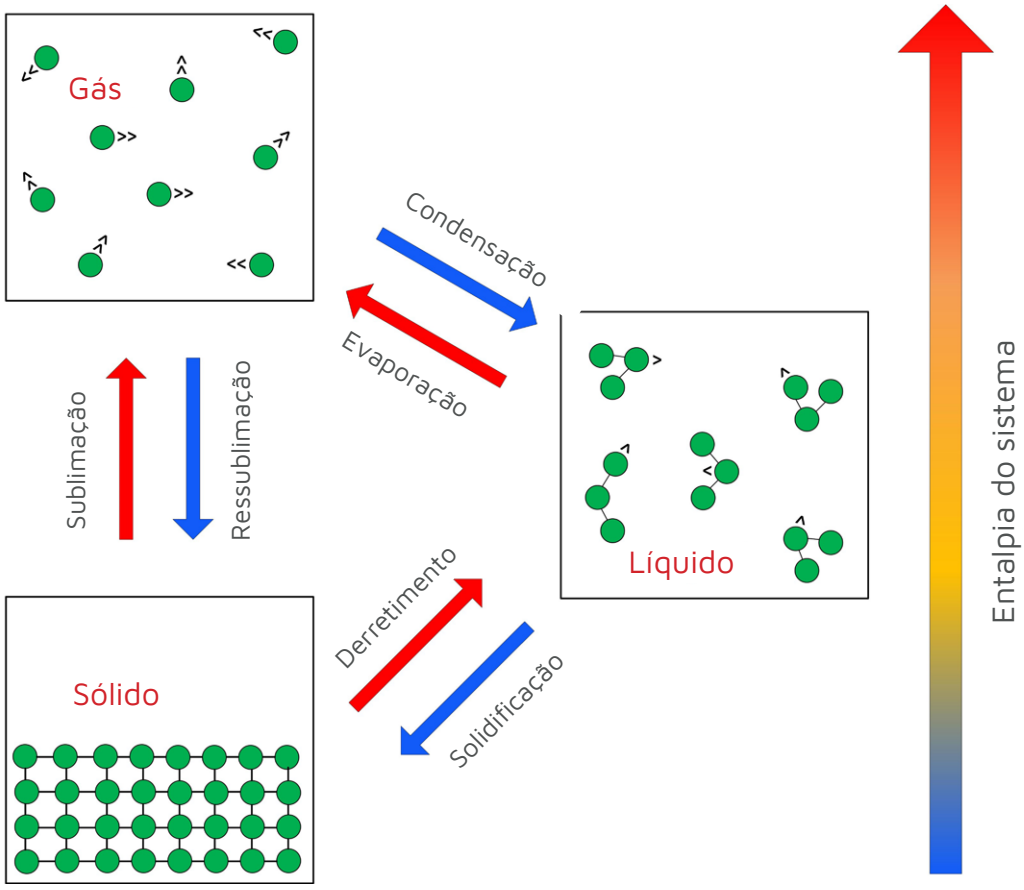
Uma substância muda do estado líquido para o estado de vapor quando calor de vaporização é adicionado a ela. No caso da água, a temperatura permanece constante a 100 °C (a 1013 mbar), apesar da adição de calor, até que a última gota de líquido tenha evaporado. Somente agora o vapor de água começa a superaquecer (superaquecer) quando mais calor é adicionado.

Uma substância muda do estado de vapor para o estado líquido. Para conseguir isso, o calor de condensação deve ser removido da substância. A temperatura na qual essa mudança de estado de agregação ocorre é chamada de temperatura de condensação.

Basicamente, as transições de fase diferem quanto à adição ou liberação de energia térmica. Cada um dos três estados de agregação tem duas transições de fase com a adição de energia térmica e duas com a liberação de energia térmica.

Os estados da matéria são mostrados na Figura 36.

Figura 36 – Estados da matéria mostrados em relação às transições de fase



Fonte: Rolf Huehren.

A principal diferença entre entropia e entalpia, de um sistema termodinâmico, é que a entropia é a medida do grau de desordem, enquanto a entalpia representa o conteúdo total de calor.

Variáveis de estado específicas: Estas são variáveis de estado extensivas que estão relacionadas a uma massa. Um exemplo é o volume específico com a unidade metro cúbico por quilograma (m^3/kg)

Entalpia: A entalpia é a energia térmica total de um sistema a pressão constante. Ela descreve quanto calor é absorvido ou liberado em um processo (Δh).

Os símbolos e unidades são: A entalpia da entalpia específica é kJ/kg.

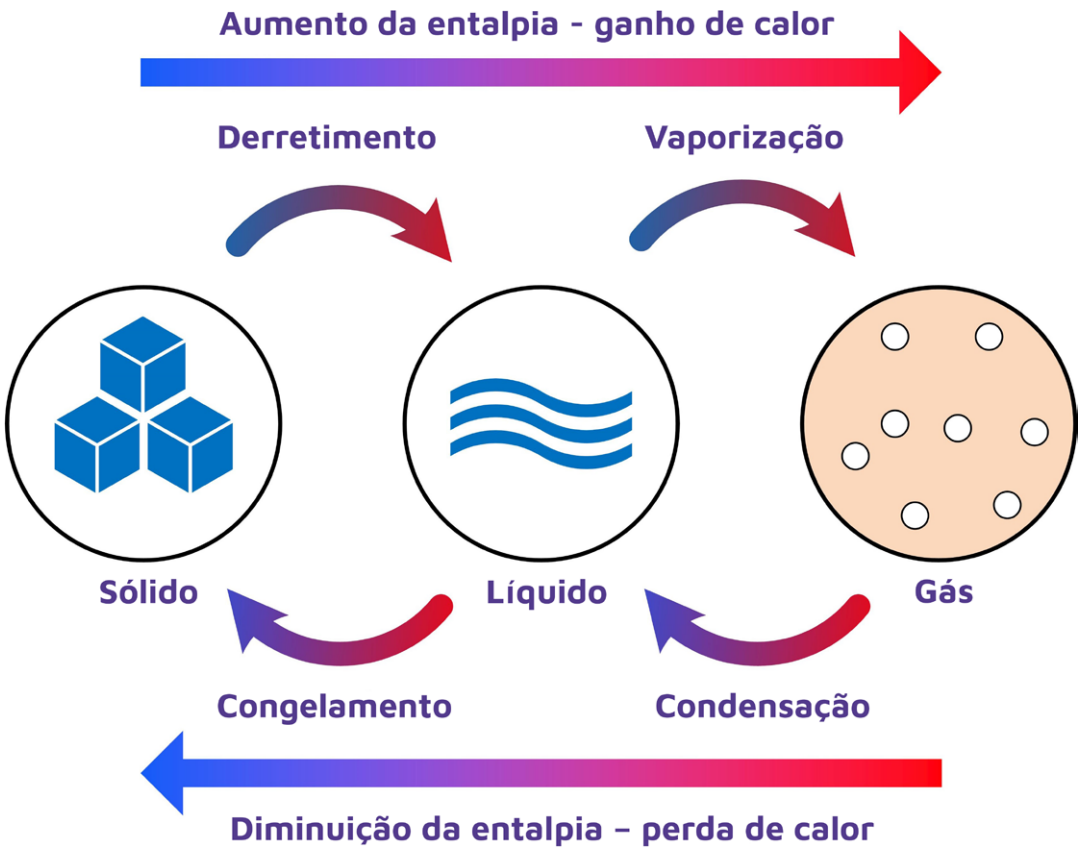
	Símbolo	Unidade
Entalpia	H	Joule – J; kJ
Entalpia específica	h	J/kg; kJ/kg

Entropia: A entropia mede a desordem e a distribuição de energia em um sistema. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, a entropia sempre aumenta em um **sistema isolado.**

	Símbolo	Unidade
Entropia	S	J/K
Entropia específica	s	J/kg x K

A Figura 37 explica a relação da entropia e a entalpia com a correlação dos estados da matéria.

Figura 37 – Relação entre entropia e entalpia com a correlação dos estados de substância da matéria

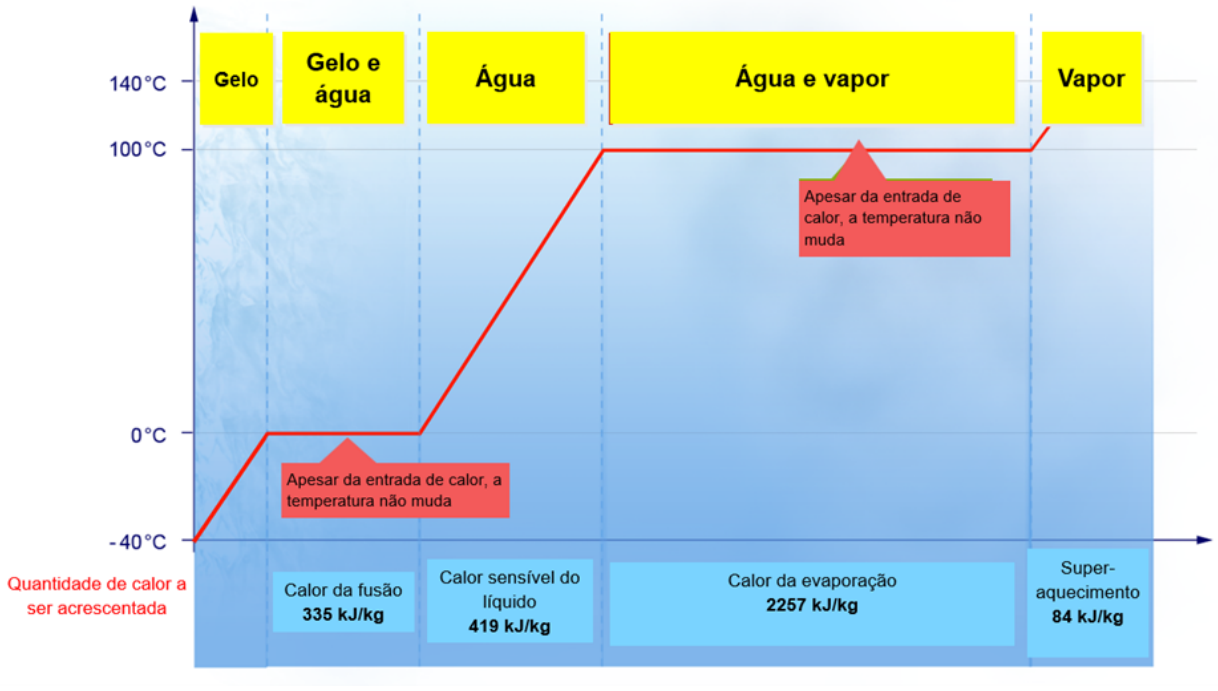


Fonte: Rolf Huehren.

5.3.8 **Influências da temperatura e da pressão**

A grande capacidade específica de calor da água tem um significado importante nos sistemas de ar condicionado dos prédios (como o sistema de água gelada e as torres de resfriamento) e no clima do nosso planeta. Por causa dessa alta capacidade específica de calor, o mar armazena quantidades significativas de energia no verão sem aquecer muito. Essa energia é liberada novamente no inverno. O clima no mar é, portanto, relativamente equilibrado durante o ano inteiro, com apenas leves diferenças na temperatura. Em áreas mais distantes do mar (no meio dos continentes), as diferenças de temperatura são bem maiores do que em áreas próximas ao mar (→ clima continental). A Figura 38 mostra o diagrama de temperatura-entalpia da água.

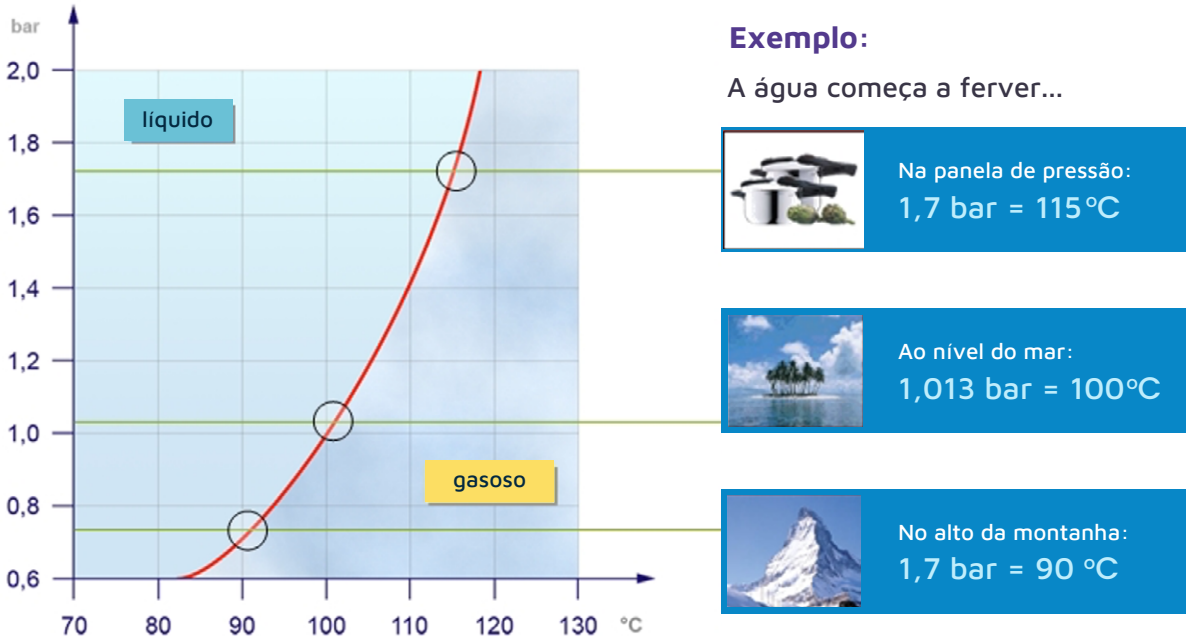
Figura 38 – Diagrama de temperatura–entalpia da água



Fonte: Rolf Huehren.

A temperatura de evaporação de uma substância depende da pressão. Por exemplo: a Figura 39 mostra o diagrama de pressão-temperatura da água. A uma pressão normal ambiente (1.013 mbar) a água se evapora (ferve) a 100 °C, enquanto em uma montanha com pressão ambiente de cerca de 700 mbar ela ferve (evapora) a 90 °C. Se colocar água em uma panela de pressão a 1,7 bar, ela ferve a 115 °C.

Figura 39 – Diagrama de temperatura–pressão da água

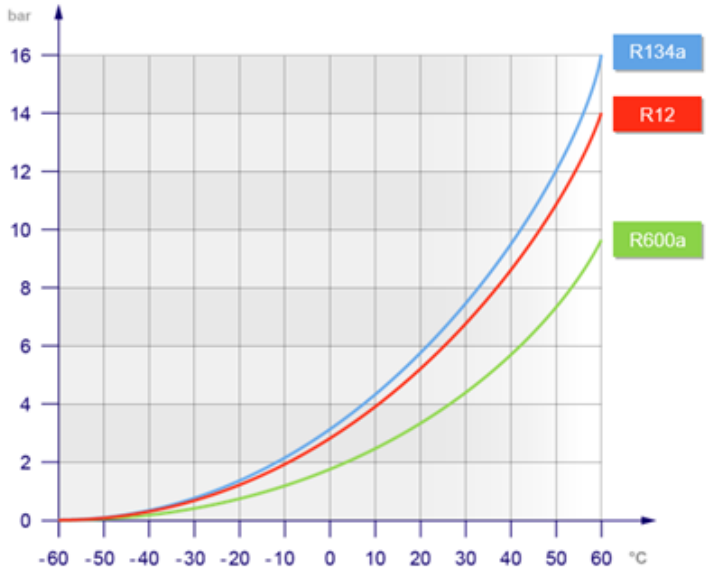


Fonte: Vulkan.

5.3.9 Reconciliação e comparação com fluidos refrigerantes

A temperatura de evaporação de uma substância depende da pressão. Por exemplo: a Figura 40 mostra o diagrama de pressão-temperatura da água. A uma pressão normal ambiente (1.013 mbar) a água se evapora (ferve) a 100 °C, enquanto em uma montanha com pressão ambiente de cerca de 700 mbar ela ferve (evapora) a 90 °C. Se colocar água em uma panela de pressão a 1,7 bar, ela ferve a 115 °C.

Figura 40 – Diagrama de pressão–temperatura de alguns fluidos refrigerantes



Fonte: Vulkan.

5.3.10 **Princípio da refrigeração**

Como podemos usar o processo termodinâmico discutido anteriormente para a refrigeração? Um líquido com temperatura mais baixa do que a do ambiente é necessário, e é preciso ocorrer a evaporação para remover calor da área ou do líquido que será refrigerado.

O propano (R-290) tem temperatura de evaporação de 31 °C a 11 bar e fica líquido a temperatura ambiente em um recipiente fechado. Se baixarmos a pressão para 1 bar, o propano tem temperatura de evaporação de -42 °C. Ele começa a evaporar imediatamente e absorve calor do ambiente para o processo de evaporação.

Transferência de calor por evaporação	**O processo de evaporação exige muito mais calor do que uma mudança na temperatura.**

Sendo assim, se o propano for comprimido a 11 bar, a temperatura dele subirá para 31 °C. Quando ele esfriar até a temperatura ambiente, ele vai começar a condensar, liberando calor no ambiente.

A repetição dessas duas etapas de maneira consecutiva resulta na refrigeração.

Os seguintes pontos são essenciais para entender o princípio de funcionamento de um sistema de refrigeração:

- Quando o líquido começa a evaporar (mudar do estado líquido para gasoso), ele absorve calor latente do entorno;
- A temperatura na qual o líquido evapora depende da pressão a que ele está sujeito;
- Sendo assim, a temperatura na qual uma substância, ou espaço, é refrigerada pode variar alterando-se a pressão na qual o líquido evapora; e
- O vapor formado no processo de evaporação pode ser condensado de volta para líquido aumentando-se a pressão dele (o que aumenta o ponto de ebulição dele) e refrigerando o líquido a uma temperatura abaixo do ponto de ebulição.

5.3.11 **A tarefa de um sistema de refrigeração**

A tarefa de um sistema de refrigeração também pode ser comparada com a de uma estação de bombeamento de água. Se, por exemplo, dois reservatórios com níveis diferentes estiverem conectados, a água do reservatório de nível mais alto fluirá espontaneamente para o de nível mais baixo. Porém, se for preciso fazer com que a água retorne do reservatório de nível mais baixo para o de nível mais alto, será necessário usar energia, como a de uma bomba, por exemplo.

A situação de um sistema de refrigeração é parecida. O evaporador tem a temperatura mais baixa, de modo que possa absorver o calor do ponto de resfriamento (por exemplo, de uma câmara frigorífica). Porém, o calor está sempre fluindo para dentro da câmara frigorífica, vindo do entorno. Para manter constante a baixa temperatura do ponto de refrigeração, o calor deve ser constantemente absorvido lá e transportado para o condensador. O calor absorvido é liberado novamente no condensador.

Entretanto, como a condensação deve ocorrer acima da temperatura ambiente de modo que um fluxo de calor possa passar do fluido refrigerante de condensação para o refrigerante (ar, água), a pressão de condensação (e, por conseguinte, a temperatura de condensação) deve ser elevada até que prevaleça uma diferença de temperatura suficiente. Nesse caso, o sistema de refrigeração transporta calor no sentido contrário ao fluxo natural, ou seja, do frio para o quente.

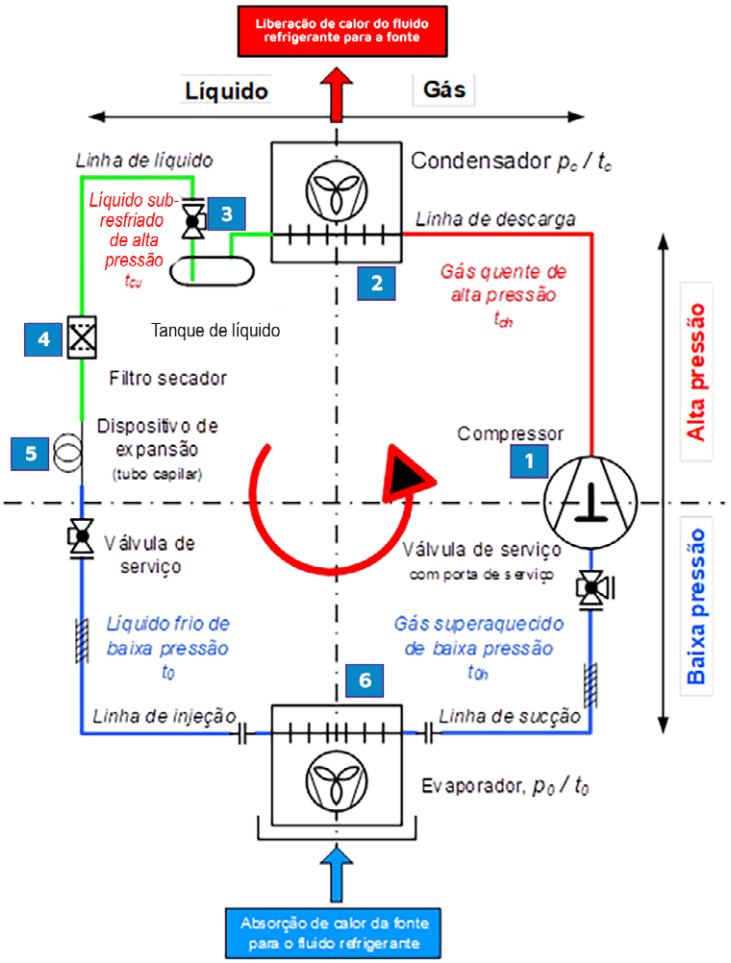
Mas isso não representa uma contradição da segunda lei da termodinâmica (veja o Capítulo 5.3), porque não ocorre por si só, mas apenas com o acréscimo de energia auxiliar, ou seja, o trabalho de compressão.

Como uma bomba que empurra a água contra o gradiente natural, o compressor empurra o calor contra seu gradiente natural de onde ele veio, ou seja, do meio ambiente.

Logo, o sistema de refrigeração tem a função de tirar o calor de um ponto e liberá-lo em outro. Para isso, ele precisa das quatro partes principais descritas acima, nas quais ocorrem as mudanças de estado necessárias para que o ciclo aconteça, além da tubulação necessária.

Os sistemas de refrigeração geralmente também possuem um tanque de líquido. A Figura 41 mostra os principais componentes de um sistema de refrigeração.

Figura 41 – Principais componentes de um sistema de refrigeração



1 Compressor (com inversor de frequência)
2 Condensador
3 Tanque de líquido
4 Filtro secador
5 Dispositivo de expansão
6 Evaporador
7 Tubulação

Fonte: Rolf Huehren.

5.3.12 **Os quatro principais componentes de circuito de um sistema de refrigeração**

O sistema de refrigeração é usado para transportar calor de um local de baixa temperatura (ponto de resfriamento) para um ponto com temperatura mais alta (geralmente o meio ambiente). Portanto, o calor precisa se deslocar contra seu sentido de fluxo natural (veja a segunda lei da termodinâmica). Sendo assim, o sistema de refrigeração baseado no **princípio de compressão do vapor frio** requer quatro componentes principais.

O processo de compressão do vapor frio em um único estágio

De longe o método de refrigeração mais usado, com base no fato de que uma substância absorve energia durante a evaporação e usa a temperatura de evaporação dependente da pressão. Em um circuito de refrigeração fechado, uma substância de trabalho, o fluido refrigerante, passa por mudanças de estado em um processo de ciclo fechado.

1. **Evaporador:**
Dispositivo que absorve calor, trocador de calor. O fluido refrigerante a baixa pressão (pressão de evaporação p_0) e baixa temperatura (temperatura de evaporação t_0) absorve calor do entorno por evaporação do fluido refrigerante.

2. **Compressor:**
Máquina de compressão que aumenta a pressão. Depois do aumento de pressão, o ponto de condensação fica acima da temperatura do ambiente para o qual o calor absorvido é liberado.

3. **Condensador:**
Dispositivo que libera calor, trocador de calor. O fluido refrigerante libera calor a alta pressão (pressão de condensação condensação p_c) e a alta temperatura (temperatura de condensação t_c) condensando o fluido refrigerante.

4. **Dispositivo de expansão:**
Componente redutor de pressão. A pressão é reduzida à pressão de evaporação p0. Parte do líquido anterior se evapora e a mistura de líquido e vapor esfria para a temperatura de evaporação t_0.

Definição do termo "fluido refrigerante"

O fluido refrigerante[4] é um fluido usado para transferência de calor em um sistema de refrigeração, que absorve calor a uma temperatura baixa do fluido e rejeita o calor a uma temperatura mais alta e pressão mais alta, geralmente envolvendo mudanças nos estados do fluido.

[4] ABNT NBR ISO 5149-1

5.3.13 **Circuito de compressão do vapor frio**

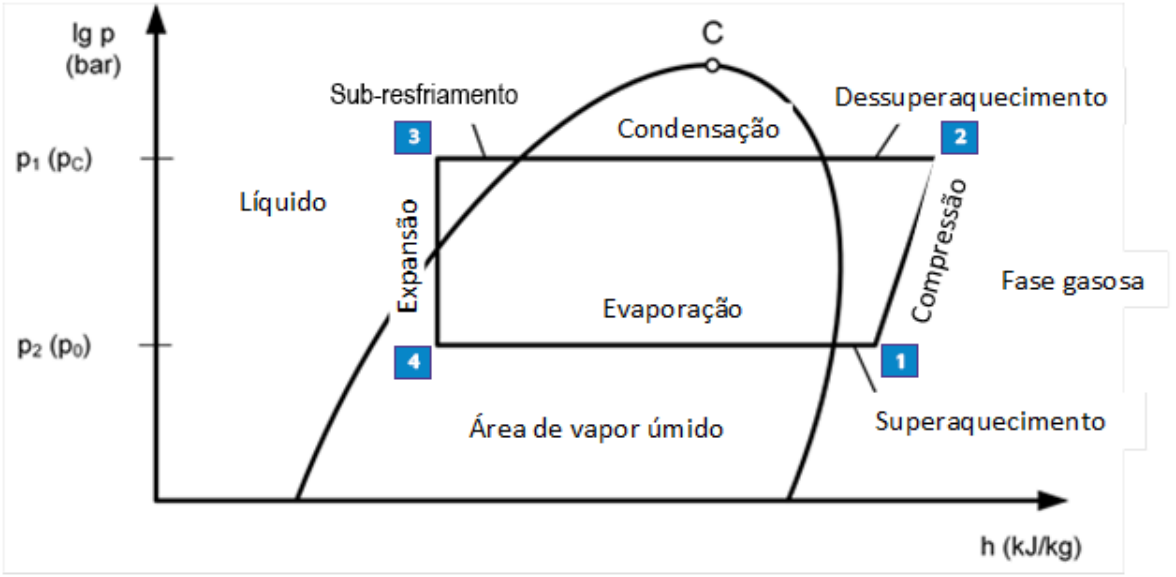
Em outras palavras, o circuito de refrigeração para o processo de compressão do vapor frio (mostrado na Figura 42 do circuito de compressão do vapor frio do diagrama log P/h), requer quatro partes principais.

- São elas: dois transformadores de pressão (o compressor de aumento de pressão e o dispositivo de expansão redutor de pressão, para expansão);
- E dois trocadores de calor (o evaporador ao qual o calor é fornecido no lado "frio", e o condensador dissipador de calor no lado "quente").

Essas quatro partes principais do sistema de refrigeração são, assim, conectadas por quatro tubos para a transferência de fluido refrigerante (veja a Figura 42).

1 Tubo de descarga;
2 Tubo de líquido;
3 Tubo de injeção; e
4 Tubo de sucção.

Figura 42 – Princípio do processo de compressão do vapor frio no diagrama log P/h



Fonte: Rolf Huehren.

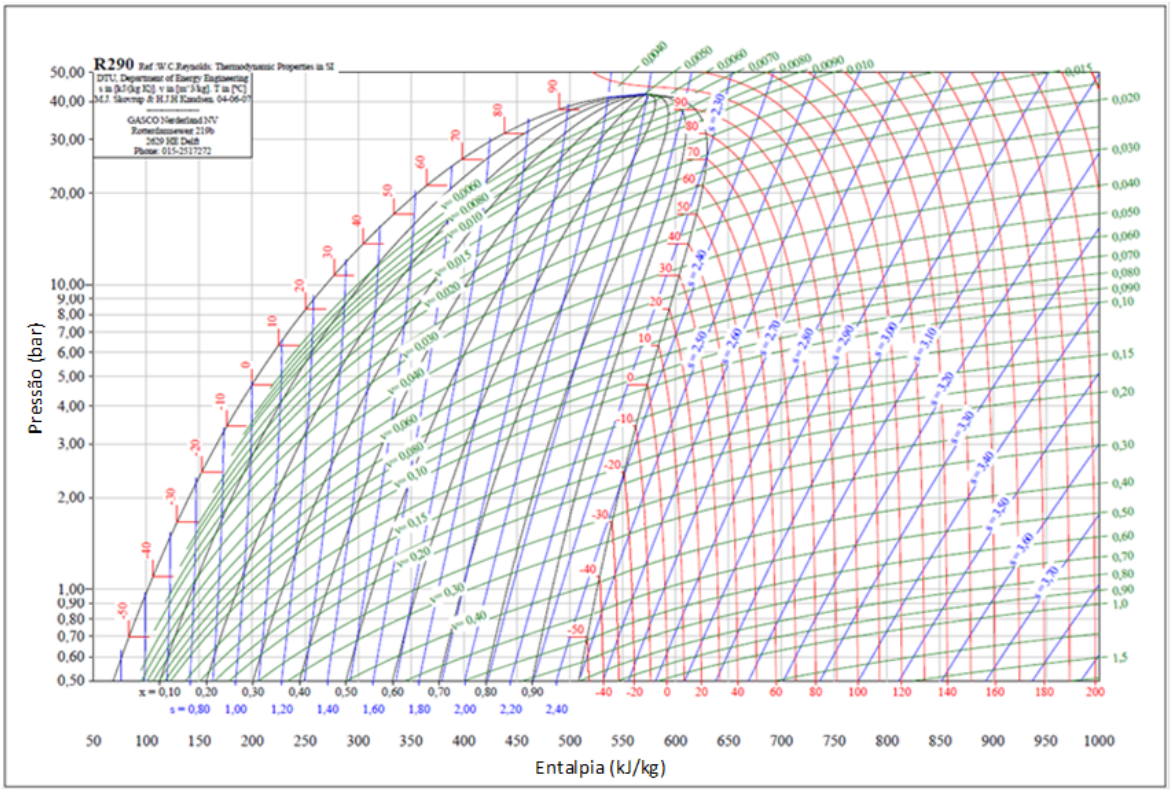
⚠ ATENÇÃO:

Ambas as seções de refrigeração do projeto de demonstração (com dois laboratórios) no modelo mini supermercado, em cascata (média temperatura R-290; baixa temperatura R-744), se baseiam no circuito de refrigeração de compressão a vapor frio.

5.3.14 **O diagrama log P/h**

O diagrama log P/h (também conhecido como diagrama de Mollier) é uma representação gráfica das propriedades termodinâmicas e dos estados de fluidos refrigerantes envolvendo "Entalpia" (eixo X) e "Pressão" (eixo Y) (veja a Figura 43). O uso de um diagrama log P/h dá a possibilidade de representar os processos no sistema de refrigeração de tal modo que a análise e a avaliação do processo passam a ser simples. Usando um diagrama para determinar as condições de operação do sistema (temperaturas e pressões), a capacidade de refrigeração do sistema pode ser determinada de forma relativamente simples e rápida.

Figura 43 – Diagrama log P/h do R-290



Fonte: Universidade Técnica da Dinamarca, DTU.

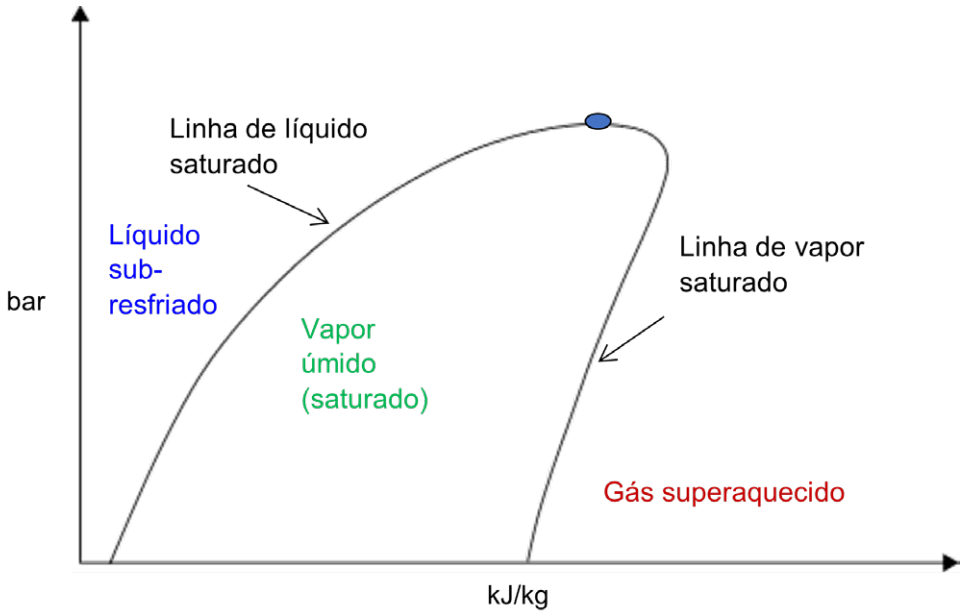
5.3.14.1 **Linha de líquido saturado e linha de vapor saturado**

A Figura 44, apresentada na sequência, está dividida em três partes.

À esquerda da linha de líquido saturado, o fluido refrigerante é sempre líquido sub-resfriado. À direita da linha de vapor saturado, o fluido refrigerante é sempre gás superaquecido. Entre as linhas, o fluido refrigerante é parcialmente gasoso e parcialmente líquido (saturado). Quanto mais nos deslocamos para a direita entre essas linhas, maior fica o conteúdo de gás. A parte líquida vai ficando menor proporcionalmente.

No ponto crítico, as propriedades de líquido e vapor são idênticas. A temperatura, a pressão e o volume críticos coincidem no ponto crítico. Acima da temperatura crítica ou da pressão crítica, não é possível distinguir entre líquido e vapor.

Figura 44 – Linha de líquido saturado, linha de vapor saturado e o ponto crítico



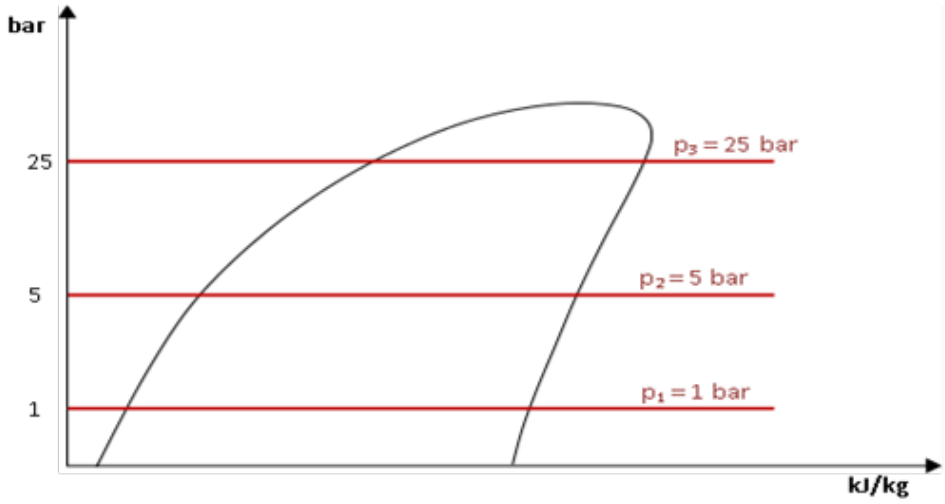
Fonte: Rolf Huehren.

5.3.14.2 **Linhas isobáricas**

As linhas isobáricas sempre correm em paralelo com o eixo "x" (veja a Figura 45). Na isóbara a pressão é sempre constante.

Os processos isobáricos são a absorção de calor no evaporador e a dissipação de calor no condensador. A pressão não muda porque não há válvulas ou dispositivos de expansão instalados nesses componentes.

Figura 45 – Linhas isobáricas



Fonte: Rolf Huehren.

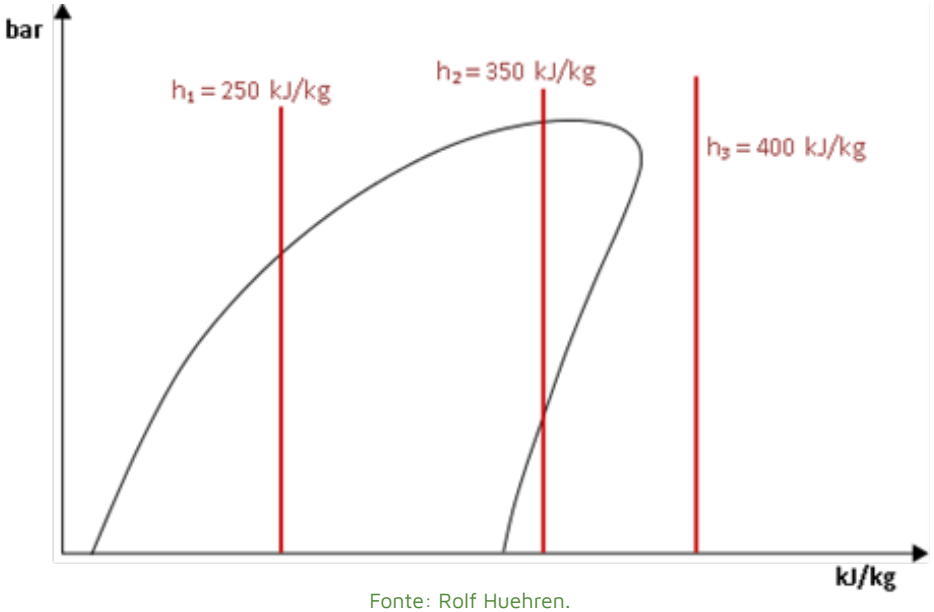
5.3.14.3 **Linhas isentálpicas**

Linhas isentálpicas são aquelas com entalpia constante (veja a Figura 46). A entalpia descreve o calor interno de uma substância. Quando a pressão muda, a entalpia permanece a mesma, mas a temperatura muda. Os processos isentálpicos representam mudanças de pressão sem acrescentar nem retirar calor; por exemplo: a redução de pressão em um tubo capilar.

Entalpia: Símbolo: h
Unidade SI: J (Joule)

As linhas isentálpicas sempre correm em paralelo com o eixo "y".

Figura 46 – Linhas isentálpicas



Fonte: Rolf Huehren.

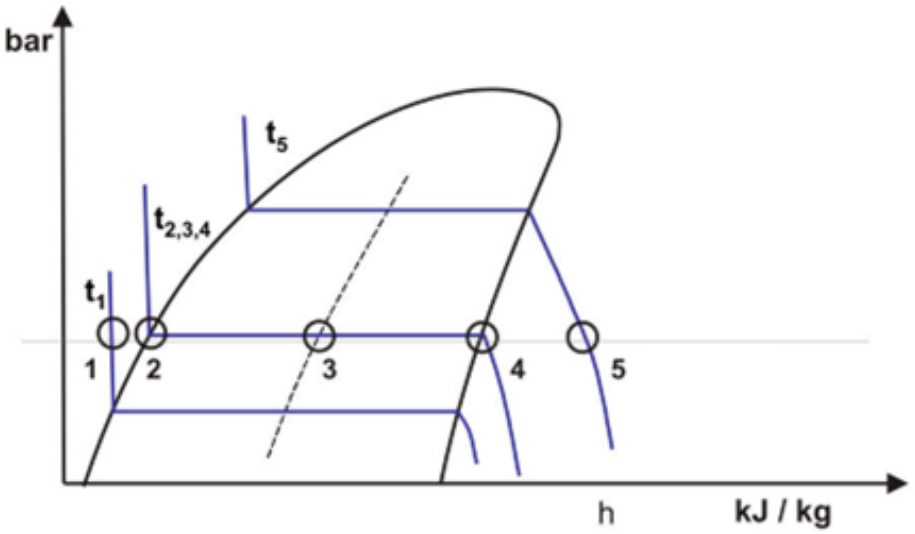
5.3.14.4 **Linhas isotérmicas**

Isotérmicas são linhas da mesma temperatura (veja a Figura 47).

A temperatura t_1 é menor que t_2. As temperaturas t_2, t_3 e t_4 são iguais. A temperatura na linha t_5 é ainda mais alta.

No diagrama log P/h elas caem de forma abrupta na faixa líquida, praticamente na vertical de cima a baixo para a linha de líquido saturado, depois continuam na horizontal pelo setor de vapor úmido e a seguir caem de modo abrupto mais uma vez da linha de vapor saturado.

Figura 47 – Linhas isotérmicas



Fonte: Rolf Huehren.

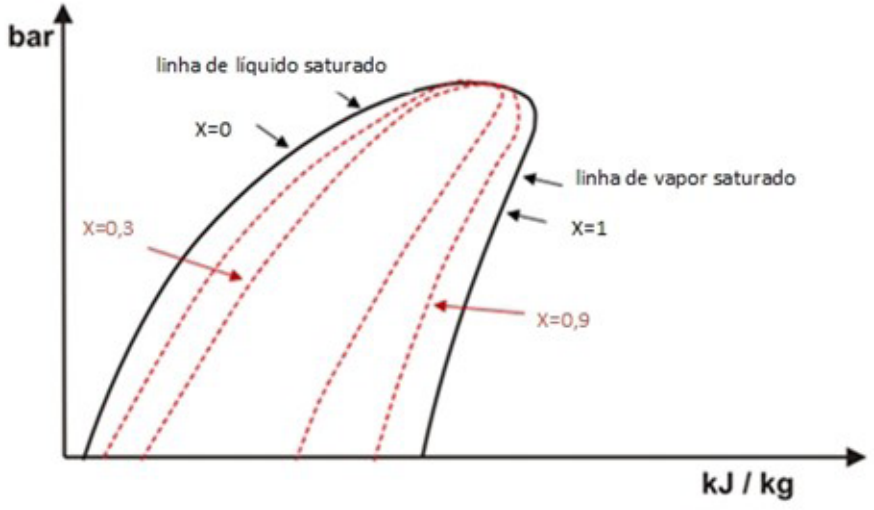
5.3.14.5 **Linhas de isovapor**

As linhas de isovapor são de teor de vapor constante no diagrama log P/h (veja a Figura 48).

As linhas vermelhas ligam todos os estados que possuem o mesmo teor de vapor.

Por exemplo: a linha x=0,3 liga os estados de fluido refrigerante com 30% de vapor (e 70% de líquido). A linha x=0,9 liga os estados de fluido refrigerante com 90% de vapor (e 10% de líquido).

Figura 48 – Linhas de isovapor



Fonte: Rolf Huehren.

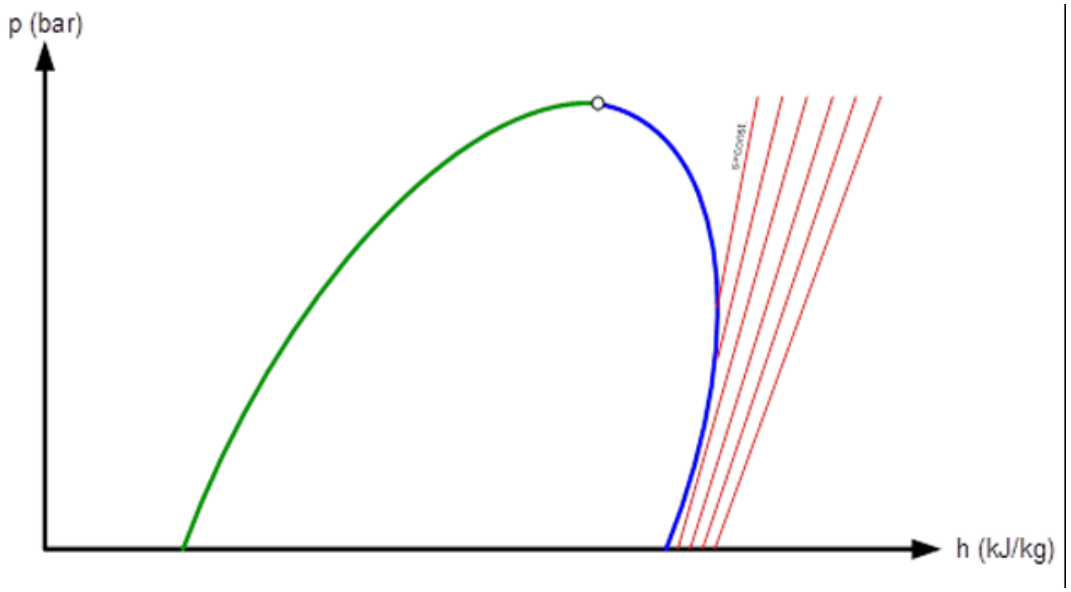
5.3.14.6 **Linhas isentrópicas**

Linhas isentrópicas são aquelas com entropia constante (veja a Figura 49).

Realiza-se trabalho mecânico durante a mudança de pressão do compressor. Isso acrescenta energia. A compressão não pode ser exibida ao longo da linha isentálpica. Embora a entalpia mude durante a compressão, a entropia continua a mesma.

Na prática, o calor residual (ex.: por fricção) é transferido do compressor para o fluido refrigerante. Portanto, o processo real não é tão constante para a linha isentrópica.

Figura 49 – Linhas isentrópicas



Fonte: Rolf Huehren.

5.3.14.7 **Termos e definições do diagrama log P/h**

A Tabela 21 Termos e definições do diagrama log P/h19 apresenta os termos e definições do diagrama log P/h

Tabela 21 – Termos e definições do diagrama log P/h

Calor específico da condensação	O fluido refrigerante da saída do compressor é condensado dentro do condensador, removendo o calor latente da condensação. É o calor latente radiado durante uma mudança de estado, a temperatura e pressão constantes.
Calor específico da evaporação	A quantidade de energia exigida por uma mudança de estado de líquido para vapor a temperatura constante é chamada de calor latente de vaporização. Quando o líquido passa por uma mudança de estado para vapor no ponto de ebulição normal, a temperatura do líquido não se eleva além da temperatura do ponto de ebulição. O calor latente específico de vaporização é a quantidade de calor necessária para converter uma unidade de massa de um líquido em vapor sem mudança de temperatura.

Curva de bolha	Linha de líquido saturado
Curva de orvalho	Linha de vapor saturado
Curva isotérmica	Linha de estado gráfica representando temperatura constante.
Eficiência isentrópica	A eficiência isentrópica é usada para expressar a eficiência energética de um compressor comparando o consumo de energia dele com o consumo de energia necessário para um processo de compressão ideal (reversível e adiabático).
Entalpia	Energia térmica a pressão constante. Uma variável de estado usada principalmente para descrever fluxo de fluidos. A entalpia é definida como a soma da energia interna com o produto da pressão e do volume. • O conteúdo de calor é a entalpia h; • A entalpia do líquido é representada por h'; • A entalpia do vapor é representada por h''; • A entalpia exigida para vaporização é representada por r; e • A unidade de medida é kJ/kg em cada um desses casos. Diferentes substâncias possuem diferentes comportamentos de temperatura, ou seja, os valores de temperatura dos pontos de fusão e de ebulição são diferentes. Os pontos de fusão e de ebulição dependem da pressão. Por exemplo: água a 1 bar: Ponto de fusão = 0 °C e ponto de ebulição = 100 °C.
Entalpia específica	A entalpia específica é a diferença de entalpia tirada do "diagrama de entalpia-pressão". Por exemplo: a potência do compressor Q'_0 é determinada pelo fluxo de massa do fluido refrigerante m'k fornecido pelo compressor e pelo aumento na diferença de entalpia específica $h_1 - h_3$ do fluido refrigerante no evaporador. h_3 é a entalpia do fluido refrigerante líquido acima da válvula de expansão; h_1 é a entalpia do fluido refrigerante vaporizado na saída do evaporador. $_0 = _k$ x $(h_1 - h_3)$
Entropia	Função termodinâmica de estado de calor fornecido a uma sustância na temperatura absoluta na qual ela se encontra. Expressa a razão da quantidade fornecida para um processo reversível. A unidade de entropia é s = constante (kJ/kg K). As transformações isentrópicas são de especial importância na refrigeração na zona do vapor superaquecido. A compressão em um compressor ideal sem perdas segue uma linha de entropia igual. Logo, as transformações isentrópicas possibilitam determinar o trabalho de compressão ideal (teórico) P por kg de fluido refrigerante comparando-se as entalpias inicial e final (depois da compressão). Isso, por sua vez, dá um indicativo da demanda real de potência de um compressor.

Continuação da Tabela 21 – Termos e definições do diagrama log P/h

Exergia	A exergia é um conceito da termodinâmica que descreve a quantidade de energia utilizável existente em um sistema, ou seja, a energia que pode ser convertida em trabalho antes de ser "perdida" por meio da perda irreversível de energia (por exemplo, atrito, transferência de calor). Portanto, é uma medida da qualidade da energia, não apenas de sua quantidade. Compressor: O compressor realiza trabalho mecânico – isso é exergia. Essa exergia é usada para comprimir o fluido refrigerante e, assim, levá-lo a um nível de temperatura mais alto. Transporte de calor: O sistema de refrigeração "move" o calor de um ambiente mais frio (por exemplo, o interior do refrigerador) para o exterior. No processo, parte da exergia fornecida é convertida em fluxo de calor inútil – a exergia é perdida, geralmente por meio de transferência irreversível de calor ou atrito. Perda (destruição) de exergia: As perdas ocorrem em todos os processos reais (válvulas, evaporador, condensador, tubulação) e reduzem a eficiência do sistema.
Isóbara	Linha de estado gráfica representando pressão constante usada em termodinâmica.
Linhas x com proporção de vapor	O vapor úmido é uma mistura de líquido em ebulição e as linhas x possibilitam que as proporções de gás e líquido na zona de vapor úmido sejam determinadas. x expressa a proporção de gás; 1-x expressa a proporção de líquido. Por exemplo: ao longo da linha x = 0,4, existe uma mistura de 40% de gás e 60% de fluido refrigerante em ebulição. x não está incluído nas tabelas porque ele é apenas uma série de números de proporção.
Ponto crítico	Ponto de estado no qual as propriedades de líquido e vapor são idênticas. A temperatura, a pressão e o volume críticos coincidem no ponto crítico. Acima da temperatura crítica ou da pressão crítica, não é possível distinguir entre líquido e vapor.
Processo isentálpico	O processo isentálpico ocorre sem nenhuma alteração na entalpia, H; ou na entalpia específica, h. A regulagem do fluxo do fluido refrigerante na válvula de expansão termostática é um bom exemplo de processo isentálpico.
Sub-resfriamento	Redução de temperatura de um fluido refrigerante líquido para um ponto abaixo da temperatura de condensação correspondente à sua respectiva pressão.
Superaquecimento	Vapor a uma temperatura mais alta do que a temperatura de saturação na pressão existente.

Continuação da Tabela 21 – Termos e definições do diagrama log P/h

Transformações isentrópicas	Uma linha de estado gráfica representando entropia constante em um diagrama de estado.
Transformações isométricas (volume específico)	O volume específico é muito importante na refrigeração. Em termos gerais, o volume específico de um fluido refrigerante deve ser o menor possível para transportar a maior quantidade de fluido refrigerante possível com o menor volume.
Volume específico	O volume específico é muito importante na refrigeração. Em termos gerais, o volume específico de um fluido refrigerante deve ser o menor possível para transportar a maior quantidade de fluido refrigerante (m') possível com o menor volume.

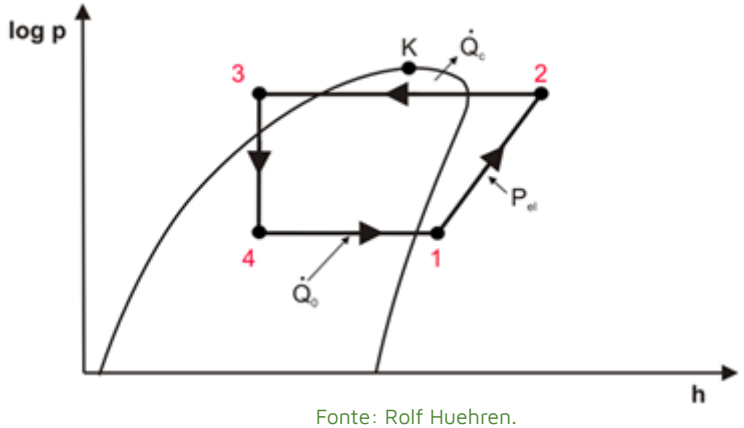
Fonte: Rolf Huehren.

5.3.14.8 Entrada de energia/potência no diagrama log P/h

Potência é a energia ao longo de um período de tempo e é medida em J/s (Joule por segundo) = W (Watt) (veja a Figura 50). Watt (W) é a unidade de potência no Sistema Internacional de Unidades (SI), uma homenagem a James Watt, que ficou famoso pelo aperfeiçoamento das máquinas a vapor.

Ela pode ser potência mecânica ou potência térmica. Ambas representam transmissão de energia.

Figura 50 – Entrada de energia/potência no diagrama log P/h



Fonte: Rolf Huehren.

$\dot{Q}_0$ = Classificação do evaporador (potência térmica)

c = Classificação do condensador (potência térmica)

Pel = Classificação do acionamento (potência mecânica)

5.3.14.9 Circuito de refrigeração mostrado no diagrama log P/h

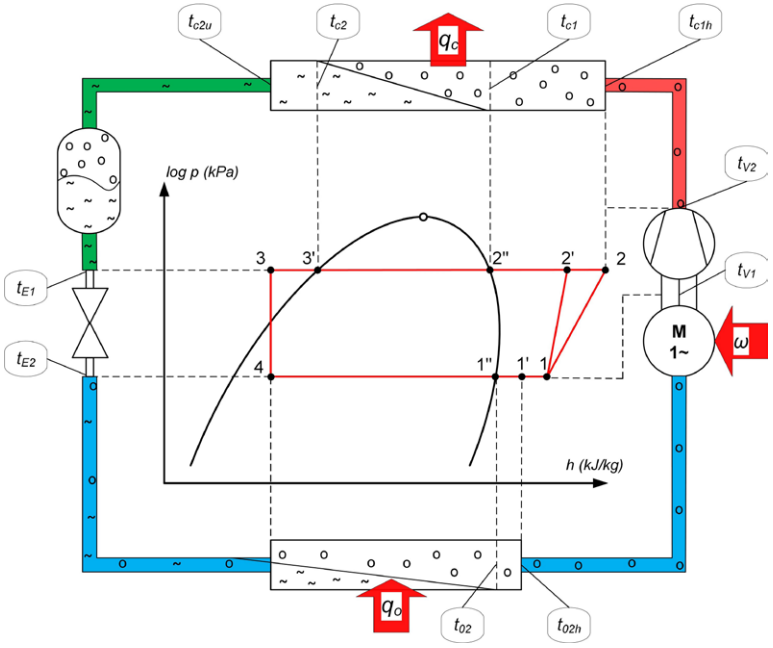
O ciclo básico de refrigeração consiste em quatro processos principais: compressão, condensação, expansão e evaporação. Esses processos termodinâmicos ocorrem dentro dos principais componentes do circuito de refrigeração, como:

1. Compressor;
2. Condensador;
3. Válvula de expansão; e
4. Evaporador.

No AVAC-R, o coração do sistema de refrigeração é a unidade condensadora, onde ocorre o processo de compressão e condensação do fluido refrigerante.

A Figura 51 indica o esquema do ciclo de refrigeração com os processos acima mencionados, que também podem ser representados no diagrama log p, h. A direção do circuito é anti-horária. Esses processos termodinâmicos formam um ciclo fechado chamado circuito de compressão de vapor, que é um circuito padrão para sistemas de refrigeração de compressor genérico com expansão de fluido refrigerante seco.

Figura 51 – Processos no diagrama log P/h



1 – 2''	Compressão isentrópica (ideal)	**3 – 4**	Expansão
1 – 2	Compressão indicada (prática)	**4 – 1''**	Evaporação dentro do evaporador
2 – 2''	Superaquecimento dentro do condensador	**1'' – 1'**	Superaquecimento dentro do evaporador
2'' – 3'	Condensação dentro do condensador	**1' – 1**	Superaquecimento na linha de sucção e refrigeração do motor de acionamento
3' – 3	Sub-resfriamento dentro do condensador		
o	Ilustra "gasoso"	**~**	Ilustra "líquido"
q_o	Calor específico no evaporador (J/kg; kJ/kg)	**q_c**	Calor específico no condensador
ω	Trabalho específico no compressor (J/kg; kJ/kg)		
As designações dos pontos de medição indicados estão explicadas na sequência.			

Fonte: Rolf Huehren.

5.3.14.9.1 **Processo de compressão**

Conforme mostrado na Figura 51, o ciclo básico de refrigeração começa no ponto 1. O compressor puxa o vapor do fluido refrigerante superaquecido através do tubo de sucção e começa a comprimi-lo. A pressão, a temperatura e a energia do vapor comprimido aumentam rapidamente. O volume específico, por outro lado, diminui significativamente. A compressão termina no ponto 2 (2'), que determina as condições do vapor do fluido refrigerante que sai do compressor. Nesse ponto, a temperatura e o conteúdo de energia do vapor do fluido refrigerante apresentam o valor mais alto em todo o circuito de refrigeração. A distância entre 1" e 1' indica o superaquecimento mantido dentro do evaporador (relacionado ao componente, dependendo do trocador de calor e do dispositivo de expansão). A distância entre 1" e 1' indica a quantidade de superaquecimento na linha de sucção e refrigeração do motor de acionamento (hermético e semi-hermético). A distância entre 1 e 2 indica a compressão prática (com fricção). A distância entre 1 e 2' indica a compressão isentrópica (ideal) sem perdas.

5.3.14.9.2 **Processo de condensação**

A distância entre os pontos 2' e 2" representa o processo de dessuperaquecimento a alta temperatura (temperatura de fim da compressão) e vapor com alta pressão constante até a temperatura em que o fluido refrigerante começa a condensar. A energia e o volume específico caem ligeiramente. No ponto 2", o vapor não está mais superaquecido. Pelo contrário, ele passa a ficar 100% saturado (x = 1).

O processo de condensação do fluido refrigerante é mostrado entre os pontos 2" e 3'. É uma transição de fases, em que o vapor do fluido refrigerante saturado vai gradualmente se transformando em líquido saturado. Durante esse processo, muita energia é liberada em forma de calor, que deve ser rejeitado. A condensação ocorre sob condições constantes de pressão e temperatura, e termina no ponto 3'. A pressão constante, do ponto 3' a 3 o fluido refrigerante é sub-resfriado.

5.3.14.9.3 **Processo de expansão**

Em geral, recomenda-se fornecer fluido refrigerante líquido sub-resfriado para o dispositivo de expansão. O processo de sub-resfriamento ocorre do ponto 3' ao 3, e assegura que o fluido refrigerante liquefeito entre na válvula de expansão no ponto 3. Com o sub-resfriamento do fluido refrigerante, também aumentamos a capacidade de refrigeração específica (a distância entre os pontos 4 e 1" no diagrama).

A válvula de expansão (dispositivo de expansão) é usada para forçar o fluido refrigerante com fluxo de passagem para reduzir a pressão do fluido refrigerante, que entra nela como líquido sub-resfriado (ponto 3) e sai como uma mistura de líquido e vapor no ponto 4. O processo de expansão é tratado como isentálpico – o conteúdo de energia (entalpia, kJ/kg) do fluido refrigerante é constante.

5.3.14.9.4 **Processo de evaporação**

A linha dos pontos 4 a 1" indica o processo de evaporação a temperatura e pressão constantes. A carga de calor do meio resfriado (produto, ar, líquido) é transferida para o fluido refrigerante através da superfície de troca de calor do evaporador. Portanto, o conteúdo de energia do fluido refrigerante aumenta significativamente. Depois que toda a fase líquida na mistura de líquido-vapor evapora, o ponto 1" é alcançado, e o vapor do fluido refrigerante saturado fica disponível. No ponto 1', o vapor do fluido refrigerante saturado é superaquecido (superaquecimento útil) dentro do evaporador. Por fim, o vapor do fluido refrigerante saturado (contendo superaquecimento útil) é removido do compressor pelo tubo de sucção (ponto 1' a 1).

Em ambas as seções (ponto 1" a 1' e 1), mantemos o superaquecimento "total" do fluido refrigerante, para assegurar (idealmente) que o fluido refrigerante que entra no compressor não contenha nenhum fluido refrigerante líquido. O circuito inteiro de refrigeração termina no ponto 1, onde o volume específico do fluido refrigerante superaquecido é o mais alto, e onde o processo de compressão se repete.

5.3.14.9.5 **Superaquecimento**

Superaquecimento é a quantidade de conteúdo de calor que fornecemos ao fluido refrigerante (dentro de uma seção final do evaporador e da linha de sucção) depois que todo o fluido refrigerante líquido tenha evaporado por completo. Levando em conta essa definição, superaquecimento significa uma contribuição de conteúdo de calor sensível ao fluido refrigerante saturado e, portanto, um aumento na temperatura.

Superaquecimento	Para calcular a quantidade de superaquecimento, precisamos conhecer duas temperaturas (veja também a Figura 52): A temperatura da válvula de serviço de sucção do evaporador t_{02h} ou na entrada do compressor (t_{V1h}); e A temperatura de evaporação (t_{V1}) a uma dada pressão (p_{eV1}) - (ou t_{02} @ p_{e02}).
Superaquecimento total	Superaquecimento total é a quantidade de "superaquecimento útil" mais "superaquecimento adicional".

Se usarmos um manômetro para medir a pressão de sucção, obteremos a temperatura de evaporação do vapor do fluido refrigerante saturado (t_{V1}), e a temperatura do fluido refrigerante superaquecido pode ser determinada usando um termômetro no tubo de sucção para fechar o compressor (t_{V1h}).

Conforme já explicado, ambos ocorrem dentro do evaporador ou/e no tubo de sucção do compressor. O fluido refrigerante saturado "no final" dentro do evaporador produz superaquecimento útil, já que ele absorve calor do fluido a ser refrigerado. Se for gerado superaquecimento "adicional" no tubo de sucção, o calor será absorvido do fluido no qual o tubo está localizado (por exemplo, do ar ambiente).

Vantagens

- A capacidade de refrigeração do sistema aumenta com o superaquecimento do vapor, e ao mesmo tempo a capacidade de refrigeração diminui com a redução da densidade durante o superaquecimento. O resultado dessas duas tendências opostas deve ser observado para entender se a capacidade de refrigeração de um sistema aumenta com o superaquecimento; e
- O superaquecimento assegura a evaporação total do fluido refrigerante líquido antes de ele entrar no compressor.

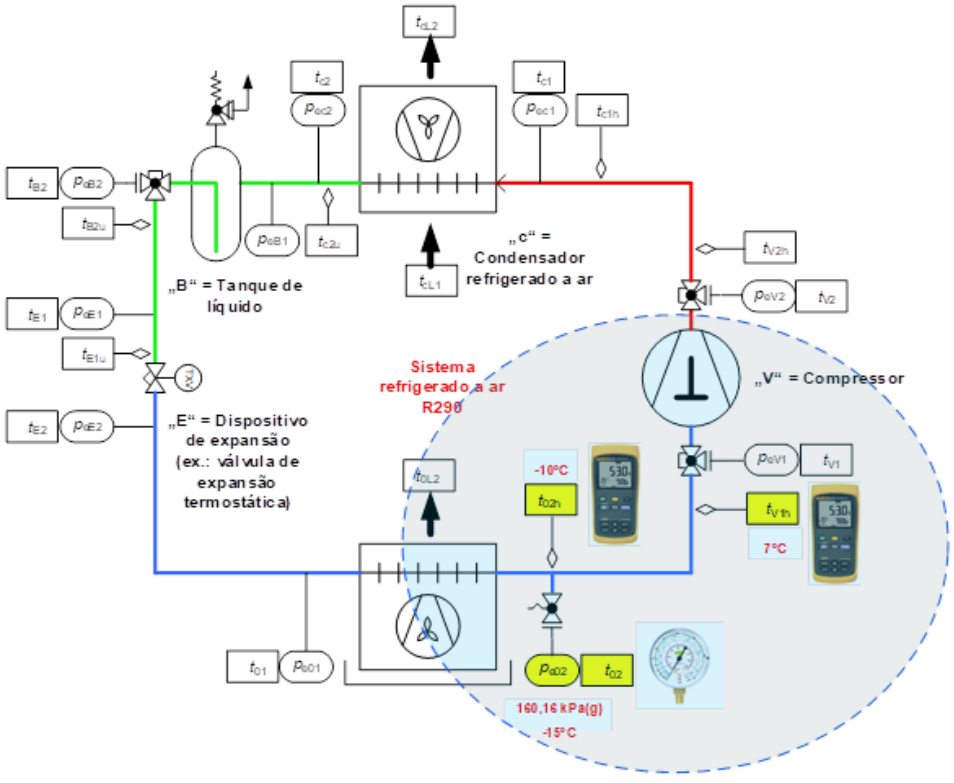
Desvantagens

- Elevação da temperatura no final da compressão, o que pode deteriorar o óleo lubrificante ou reduzir sua viscosidade; e
- Se o superaquecimento for alto demais, o sistema será ineficiente. Se o superaquecimento for baixo demais, existe o risco de entrar líquido no compressor e talvez provocar danos mecânicos.

5.3.14.9.6 Exemplo de cálculo de superaquecimento

Dadas as condições do sistema da Figura 52, precisamos saber o superaquecimento útil (com t_{02h}) e o superaquecimento total (com t_{v1h}):

Figura 52 – Exemplo de cálculo de superaquecimento útil e total para o sistema do R-290



Fonte: Rolf Huehren.

De acordo com a tabela de temperatura – pressão (para o R-290), a temperatura saturada correspondente à pressão de evaporação é – 15 °C (t_o); logo:

Superaquecimento útil (ΔT_{o2h})=-10 °C-(-15 °C) = 5 K → 263,15 K – 258,15 K = 5 K
Superaquecimento total (ΔT_{V1h})=7 °C-(-15 °C) = 22 K → 280,15 K – 258,15 K = 22 K
Superaquecimento total (ΔT_{V1h})=22 K Esse valor é mais alto do que o superaquecimento mínimo total. A informação, se o superaquecimento total for aceitável e ficar abaixo do valor máximo, consta das informações sobre a faixa de aplicação fornecidas pelo fabricante do compressor.

5.3.14.9.7 **Sub-resfriamento**

Sub-resfriamento é o resfriamento do fluido refrigerante a uma temperatura abaixo da temperatura de condensação na pressão de saturação. O processo de sub-resfriamento ocorre do ponto 3' para 3. Existem dois motivos pelos quais o sub-resfriamento geralmente precisa acontecer no circuito de refrigeração:

1. O sub-resfriamento é necessário para garantir a liquefação completa do fluido refrigerante no condensador. Pode-se observar frequentemente, a partir dos perfis de fluxo do fluido refrigerante, que o fluido refrigerante líquido está presente apenas em suas paredes externas frias. A válvula de expansão pode funcionar de maneira irregular se a liquefação completa do fluido refrigerante de entrada não for alcançada.
2. Melhoria da absorção de calor no evaporador. Sem o sub-resfriamento, grande parte do fluido refrigerante no evaporador já fica gasoso novamente após a regulagem do fluxo e não é possível mais admitir calor. Sendo assim, o sub-resfriamento pode melhorar a capacidade de refrigeração (desempenho do sistema).

O sub-resfriamento pode ser alcançada estendendo o condensador com um loop separado de sub-resfriamento, ou conectando um trocador de calor intermediário (troca de calor entre o gás de sucção e o fluido refrigerante líquido). A segunda opção aumenta a entalpia da evaporação (Δh em kJ/kg), mas também o valor da condição de superaquecimento na linha de sucção na entrada do compressor (dependendo do sistema e do tipo de fluido refrigerante (R-22/R-410A), pode ter um efeito negativo aumentando a temperatura de descarga admissível do compressor).

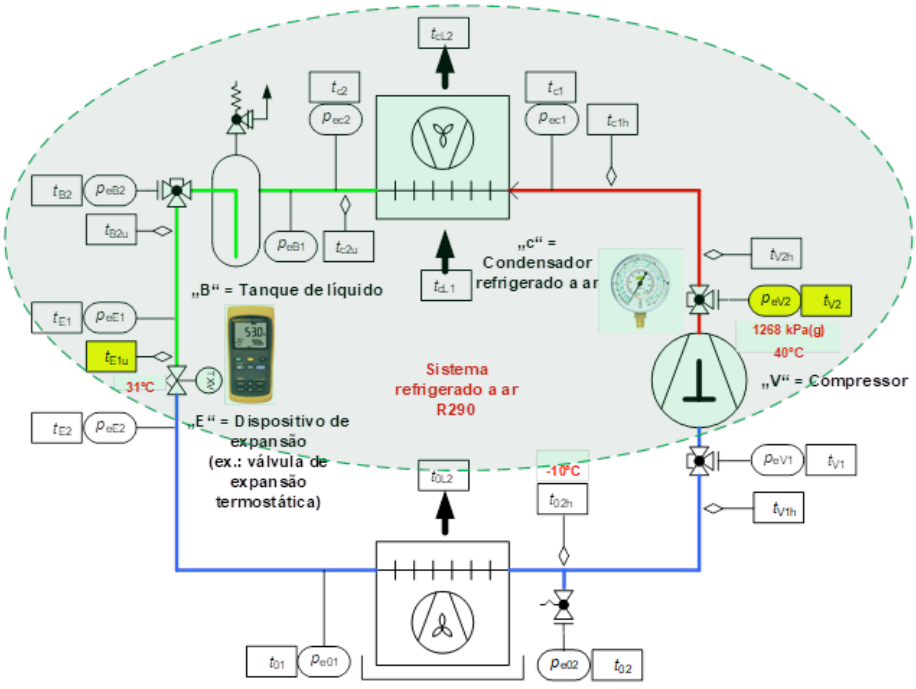
Em sistemas com um tanque de líquido, o sub-resfriamento na saída do tanque é de 0 K (pressupondo-se a carga correta do fluido refrigerante). Nesse caso, o tanque assegura o suprimento de líquido necessário. Sem tanque, o sub-resfriamento ideal deve em geral ficar na faixa de 3-5 K.

Sub-resfriamento	O sub-resfriamento ΔT_{cU} é a diferença algébrica em Kelvin (K) entre a pressão de condensação saturada p_c convertida em temperatura t_c e a temperatura medida do fluido refrigerante na saída do condensador $t_{c2u,}$ respectivamente t_{E1u}, antes de entrar no dispositivo de expansão. O valor padrão de sub-resfriamento deve girar em torno de 3 a 5 Kelvin.

5.3.14.9.8 **Exemplo de cálculo de sub-resfriamento**

Dadas as condições do sistema na Figura 53 carregado com **R-290**, podemos calcular o sub-resfriamento de acordo:

Figura 53 – Exemplo de cálculo de sub-resfriamento para o sistema do R-290



Fonte: Rolf Huehren.

De acordo com a tabela de temperatura-pressão, a temperatura saturada correspondente à pressão de condensação é 40 °C (Tc); logo:

Sub-refrigeração (ΔT_{E1u})=40 °C (313,15 *K*)-31 °C (304,15 *K*)=9 *K*

Sub-refrigeração (ΔT_{E1u}):9 K Esse valor está de acordo com o mínimo necessário (cerca de 5K).

5.3.14.9.9 Trocador de calor interno (trocador de calor de gás de sucção - suction gas heat exchanger ou SGHX), aumento do sub-resfriamento

Para aumentar ainda mais o sub-resfriamento e o superaquecimento fora do condensador e do evaporador, respectivamente, usa-se um trocador de calor de gás de sucção (SGHX), também chamado de "trocador de calor interno".

Dentro do SGHX, localizado na parte baixa do condensador, o fluido refrigerante já liquefeito extrai mais calor e garante melhor sub-resfriamento. **Um sub-resfriador também pode ser integrado ao condensador permitindo que o condensado flua através de diversas passadas separado do condensador real por um sifão após a condensação.**

Como o superaquecimento acontece depois do evaporador, a superfície inteira pode ser usada para evaporação, o que eleva a temperatura de evaporação. Quanto mais alta a transferência de calor no SGHX, maior o superaquecimento e o sub-resfriamento (limitada pelas temperaturas do fluido refrigerante).

O SGHX costuma aumentar a eficiência energética do sistema. Contudo, como o ciclo de refrigeração é um sistema fechado, ele também afetará outras partes do

ciclo; por exemplo: o fluxo de massa de fluido refrigerante (densidade na entrada do compressor) e maior temperatura de descarga do fluido refrigerante. O uso e o tamanho do SGHX devem ser avaliados para cada caso e em específico para o tipo de fluido refrigerante usado.

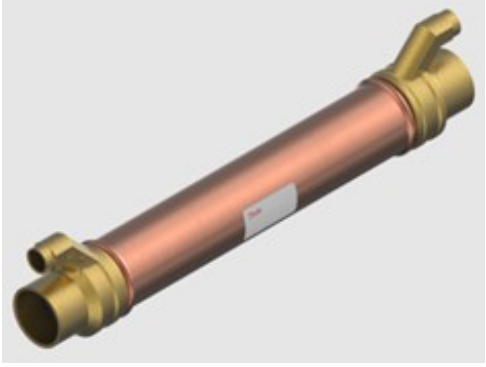
Para sistemas de tubo capilar (domésticos e comerciais pequenos), pode-se conseguir a eficiência ideal do sistema instalando um trocador de calor entre o tubo de sucção do compressor e o capilar para garantir sub-resfriamento. O sub--resfriamento deve estar na faixa de 5K, sendo esta uma abordagem genérica para sistemas operados por capilar e para sistemas com dispositivos de expansão.

No passado, para sistemas capilares, cerca de 1-2 m do tubo capilar era soldado junto com o tubo de sucção (roteamento lateral). Hoje em dia, usa-se mais o roteamento helicoidal do capilar em torno do tubo de sucção. Para conectar o capilar à linha de sucção, também pode ser usado um filme retrátil em vez de solda. Para sistemas modernos operados por capilares, o capilar é roteado de modo concêntrico em relação ao tubo do trocador de calor.

O sub-resfriamento "criado" para sistemas com fluidos refrigerantes HC (R-290, R-600a) aumenta a capacidade de refrigeração significativamente em até 15%.

Os sistemas comerciais são equipados com trocador de calor espiral (por exemplo: trocador de calor da Danfoss 0,5 a 8,0; veja a Figura 54) ou trocador de calor a placa — geralmente utilizado para aplicações comerciais-industriais e para uso específico com o R-744 (CO_2).

Figura 54 – SGHX da Danfoss (tipo HE 0,5 a 8,0)



Fonte: Danfoss.

Recursos:

- Alta capacidade de refrigeração no evaporador;
- Ajuda a garantir líquido sem vapor à frente da
- Válvula de expansão;
- Pode ser usado na categoria 3 (Zona 2) ATEX;
- Utilização máxima do evaporador na
- configuração da válvula de expansão termostática para superaquecimento mínimo; e
- Auxílio na otimização da carga de fluido refrigerante.

O projeto é de tal modo que as velocidades normais do gás de sucção são alcançadas, com uma ligeira queda de pressão subsequente. Logo, a capacidade do trocador de calor corresponde à capacidade do sistema de refrigeração. Ao mesmo tempo, é garantido o retorno de óleo para o compressor.

Dentro do SGHX (trocador de calor da Danfoss), o líquido do fluido refrigerante flui no sentido oposto do gás, através da pequena câmara exterior. O fluxo é guiado por uma bobina de fio embutida, de modo que a máxima transferência de calor seja alcançada. O líquido "quente" fluindo da câmara exterior normalmente protege o tubo exterior contra o "suor".

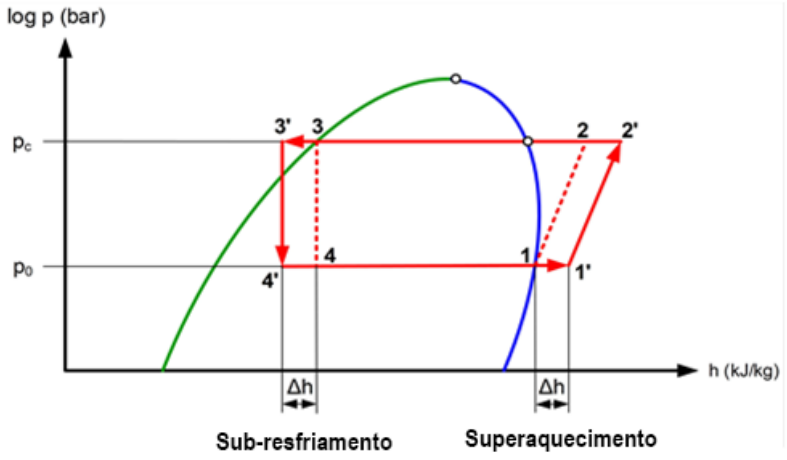
Apresentação no diagrama log P/h

O trocador de calor interno sub-resfria o líquido saturado do ponto 3 ao 3' e exatamente a mesma quantidade de entalpia é acrescentada (ponto 1 a 1') ao gás de sucção retirado do compressor como fluido refrigerante superaquecido (ignorando as perdas de transferência de calor do trocador de calor interno).

O gás de descarga do compressor superaquecido experimenta uma temperatura mais alta de descarga no ponto 2. Com teoricamente a mesma capacidade de acionamento do compressor (ponto 1 ao 2), aumenta a capacidade do evaporador e do condensador.

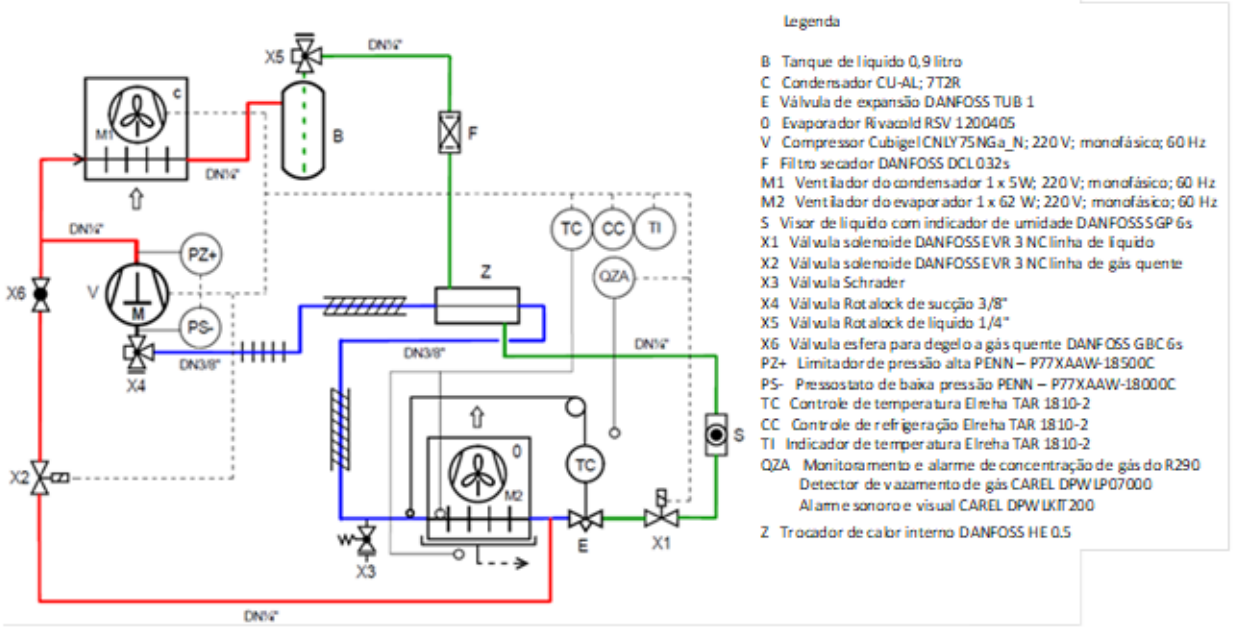
Geralmente, o trocador de calor interno fica localizado perto do evaporador dentro do ponto de resfriamento. Como mencionado anteriormente, a capacidade do SGHX deve ser selecionada de acordo com as boas práticas de engenharia e as recomendações dos fabricantes. Temperaturas mais altas de descarga do compressor podem acarretar problemas de lubrificação e temperaturas excessivas do compressor, com subsequentes danos graves ao sistema de refrigeração.

Figura 55 – Diagrama de pressão - entalpia / trocador de calor interno



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 56 – Integração do circuito de refrigeração do SGHX e com o ciclo de degelo a gás quente



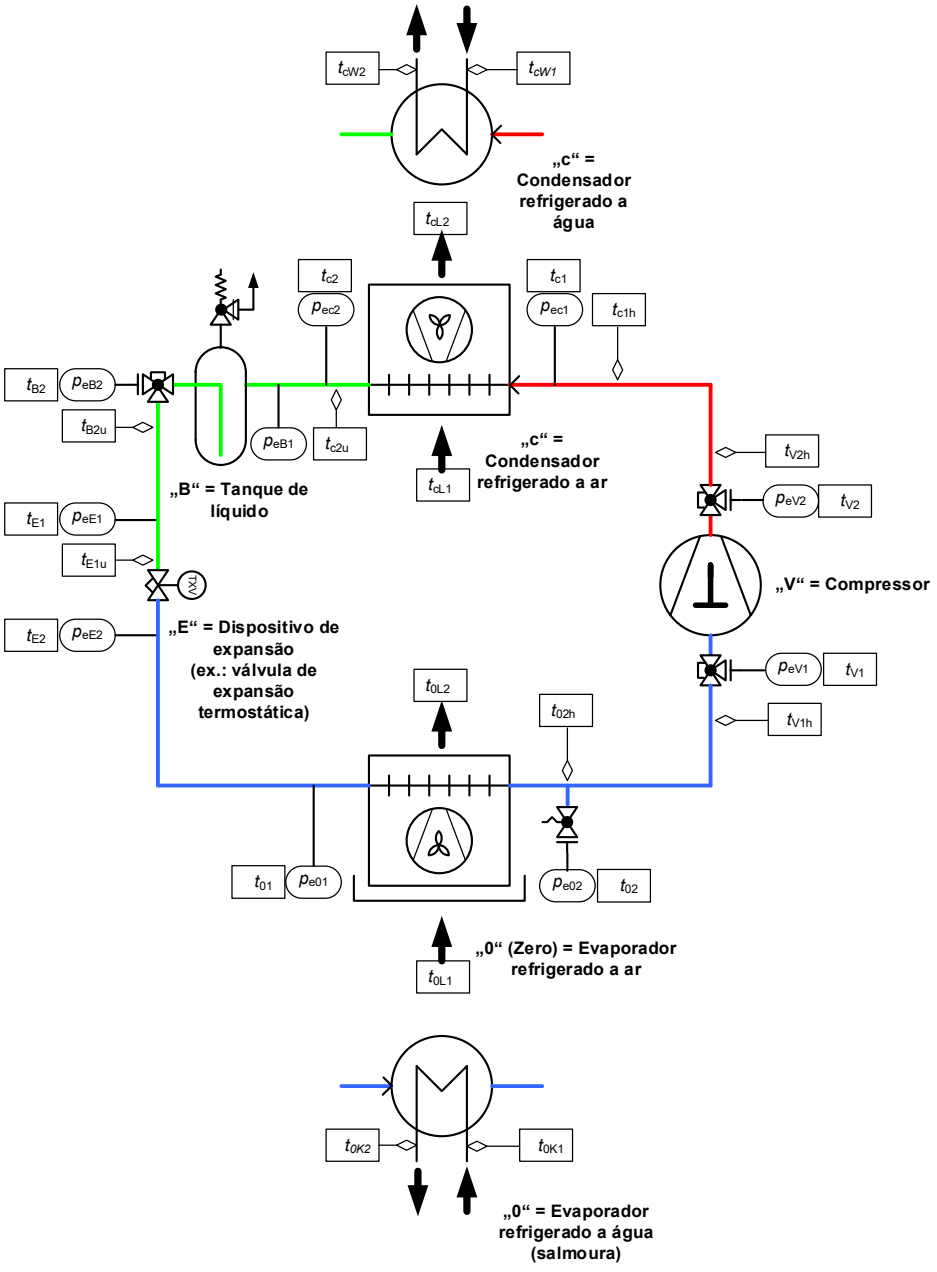
Fonte: Rolf Huehren.

Trocador de calor interno SGHX

O trocador de calor interno sub-resfria o fluido refrigerante líquido saturado ao sair do condensador, e exatamente a mesma quantidade de entalpia é acrescentada ao gás de sucção retirado do compressor como fluido refrigerante superaquecido (ignorando as perdas de transferência de calor do trocador de calor interno).

5.3.14.10 Circuito de refrigeração genérico mostrado para determinação do ponto de medição

Figura 57 – Designações dos pontos de medição do circuito de refrigeração para relevância em diagramas de tubulação e instrumentação (PID)



Fonte: Desenho de Rolf Huehren, extraído da norma DIN 8941.

Tabela 22 – Símbolos e unidades usados (conforme a norma DIN 8941)

Nº	Símbolo	Termo	Unid SI	Comentário	Nº	Símbolo	Termo	Unid SI	Comentário
1	p	pressão	bar	1 bar = 10^5 Pa	28	t_{amb}	temperatura ambiente	°C	
2	p_{abs}	pressão absoluta	bar	1 bar = 100 kPa	29	t_{room}	temperatura no ponto de resfriamento	°C	
3	p_{amb}	pressão ambiente	bar	1 bar = 0,1 Mpa	30	t	temperatura	°C	t = T - 273,15 K
4	p_e	diferença entre pressão absoluta e pressão atmosférica ambiente (pressão manométrica)	bar	$p_e = p_{abs} - p_{amb}$	31	T		K	
5	p_c	pressão de condensação (absoluta)	bar		32	h	vapor superaquecido		
6	p_{ec}	diferença entre pressão de condensação e pressão atmosférica ambiente (pressão manométrica)	bar	$p_{ec} = p_c - p_{amb}$	33	u	líquido sub-resfriado		
7	p_o	pressão de evaporação (absoluta)	bar		34	Δ	diferença (delta)		
8	p_{eo}	diferença entre pressão de evaporação e pressão atmosférica ambiente (pressão manométrica)	bar	$p_{eo} = p_o - p_{amb}$	35	1	entrada		
9	p_{eV1} / p_{eV2}	pressão na entrada / saída do compressor (manométrica)	bar		36	2	saída		
10	t_{v1} / t_{v2}	temperatura do fluido refrigerante na entrada / saída do compressor (manométrica)	°C	$p_{eV1/2}$ convertido	37	B	tanque de líquido		ex.: tanque de líquido
11	t_{V1h} / t_{V2h}	temperatura do fluido refrigerante superaquecido na entrada / saída do compressor	°C		38	c	condensador		
12	ΔT_{V1h}	superaquecimento na entrada do compressor	K	$\Delta t_{V1h} = t_{V1h} - t_{v1}$	39	E	dispositivo de expansão		ex.: válvula de expansão termostática
13	p_{ec1} / p_{ec2}	pressão na entrada / saída do condensador (manométrica)	bar		40	F	filtro		desvio da DIN
14	t_{c1h}	temperatura do fluido refrigerante superaquecido na entrada do condensador	°C		41	H	aquecedor		
15	t_{c2u}	temperatura do fluido refrigerante líquido sub-resfriado na saída do condensador	°C		42	K	fluido secundário		ex.: água, salmoura
16	t_c	temperatura de condensação saturada	°C	em p_c	43	L	ventilador		
17	ΔT_{c2u}	sub-resfriamento na saída do condensador	K	$\Delta T_{c2u} = t_{c2} - t_{c2u}$	44	M	motor		
18	t_{cL1} / t_{cL2}	temperatura do ar na entrada / saída do condensador	°C		45	o	evaporador		dito "zero"
19	p_{eE1} / p_{eE2}	pressão na entrada / saída do dispositivo de expansão (manométrica)	bar		46	P	bomba		

Continuação da Tabela 22 – Símbolos e unidades usados (conforme a norma DIN 8941)

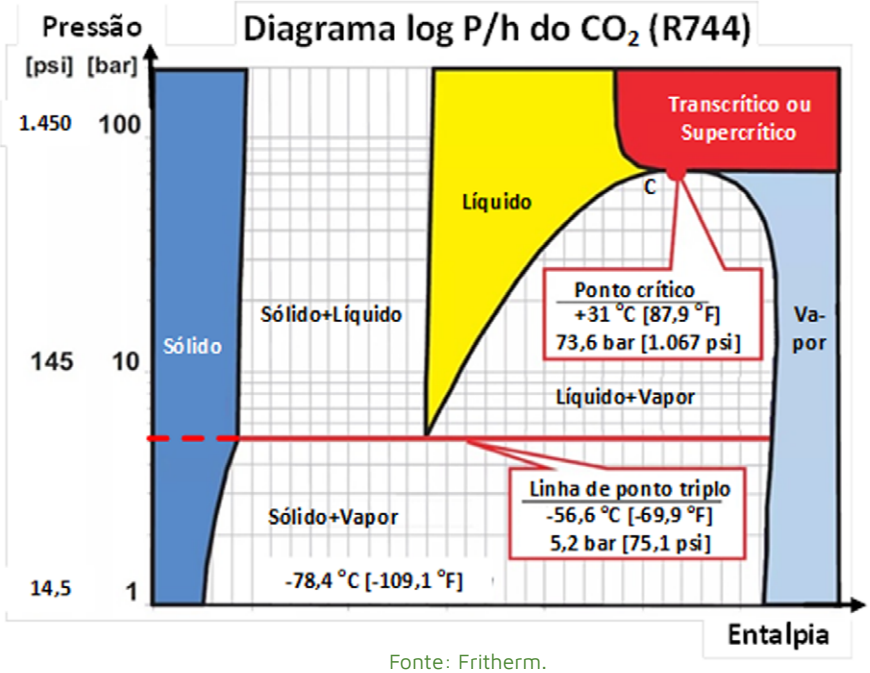
20	t_{E1u}	temperatura do fluido refrigerante líquido sub-resfriado na entrada do dispositivo de expansão	°C		47	S	visor de líquido		desvio da DIN
21	ΔT_{E1u}	sub-resfriamento na entrada do dispositivo de expansão	K	$\Delta T_{E1u} = t_{E1} - t_{E1u}$	48	T	transdutor		desvio da DIN
22	p_{eo1} / p_{eo2}	pressão na entrada / saída do evaporador (manométrica)	bar		49	U	sub-resfriador, pós-refrigerador		
23	t_{o2h}	temperatura do fluido refrigerante em vapor superaquecido na saída do evaporador	°C		50	V	compressor		
24	Δt_{o2h}	superaquecimento na saída do evaporador	K	$\Delta t_{o2h} = t_{o2h} - t_{o2}$	51	W	fluido de transferência de calor		água, óleo...
25	t_{o2}	temperatura do gás de sucção saturado na saída do evaporador	°C	p_{eo2} convertido	52	WT	trocador de calor interno		líquido / gás
26	t_o	temperatura de evaporação saturada	°C	em p_o	53	X	válvula		desvio da DIN
27	t_{oL1} / t_{oL2}	temperatura do ar na entrada / saída do condensador	°C		54	Z	intercooler		

Fonte: Norma DIN 8941.

5.3.14.11 Diagrama de entalpia-pressão do dióxido de carbono (R-744)

Tradicionalmente, apenas partes desse diagrama são usadas para descrever o ciclo de compressão do vapor. As regiões relevantes são as que mostram líquido (amarelo), vapor (azul claro) e líquido/vapor (branco), já que os fluidos refrigerantes não podem ser usados no estado sólido no ciclo de compressão do vapor. Uma versão completa é mostrada na Figura 58. Embora a temperatura não esteja marcada no eixo, o ponto triplo é representado pela linha vermelha pontilhada. Abaixo dessa linha existe uma região na qual a fase sólida e a fase gasosa coexistem em equilíbrio. Se o estado do CO_2 mudar de modo a cruzar a linha pontilhada, haverá formação de gelo seco (ou seja, expansão do líquido).

Figura 58 – Representação esquemática do diagrama completo de entalpia-pressão

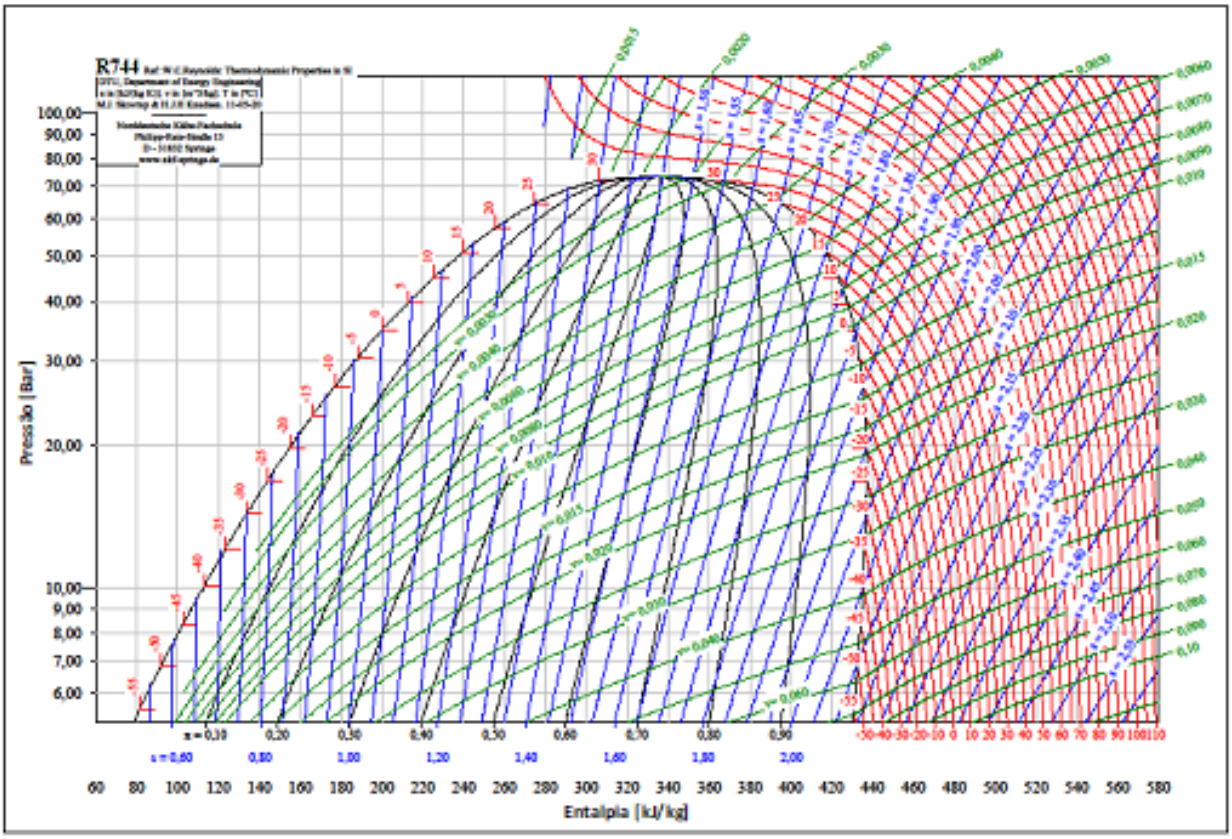


Fonte: Fritherm.

Portanto, a maioria dos diagramas mostra as regiões acima do ponto triplo, conforme mostrado aqui para o CO_2 na Figura 59.

O ponto crítico	O ponto crítico é a condição na qual as densidades do líquido e do gás são iguais. Acima desse ponto, não existem fases distintas com líquido e gás.
O ponto triplo	O ponto triplo é a condição na qual sólido, líquido e gasoso coexistem.
Fluido supercrítico ou transcrítico	Estado no qual tanto a temperatura quanto a pressão ficam acima do ponto crítico. A substância não é gás, nem vapor, nem líquido.

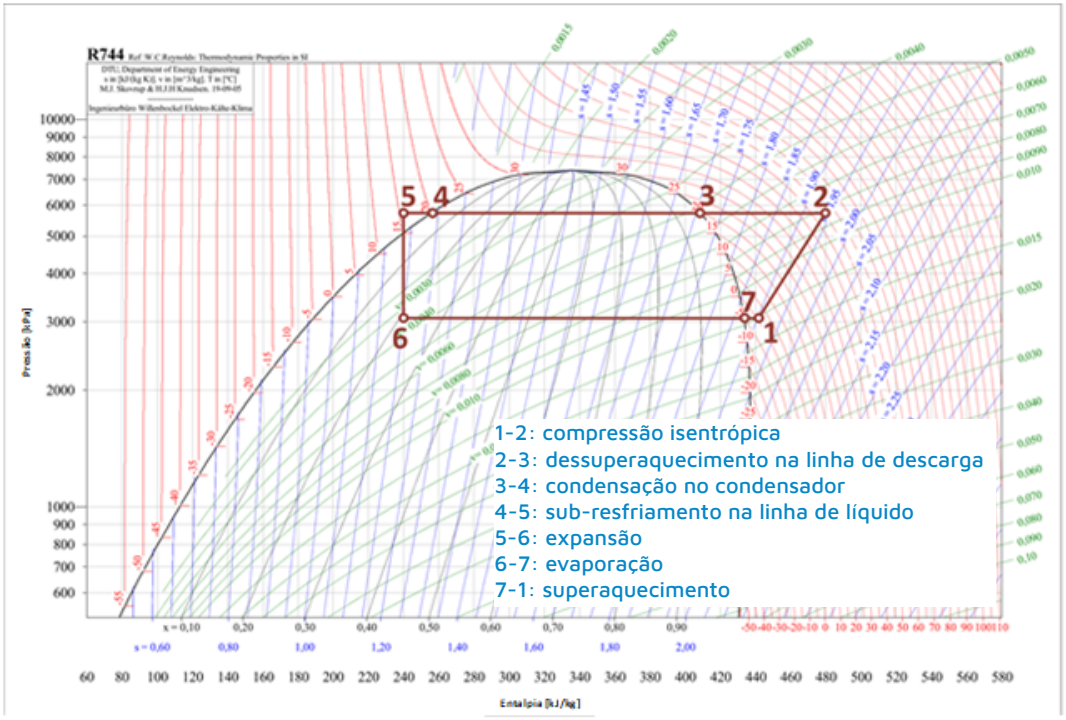
Figura 59 – Diagrama de entalpia-pressão do dióxido de carbono



Fonte: CoolPack 1.50, Universidade técnica da Dinamarca.

A Figura 60 mostra um ciclo de refrigeração subcrítica do R-744 da mesma forma em que é usado para outros fluidos refrigerantes (por exemplo, o R-290). A linha horizontal inferior representa a evaporação (ponto 6 a 7) em um refrigerador de ar ou *chiller* e o superaquecimento na linha de sucção (ponto 7 a 1). A linha da direita representa a compressão (ponto 1 a 2). A linha horizontal superior representa o dessuperaquecimento do gás de descarga na linha de descarga e a condensação e sub-resfriamento no condensador (ponto 2 a 5). A linha vertical esquerda representa o processo na válvula de expansão ou válvula de alta pressão.

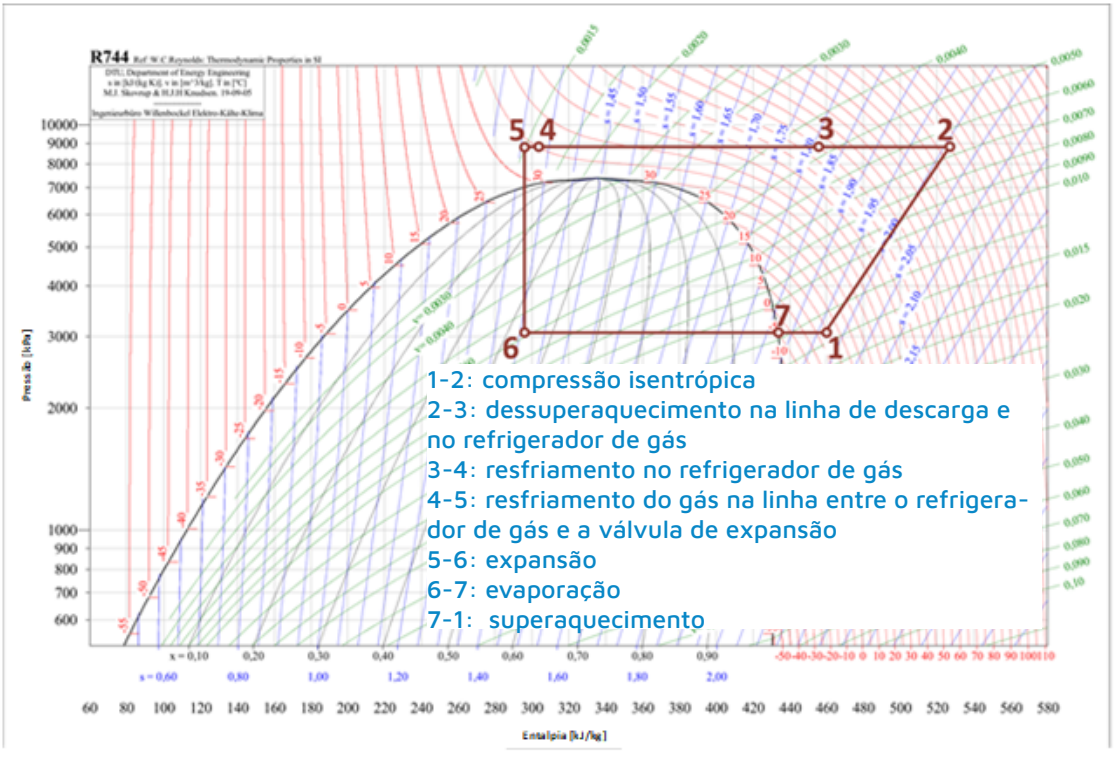
Figura 60 – Diagrama de entalpia-pressão de um circuito de refrigeração subcrítica



Fonte: CoolPack 1.50, Universidade técnica da Dinamarca.

A Figura 61 mostra um ciclo de refrigeração transcrítica do R-744. A principal diferença está na linha horizontal superior. O estado no início do ciclo é gás comprimido. O gás é resfriado na linha de descarga e no refrigerador de gás. O ponto 4 é a saída do refrigerador de gás. Não há líquido. O gás é mais resfriado na linha antes de expandir na válvula. O gás evapora em um fluxo de duas fases (líquido e flash gás), se passar pela válvula de alta pressão.

Figura 61 – Diagrama de entalpia-pressão de um circuito de refrigeração transcrítica



Fonte: CoolPack 1.50, Universidade técnica da Dinamarca.

Se a operação for acima do ponto crítico, a função do condensador mudará para a de um refrigerador de gás e os sistemas devem ser projetados para pressão operacional bem acima de 100 bars. Nessa operação transcrítica (supercrítica), o CO_2 também pode ser usado para temperaturas mais altas. Ele também é adequado para uso como fluido refrigerante para bombas de calor.

Os sistemas transcríticos (supercríticos) ainda têm um projeto de planta "jovem" com novos componentes e tecnologia de planta complexa. Por conta disso, o custo desses sistemas é relativamente alto, sendo raro encontrar mão de obra com o treinamento adequado para prestar serviço e fazer manutenção na área de AVAC-R.

5.3.14.12 **Significado da operação em sistema de refrigeração subcrítica e transcrítica**

Dizer que a operação do sistema de refrigeração é subcrítica significa que a operação está abaixo do ponto crítico do fluido refrigerante usado. Transcrítico significa que o ponto crítico é ultrapassado durante a operação. O ponto crítico é uma propriedade termodinâmica e varia conforme o tipo de fluido refrigerante.

Os sistemas de RAC com fluidos refrigerantes tradicionais e fluidos refrigerantes naturais comumente usados (exceto o dióxido de carbono R-744) costumam ter boa operação abaixo do ponto crítico. Para a aplicação do CO_2, tanto a operação subcrítica quanto a transcrítica podem ser adotadas para o projeto do sistema de refrigeração. Dependendo das condições ambientais, e se o projeto não for e não for construído de outra forma, a operação subcrítica e transcrítica pode ser concebível para um sistema específico.

Sistema subcrítico	Sistema que opera abaixo do ponto crítico.
Sistema transcrítico	Sistema que opera acima do ponto crítico. Muitos sistemas transcríticos são subcríticos durante parte do ano (a temperatura ambiente mais baixa).

5.4 **Cálculo de carga de refrigeração**

A demanda geral pelo cálculo de carga de refrigeração ocorre por causa da importância do acondicionamento e controle da temperatura dos produtos em diversos setores importantes do nosso dia a dia, e exige cuidados profissionais para que o projeto, o dimensionamento e a operação dos sistemas de refrigeração sejam eficazes e eficientes. Uma sociedade funcional sem refrigeração é simplesmente inimaginável para todos nós hoje em dia. A refrigeração é essencial para diversos setores, incluindo armazenamento de alimentos, produção farmacêutica, processamento químico e sistemas de AVAC, nos quais o controle de temperatura é fundamental.

A demanda nas etapas iniciais pela determinação da carga de refrigeração para sistemas de AVAC-R pode ser geralmente descrita assim:

***Design* do sistema:**
Cálculos precisos da carga de refrigeração ajudam os/as engenheiros/as a projetar sistemas capazes de manter as temperaturas desejadas sob condições específicas, evitando o subdimensionamento (que leva à falha do sistema) ou o superdimensionamento (que resulta em desperdício de energia e custos mais altos).

Eficiência energética:
Com os custos de energia elevados e as preocupações ambientais, os cálculos precisos são cruciais para reduzir o consumo de energia e assegurar operações sustentáveis e não prejudiciais ao meio ambiente.

Qualidade e segurança do produto:
A refrigeração adequada mantém a qualidade, a segurança e a longevidade de produtos perecíveis como alimentos e medicamentos, evitando estragos e desperdício, e garantindo a disponibilidade deles.

Conformidade regulatória:
As indústrias, a cadeia de suprimentos e os consumidores costumam encontrar rigorosos requisitos de controle de temperatura e normas de eficiência energética, precisando fazer avaliações minuciosas da carga de refrigeração.

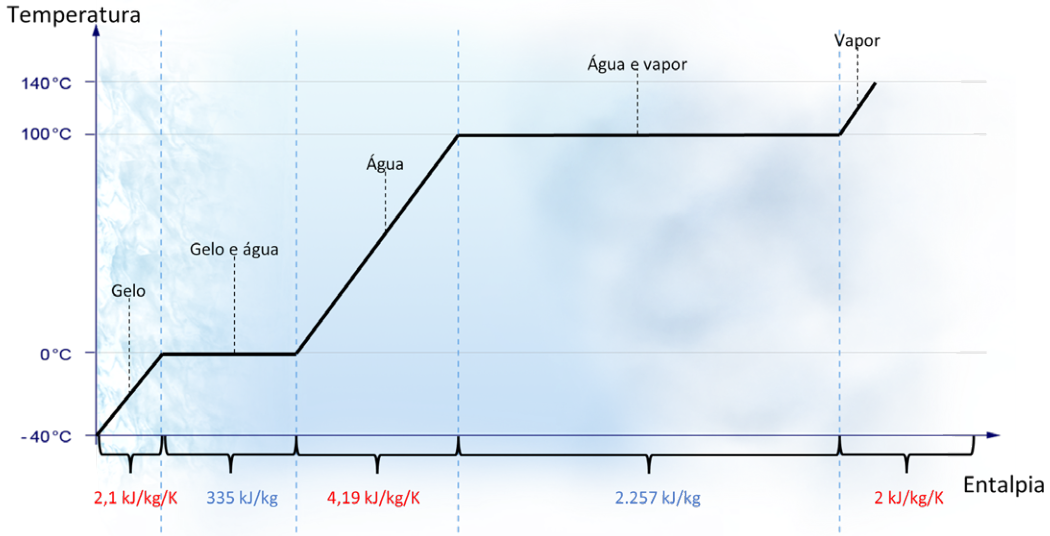
Otimização de custos:
Os cálculos da carga de refrigeração possibilitam selecionar melhor os equipamentos e o planejamento operacional, reduzindo o investimento inicial e as despesas operacionais ao longo da vida útil do sistema.
Todos os itens mencionados acima envolvem a determinação das cargas térmicas nos estágios iniciais de projeto dos produtos/sistema de várias fontes, tais como:

1. Carga do produto: Calor introduzido pelos itens que estão sendo refrigerados ou congelados;
2. Carga de transmissão: Transferência de calor pelas paredes, tetos e pisos;
3. Carga de infiltração: Ganho de calor do ar (troca) que entra no espaço com temperatura condicionada através de aberturas;
4. Carga dos equipamentos: Calor gerado pelas luzes, ventiladores e máquinas dentro do espaço com temperatura condicionada; e
5. Carga das pessoas: Calor produzido pelas pessoas que estão trabalhando na área.

5.4.1 **Carga de refrigeração e aquecimento**

Para selecionar o tamanho do equipamento (capacidade de refrigeração/aquecimento), é importante saber qual é a carga térmica necessária de refrigeração ou aquecimento da aplicação. Ou seja, é preciso definir o aquecimento necessário que precisa ser subtraído ou acrescentado para manter o espaço condicionado na temperatura e na umidade específicas. A carga devida a mudanças de temperatura é conhecida como carga sensível, enquanto a carga devida a mudanças na umidade é a carga latente. Especificamente, é a quantidade de energia necessária para provocar uma mudança de fase (para os fins deste documento, de líquido para gás, ou de gás para líquido) sem mudar a temperatura real de uma substância (veja a Figura 62).

Figura 62 – Diagrama de temperatura/entalpia da água



Fonte: HEAT GmbH.

No diagrama de temperatura/entalpia da água, podemos ver o consumo de calor para mudanças de temperatura e mudanças de estado de agregação. O calor que deve ser acrescentado ou removido para alterar a temperatura de uma substância é chamado de calor sensível. O calor necessário para mudar o estado da matéria é chamado de calor latente.

Pode-se ganhar ou perder calor por condução, convecção e radiação. Além disso, quando se analisa um volume que não está totalmente contido (ou seja, existe uma massa entrando ou saindo, como fluxo de ar, fluxo de água, produtos refrigerados ou congelados, etc.), isto deve ser levado em consideração na hora

de calcular a carga térmica. A Figura 63 mostra um exemplo de interações de calor (que ilustram o tema "carga térmica de refrigeração") entre uma sala e o ambiente, que podem ser resumidas da seguinte forma:

- **Transmissão de calor ($\dot{Q}_{trans}$)**: Transferência de calor pelas paredes, piso, telhado, janela de vidro, duto de ar condicionado, etc. Vai depender principalmente da diferença de temperatura entre o ambiente interno/externo, condutividade térmica da parede, coeficiente de transferência de calor de convecção entre o ambiente interno e externo, espessura da parede e área transversal.

- **Radiação ($\dot{Q}_{rad}$) :** Por exemplo, o calor radiante do sol, que aquece o interior através das janelas e aquece as paredes externas. Logo, é importante saber a orientação da edificação ou de qualquer outro espaço afetado por esse tipo de transferência de calor.

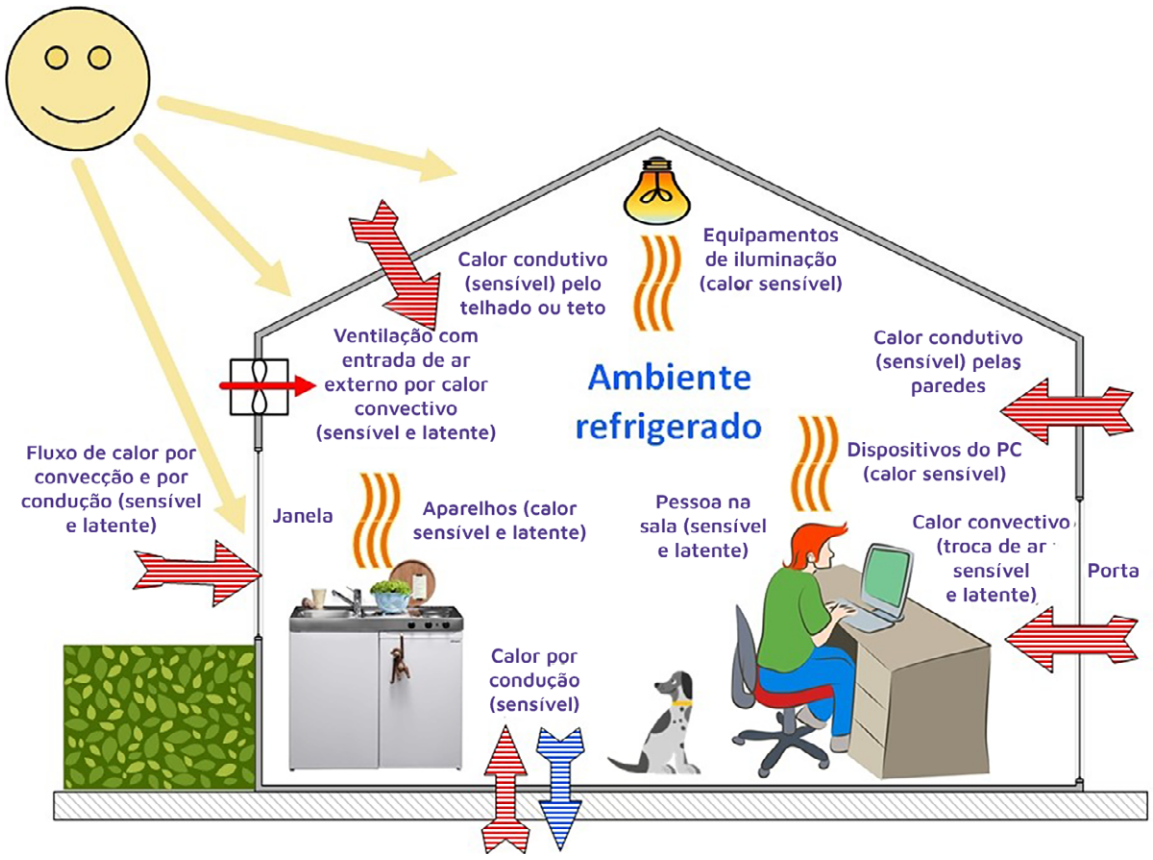
- **Calor gerado internamente ($\dot{Q}_{gen}$):** Depende:
  - Da ocupação do prédio, como o número de pessoas, a agenda e o tipo de atividade (calor sensível e latente). Parte do calor sensível é transferido por radiação; e
  - Dos aparelhos como computadores, eletrodomésticos de cozinha, geladeiras, etc. (calor sensível e latente, conforme o equipamento/atividade). Parte do calor sensível é transferido por radiação.

- **Troca de ar ($\dot{Q}_{air}$):** Como infiltração de ar (janela, porta, etc.) e ventilação. Pode ser exigida uma troca mínima de ar para manter a qualidade do ar. Vai depender do tipo de sala, ocupação, etc. Deve-se considerar tanto o calor sensível quanto o latente no cálculo de carga térmica. O calor sensível está relacionado à diferença de temperatura do ar, enquanto o calor latente refere-se a alterações na umidade (por exemplo, desumidificação ou umidificação).

- **Processo ($\dot{Q}_{prod}$):** Carga para tráfego humano ou de produtos trazidos de fora a uma temperatura diferente. Essa carga pode ser grande em aplicações de câmaras frigoríficas. Alguns produtos, como frutas e legumes, além do calor sensível devido à diferença de temperatura, também geram calor pela respiração.

A contribuição das diferentes interações de calor para a carga total depende das condições do ambiente e do tipo de aplicação. Por exemplo: em um sistema de ar condicionado, a expectativa é que a carga interna seja maior que a carga devido à troca de ar (aparelho de ar condicionado do tipo split). Por outro lado, a expectativa é que a carga de troca de ar seja maior em aplicações de ar condicionado devido às regulações de ventilação e aos esforços de manter o ar interno a uma determinada temperatura e umidade para conforto das pessoas.

Figura 63 – Conceito de carga interna (esse diagrama mostra a situação para refrigeração)



Fonte: Rolf Huehren.

5.4.2 **Cálculo da carga térmica de refrigeração/aquecimento**

Existem vários métodos para calcular a carga térmica de refrigeração/aquecimento, desde cálculos simples, que podem ser feitos à mão até cálculos de transientes detalhados feitos por *software*, que consideram a condição a cada hora e detalhada geometria. Há também inúmeras diretrizes que fornecem métodos de cálculo de carga térmica para considerar as diferentes cargas de radiação, pessoas, ventilação, etc. e o efeito disso ao longo do tempo. Por exemplo: diretrizes alemãs VDI 2078 (norma VDI 2078) e *Handbook of Fundamentals* (Manual de princípios básicos) da Sociedade Americana ASHRAE (ASHRAE, 2021).

Quanto mais exato o método, melhores as decisões tomadas na hora de selecionar um equipamento de AVAC-R. No entanto, embora um *software* complexo ofereça resultados mais exatos, ele pode exigir o fornecimento de dados detalhados para produzir resultados com baixo grau de incerteza; caso contrário, todo o esforço para construir um modelo detalhado pode ser em vão.

Esta seção apresenta as equações básicas que podem ser usadas para calcular a carga térmica de refrigeração/aquecimento para diferentes aplicações.

[5] Os países incluem uma troca de ar mínima (geralmente no volume da sala por hora) para diferentes situações em suas regulamentações e normas. Sendo assim, as exigências podem mudar de um país para outro. Para referência como regra geral, pode-se usar a seguinte lista: https://www.engineeringtoolbox.com/air-change-rate-room-d_867.html

A carga térmica total de refrigeração pode ser calculada da seguinte maneira:

$$\dot{Q}_{load} = \dot{Q}_{trans} + \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{gen} + \dot{Q}_{air} + \dot{Q}_{proc}$$ **Equação 1**

Você pode obter mais informações, por exemplo,do *software CoolPack*: https://www.ipu.dk/products/coolpack/

O *CoolPack* é um programa *freeware* (distribuído gratuitamente).

O *CoolPack* foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Mecânica (MEK), Seção de Energia Térmica (TES) da Universidade Técnica da Dinamarca (DTU). O desenvolvimento do CoolPack foi financiado pela Agência Dinamarquesa de Energia como parte do projeto SysSim até a versão 1.33. A IPU hospeda as páginas de *download* do *CoolPack*.

As seguintes finalidades de simulação são cobertas:

- Análise do ciclo (*design* de processo);
- Dimensionamento do sistema;
- Simulação do sistema;
- Cálculos de componentes;
- Análise de condições de operação;
- Simulação transiente (refrigeração de um objeto/sala);
- Cálculos de fluidos refrigerantes (plots de propriedade, propriedades termodinâmicas e de transporte, e comparação de fluidos refrigerantes); e
- Custo do ciclo de vida (CCV).

5.4.3 **Carga de refrigeração: câmara frigorífica**

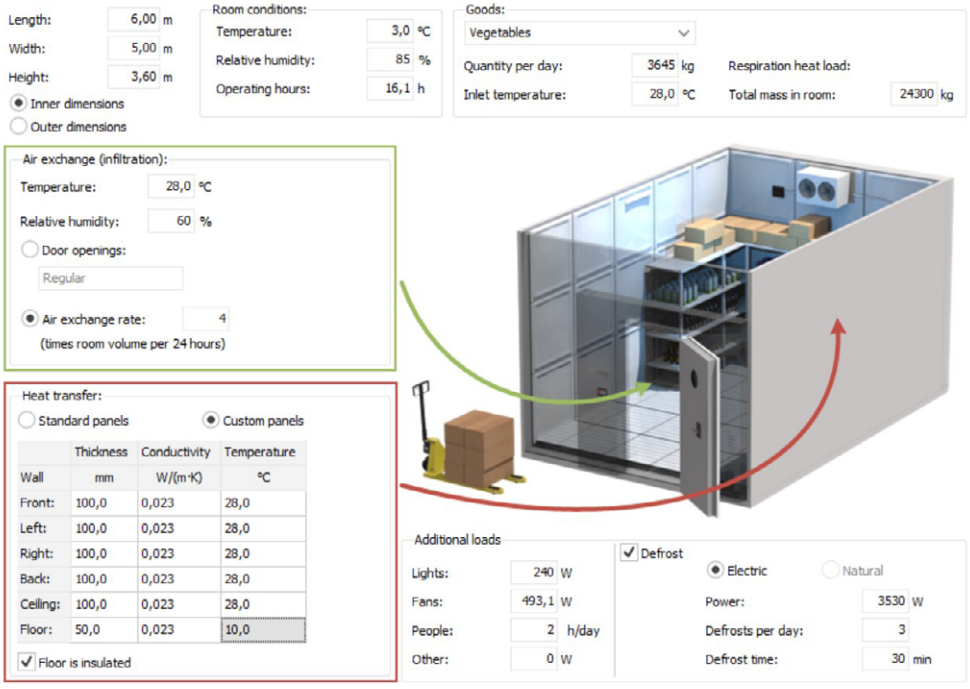
Neste exemplo, a capacidade de refrigeração é calculada para uma câmara frigorífica. O cálculo será feito manualmente e comparado com os resultados obtidos com dois *softwares* que podem ser baixados de graça: Coolselector2,da *Danfoss*, e *Coolpack*, da IPU.

A Figura 64 mostra todas as condições necessárias para calcular a carga térmica de refrigeração com o Coolselector2. As mesmas informações foram usadas no *software Coolpack* (veja a Figura 65). As características da câmara frigorífica são as seguintes:

- Armazena 24.300 kg de legumes, sendo que todo dia 3.645 kg são substituídos por produtos frescos que chegam em temperatura ambiente;
- Condições internas: 3 °C e 85% de umidade relativa;
- Condições externas: temperatura ambiente de 28 °C e 60% de umidade relativa (a temperatura do solo é de 10 °C);
- O tamanho da sala é de 6,0 x 5,0 x 3,6 metros (C x L x A);
- A condutividade térmica é de 0,023 W/(mK), com 100 mm de espessura nas paredes e no telhado, e 50 mm para o piso;

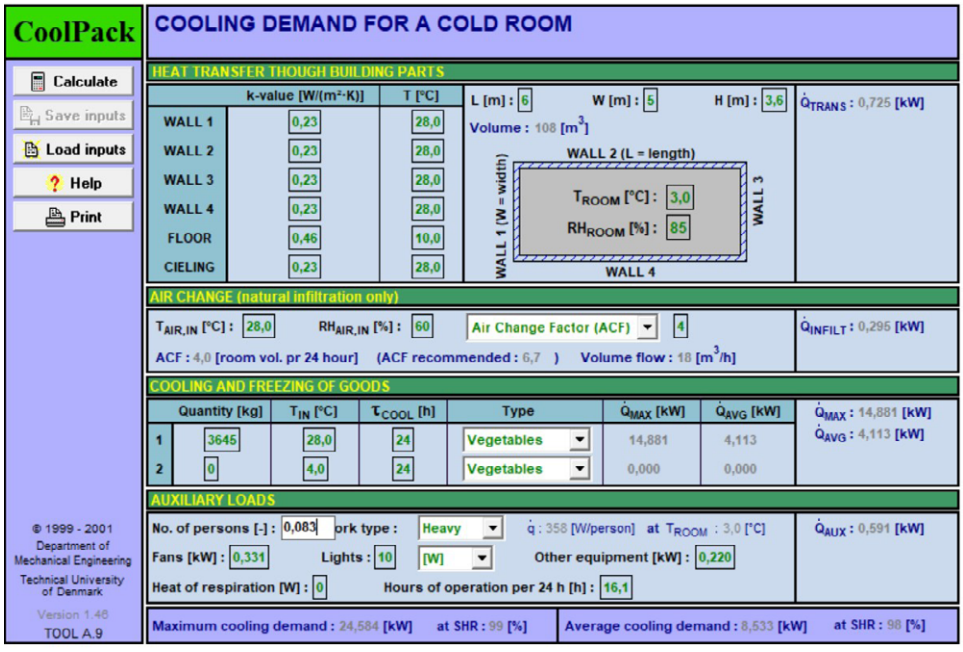
- Ocupação: duas pessoas trabalham uma hora por dia. As luzes só ficam acesas quando as pessoas estão trabalhando (240 W);
- Infiltração de ar: Quatro vezes o volume da sala por 24 horas;
- Horas de operação estimadas: 16,1 horas (ventilador 493,1 W, e degelo 3.530 W 1,5 hora por dia); e
- A carga devida à radiação é descartada, já que ela é considerada uma câmara frigorífica interna.

Figura 64 – Cálculo da carga de refrigeração para uma câmara frigorífica com o CoolSelect2 da Danfoss



Fonte: Danfoss.

Figura 65 – Cálculo da carga de refrigeração para uma câmara frigorífica com o CoolPack da IPU



Fonte: IPU.

A carga térmica de refrigeração pode ser calculada manualmente da seguinte maneira:

1. Perda de calor na transmissão - Carga de transmissão

As paredes verticais e o teto têm 100 mm de espessura, enquanto o piso tem 50 mm de espessura com uma temperatura de 10 °C. Todas as paredes são feitas de painéis de poliuretano com condutividade térmica λ de 0,023 W/(mK). Se a resistência térmica devido à convecção for ignorada (veja a Equação 3), o coeficiente geral de transferência de calor para as paredes verticais e o teto será de 0,23 W/(m₂K), e para o piso será de 0,46 W/(m₂K). As diferenças de temperatura são sempre indicadas em Kelvin (K).As perdas de calor na transmissão podem ser calculadas com a Equação 2:

$$\dot{Q}_{trans} = \sum_{i=1}^{n} U_i \cdot A_i \cdot \Delta T$$

Equação 2

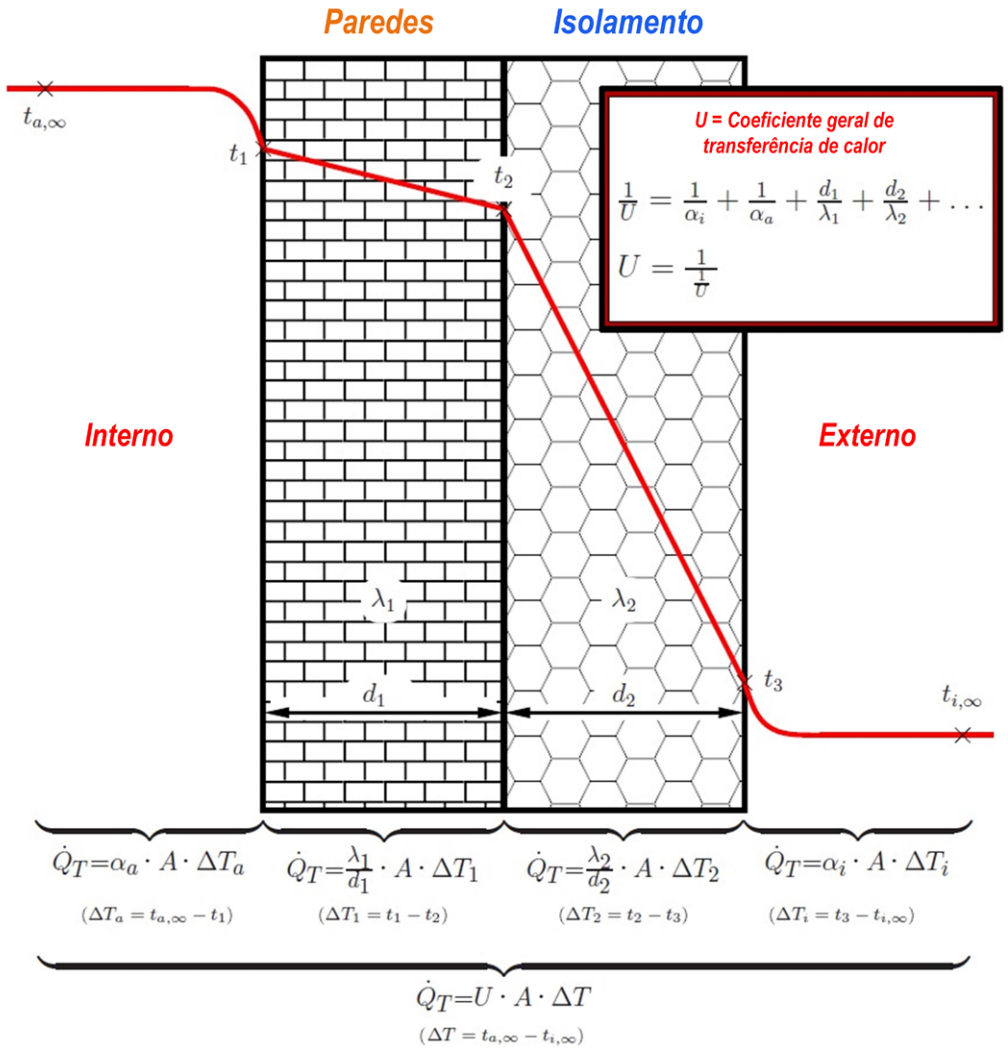
$$\dot{Q}_{trans} = 2\cdot(0.23\cdot5\cdot3.6\cdot(301-267))+2\cdot(0.23\cdot6\cdot3.6\cdot(301-267))+0.23\cdot5\cdot6\cdot(301-267)+0.46\cdot5\cdot6 \cdot(238-267) = 724.5\ W$$

A pressuposição é que o sistema de refrigeração funcionará 16,1 horas por dia, então a capacidade necessária para superar as perdas de calor na transmissão será de 1.080 W (1,08 kW). A Figura 66 mostra exemplarmente a perda de calor por transmissão $(\dot{Q}_{trans})$ através de uma parede de várias camadas com isolamento.

Observação: Deve-se prestar atenção, especialmente, na condutividade térmica e no coeficiente geral de transferência de calor. Alguns fabricantes de painéis informam ambos os parâmetros. Embora a condutividade térmica não dependa da espessura, o coeficiente geral será diferente conforme a espessura do painel. O Coolselector2 precisa saber a condutividade térmica (W/(mK)) e a espessura dos painéis em mm, enquanto o Coolpack precisa saber o coeficiente geral de transferência de calor em W/(m2K).

A é a área transversal da superfície *A* em m² e *U* é o coeficiente geral de transferência de calor para a parede referente à superfície A em W/(m²K) (veja Equação 3), que depende do coeficiente de transferência de calor por convecção interna e externa *h* $(ou\ \alpha_a\ e\ \alpha_i)$ em W/(m²K), a condutividade térmica λ para cada camada de parede em W/(mK), e a espessura da parede d de cada camada. *ΔT* é a diferença de temperatura $(T_{out} - T_{in})$ em *Kelvin* (K).

Figura 66 – Fluxo de calor através da transmissão – Exemplo de parede de várias camadas



Fonte: Vocational School Leonberg.

$$U = \frac{\dot{Q}_{Trans}}{A \cdot \Delta T}$$

Equação 3

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \cdots$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U}}$$

Em que:

$\dot{Q}_{Trans}$	Fluxo de calor através da transmissão em W	ΔT_i	Diferença de temperatura interna em K
A	Superfície da parede em m²	ΔT_a	Diferença de temperatura externa em K
$t_{a,\infty}$	Temperatura a uma grande distância da parede, em °C	α_a	Coeficiente de transferência de calor por convecção, externo em W/m² x K
t_1	Temperatura no ponto 1 em °C	α_i	Coeficiente de transferência de calor por convecção, interno em W/m² x K
t_2	Temperatura no ponto 2 em °C	λ_1	Coeficiente de condutividade térmica, camada 1 em W/m x K
t_3	Temperatura no ponto 3 em °C	λ_2	Coeficiente de condutividade térmica, camada 2 em W/m x K
$t_{i,\infty}$	Temperatura a uma grande distância da parede, em °C	d_1	Espessura da parede, camada 1 em m
ΔT_1	Diferença de temperatura da camada 1 em K	d_1	Espessura da parede, camada 2 em m
ΔT_2	Diferença de temperatura da camada 2 em K	U	Coeficiente de transferência de calor em W/m² x K

Quanto menor a condutividade térmica (melhor isolamento) e o coeficiente de transferência de calor por convecção, menor será a transferência geral de calor e a carga de refrigeração/aquecimento Muitas vezes, por motivos práticos, a resistência térmica devido à convecção $(1/h\ ou\ (1/ou\ \alpha_a\ e\ \alpha_i)$) pode ser ignorada (cálculo conservador).

As propriedades térmicas do vidro, das portas, das paredes, do isolamento, do telhado etc. podem ser conhecidas dos fornecedores de materiais de construção ou seus valores típicos também podem ser encontrados nos manuais de ar condicionado (por exemplo, Norma VDI 2078, ASHRAE, 2017) ou em outras fontes.

2. Carga de processo – Entrada de mercadorias

A carga do processo $\dot{Q}_{proc}$ pode ser calculada com a Equação 4.

$$\dot{Q}_{proc} = \frac{m_{prod}}{t} \cdot Cp_{prod} \cdot (T_{initial} - T_{in}) + \dot{Q}_{resp} \quad \textbf{Equação 4}$$

Em que:

m_{prod} é a massa dos produtos a serem processados, em kg;

$T_{initial}$ é a temperatura na qual os produtos são introduzidos dentro do espaço climatizado;

Cp_{prod} é o calor específico do produto a ser processado em kJ/(kgK);

t é o tempo necessário para produzir a mudança de temperatura nos produtos

$\dot{Q}_{resp}$ é a carga de calor devido à respiração de alguns produtos que são considerados "vivos", como frutas e vegetais.

Essa carga é particularmente importante em câmaras frigoríficas, máquinas de fazer gelo, etc.

3. Infiltração de ar

A carga devido à infiltração e à ventilação $\dot{Q}_{air}$ pode ser calculada com a Equação 5:

$$\dot{Q}_{air} = \frac{V_{air} \cdot \rho_{out,air}}{t} \cdot (h_{out} - h_{in})$$

Em que:
h refere-se à entalpia específica do ar externo e interno em kJ/kg;
$\rho_{out,air}$ é a densidade do ar externo em kg/m³;
V_{air} é o volume de ar trocado entre a área externa e a interna em m³;
t é o tempo considerado para resfriar o volume de ar.

O volume de ar geralmente é dado como um número de volumes de sala por 24 horas. Portanto, nesse caso, *t* pode ser as 24 horas expressas em segundos ou o tempo de operação do compressor durante as 24 horas consideradas para saber a capacidade de refrigeração necessária devido à infiltração de ar e à ventilação.

4. Calor interno gerado

Nesse caso, o calor interno gerado vem de:

- **Pessoas:** Conforme o manual da ASHRAE (ASHRAE, 2017), o ganho de calor gerado por uma pessoa realizando um trabalho pesado é de 470 W, considerando tanto o calor sensível quanto o latente. Sendo assim, se considerarmos duas pessoas trabalhando uma hora por dia dentro de uma câmara frigorífica, a energia por dia será de 940 Wh. Considerando que o sistema de refrigeração funciona 16,1 horas por dia, **a capacidade média desejada para superar o calor gerado pelas pessoas será de 58,4 W, ou 0,06 kW.**
- **Iluminação:** A luz ficará acesa apenas quando houver algum trabalhador dentro da câmara frigorífica, isto é, uma hora por dia. **A capacidade necessária para compensar o calor gerado pela iluminação será de 15 W, ou 0,015 kW.**
- **Ventiladores:** Os ventiladores dos evaporadores produzem calor na câmara frigorífica. O consumo de energia dos ventiladores é de 493,1 W. **Como eles funcionam apenas quando o sistema de refrigeração está funcionando, a capacidade necessária para compensar o calor dos ventiladores é de 0,49 kW.**
- **Degelo:** A potência do sistema de degelo é de 3,53 kW; ele é usado três vezes por dia, 30 minutos por vez. A energia por dia será de 5,30 kWh. Considerando que o sistema de refrigeração funciona 16,1 horas por dia, **a capacidade necessária para compensar o calor gerado pelo sistema de degelo será de 0,33 kW.**

A carga total de refrigeração em decorrência do calor interno gerado será de 0,90 kW.

Observação 1: Esses dados podem ser informados de forma diferente, dependendo do *software*. Por exemplo: o ganho de calor gerado por uma pessoa é calculado pelo *software*, mas, enquanto no *Coolselector2* o número total de horas trabalhadas é informado (duas horas no total, uma hora com duas pessoas), no *Coolpack* é necessário informar o número de pessoas e o tipo de trabalho. Para considerar o trabalho de duas horas no *Coolpack*, foi selecionado 0,083 trabalhador (2/24).
Observação 2: O *Coolpack* considera que os ventiladores dos evaporadores funcionam por 24 horas. Portanto, os dados informados foram modificados para levar em conta somente o tempo de funcionamento do sistema de refrigeração (16,1 horas).
Observação 3: O ganho de calor gerado pelo degelo foi informado na opção *Other equipment* (Outros equipamentos) no *Coolpack*.

5. Troca de ar por infiltração

Foi considerada uma infiltração de ar no volume de quatro salas por dia. Com um volume de sala de 108 m^3, a troca de ar por dia será de 432 m^3, passando do estado 1 para o estado 2, sendo estado 1 as condições externas, e estado 2 as condições internas. Para calcular o calor ganho por infiltração de ar, é usado o diagrama psicométrico (veja a Figura 67). Os pontos internos e externos são definidos pela condição de temperatura (temperatura de bulbo seco) e pela umidade relativa. Os parâmetros a seguir podem ser obtidos no diagrama psicométrico:

- A densidade do ar externo fica em torno de 1,16 kg/m^3 (volume específico: 0,87 m^3/kg de ar seco);
- A entalpia específica das condições externas fica em torno de 64,7 kJ/kg;
- A entalpia específica das condições internas fica em torno de 13,0 kJ/kg;
- A proporção de umidade para condições externas fica em torno de 14,31 g/kg de ar seco;
- A proporção de umidade para condições internas fica em torno de 4,00 g/kg de ar seco; e
- A entalpia específica para desumidificação fica em torno de 38,4 kJ/kg.

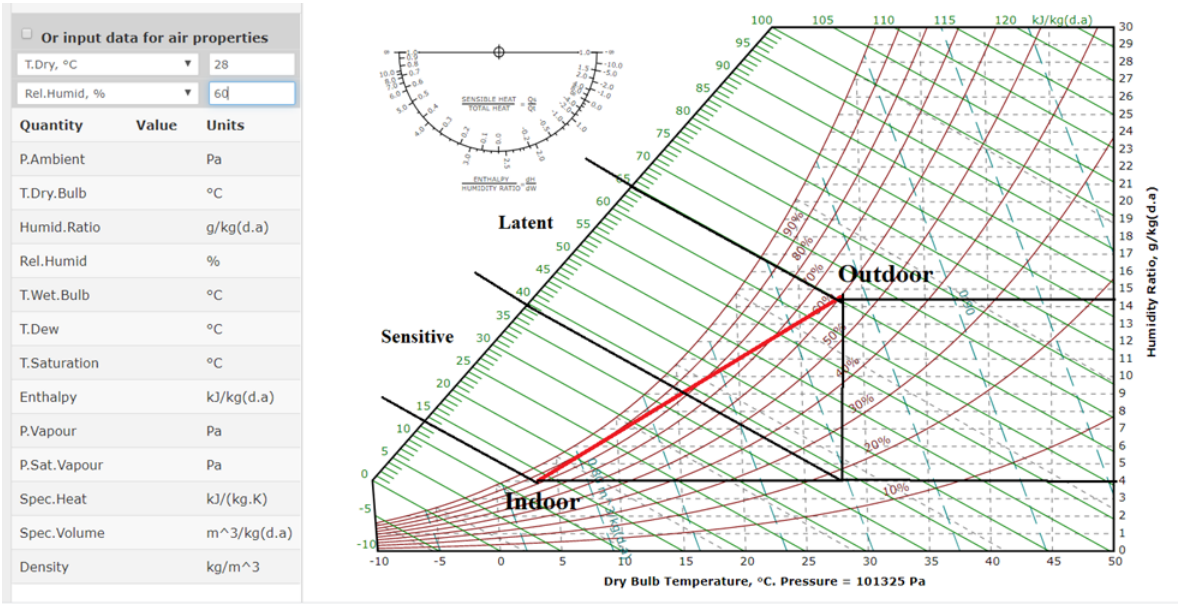
Considerando isso, e aplicando a Equação 5, **a carga sensível por infiltração é de 0,22 kW, a carga latente é de 0,23 kW, e a carga total por infiltração é de 0,45 kW.**

Observe que cerca de 50% da carga de infiltração corresponde ao calor latente. Ainda que a umidade relativa interna seja mais alta que a umidade relativa externa, a proporção de umidade externa é mais alta, o que significa que o vapor d´água foi removido durante o processo de refrigeração.

Observação 1: O nível de umidade dentro da sala depende da infiltração (troca de ar), da diferença de temperatura na superfície do evaporador, e do tempo de funcionamento do sistema de refrigeração (desumidificação). O *Coolselector2* consegue estimar o tempo de operação do compressor de acordo com as condições de entrada e saída. Em geral, quanto mais alta a desumidificação, maior o tempo de operação do sistema de refrigeração.

Observação 2: Em alguns casos, outros parâmetros podem ser fornecidos para definir as condições internas e externas. Por exemplo, é comum fornecer a "temperatura de bulbo seco" e a "temperatura de bulbo úmido".

Figura 67 – Pontos de ar internos e externos mostrados em um diagrama psicométrico



Fonte: Flycarpet.

6. Carga do produto

A sala contém 24.300 kg de legumes. Todo dia, 3.645 kg são substituídos por produtos frescos que chegam em temperatura ambiente. De acordo com o manual da ASHRAE (ASHRAE, 2017), o calor específico da cebola é de 3,95 kJ/(kgK). Logo, **a carga para trazer as cebolas de 28 °C para 3 °C por 16,1 horas de operação é de 6,21 kW.**

Além disso, como as frutas e os legumes são considerados vivos, a quantidade total de cebolas dentro da câmara frigorífica acrescenta calor através da respiração. De acordo com o manual da ASHRAE (ASHRAE, 2017), a estimativa de g**eração de calor através da respiração para os 24.300 kg de cebolas é de 260 W, o que corresponde a uma carga de 0,39 kW para um tempo de operação de 16,1 horas.**

Logo, **a carga total decorrente da presença de produtos na câmara frigorífica é de 6,60 kW.**

Observação: Se o tempo necessário para resfriar as cebolas for menor do que o tempo de operação, o sistema de refrigeração precisa ser projetado de acordo, isto é, a capacidade de refrigeração deve ser suficiente para resfriar os produtos no tempo necessário.

A Tabela 23 mostra a comparação da carga de refrigeração entre o cálculo manual e os resultados produzidos pelo *Coolselect2* e pelo *Coolpack*. Esses resultados foram calculados considerando que o compressor fique em operação por 16,1 horas. A carga em termos de energia (kWh) por dia também é mostrada.

A conclusão dos três métodos é parecida, com carga total de refrigeração em torno de 9 kW (tempo de operação de 16,1 horas). Mais de 2/3 da carga corresponde ao resfriamento dos produtos. Podem ser observadas pequenas diferenças em algumas partes por conta de diferentes pressuposições. As maiores discrepâncias estão na carga decorrente da respiração das cebolas. Esse resultado não aparece no *Coolpack*, e é estimado para legumes em geral no *CoolSelector2*. Além disso, é importante ajustar as informações fornecidas de acordo com os requisitos de cada *software* para conseguir resultados mais exatos.

Tabela 23 – Comparação da carga de refrigeração entre o cálculo manual e os resultados produzidos pelo Coolselect2 e pelo Coolpack

	Manual	*Coolselector2*	*Coolpack*
Tipo de carga	Carga de refrigeração [kW]	Carga de refrigeração [kW]	Carga de refrigeração [kW]
Transmissão	1,08	1,02	1,08
Pessoas	0,06	0,03	0,04
Iluminação	0,02	0,03	0,02
Ventiladores	0,49	0,49	0,49
Degelo	0,33	0,30	0,33
Infiltração	0,45	0,44	0,44
Resfriamento de produtos	6,21	6,12	6,13
Respiração de produtos	0,39	0,76	0
Gelo no evaporador	0	0,03	0
Total (tempo de operação do compressor)	9,03	9,22	8,53
Tempo de operação em horas [h]	16,1	16,1	16,1
Carga em kWh por dia	145,4 kWh	148,4 kWh	137,3 kWh

Fonte: Rolf Huehren.

5.4.4 Tempo de operação projetado em sistemas de AVAC-R

O tempo de operação de um sistema de AVAC-R é o número de horas que ele funciona por dia. Por exemplo: para o projeto do sistema de refrigeração, pressupõe-se 16 h/d para o tempo de operação de câmaras frigoríficas e 18 h/d para salas com freezers ou armazenamento de congelados. Em tese, isso resulta em uma reserva de capacidade de até 24 h/d.

$$\dot{Q}_0 = \dot{Q} \cdot \frac{24\,h}{\tau}$$

Em que:

$\dot{Q}_0$	Capacidade de refrigeração	kW
$\dot{Q}$	Soma das cargas de calor da carga de refrigeração já existente	kWh/d
τ	Tempo de operação do sistema projetado	h/d

ou:

$$\dot{Q}_0 = \frac{\dot{Q}}{\tau \cdot 3.600}$$

Em que:

$\dot{Q}_0$	Capacidade de refrigeração	kW
$\dot{Q}$	Soma das cargas de calor da carga de refrigeração já existente	kJ/d
τ	Tempo de operação do sistema projetado	h/d

Os valores planejados para o tempo de operação do compressor em sistemas de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R) dependem da aplicação e do tipo do sistema.

As diretrizes gerais são as seguintes:

1. **Refrigeração comercial e industrial:**
- Câmaras frigoríficas cerca de 16 h/d;
- Freezers 18 h/d;
- Resfriamento instantâneo significa resfriar alimentos, por exemplo, em 2 °C, em até 90 minutos;
- Congelamento instantâneo significa congelar alimentos, por exemplo, em -18 °C, em até três horas; e
- Outros tempos de operação serão obtidos conforme a aplicação.

2. **Ar condicionado confortável:**
- Refrigeração de prédios (como escritórios e prédios residenciais) de 6 a 12 horas por dia, dependendo dos padrões de uso e das temperaturas externas.

3. **Bombas de calor:**
- Aplicações de aquecimento;

- De 6 a 12 horas por dia, dependendo dos padrões de uso e das temperaturas externas; e
- Produção de água quente para residências de duas a quatro horas por dia, dependendo do consumo de água quente e da capacidade de armazenamento.

4. **Resfriamento de processos:**
- Aplicações industriais; e
- De oito a 24 horas por dia, dependendo dos cronogramas de produção e de requisitos específicos de refrigeração.

Fatores que influenciam o tempo de operação do compressor (sistema):
- Em geral, o tempo de operação do sistema depende do valor projetado;
- Flutuações na demanda por refrigeração ou aquecimento afetam os tempos de operação;
- Condições sazonais do ambiente externo afetam os tempos de operação;
- Sistemas sem a manutenção apropriada podem operar de modo ineficiente e exigem tempos mais longos de operação; e
- Sistemas de controle: Tecnologias modernas de controle, como inversores de frequência com velocidade variável, podem otimizar a operação do compressor e garantir os tempos de operação exigidos/projetados.

5.5 Fluidos refrigerantes

Conforme a ABNT NBR ISO 5149-1, um fluido refrigerante é um fluido usado para transferência de calor em um sistema de refrigeração, que absorve calor a uma temperatura e pressão baixas do fluido e o expele a uma temperatura e pressão mais altas do fluido geralmente envolvendo mudanças na fase do fluido. Os fluidos refrigerantes são listados na norma ISO 817. Historicamente, o desafio dos setores de AVAC-R é a transição para novas tecnologias usando apenas fluidos refrigerantes não prejudiciais ao meio ambiente.

A função mais importante dos lubrificantes nos sistemas de refrigeração é reduzir a fricção e o desgaste no compressor, garantindo uma operação suave e eficiente. Sem a lubrificação adequada, o compressor pode se superaquecer e falhar prematuramente, comprometendo o desempenho e a confiabilidade de todo o sistema. Os requisitos mínimos da norma alemã estão descritos na DIN 51503-1-12, Lubrificantes - Óleos de refrigeração - Parte 1: Requisitos mínimos. Essa norma é aplicável a óleos usados em compressores de refrigeração para lubrificação e refrigeração e àqueles expostos a fluidos refrigerantes líquidos e gasosos. Com o desenvolvimento, foram inventados compressores sem óleo, como o Turbocor da Danfoss.

5.5.1 Fluidos refrigerantes primários

Os fluidos refrigerantes primários (naturais ou sintéticos) são aqueles usados como fluidos refrigerantes de transferência de calor, por exemplo, em sistemas de refrigeração com compressão a vapor. Os fluidos refrigerantes primários transportam entalpia (isto é, energia de calor) do espaço refrigerado para o meio ambiente.

Quando usados em um circuito de compressão a vapor (ou sistemas de absorção), esses fluidos proporcionam refrigeração passando por um processo de mudança de fase no evaporador e no condensador.

Os fluidos refrigerantes primários para sistemas de refrigeração podem ser divididos em dois grupos: substâncias orgânicas e suas misturas; e fluidos refrigerantes inorgânicos. As substâncias orgânicas contêm carbono, enquanto os fluidos inorgânicos não contêm, com exceção do CO_2 usado como fluido refrigerante.

- As **substâncias orgânicas** são produzidas em fábricas e contêm átomos de carbono (símbolo químico: C) e de hidrogênio (H). No caso dos HFCs, os átomos de hidrogênio são substituídos por átomos de flúor (F); e
- As **substâncias inorgânicas** são compostos que não contêm átomos de carbono. Por exemplo: o R-717 (NH_3) consiste em um átomo de nitrogênio (N) e três átomos de hidrogênio (H).

Existe um número muito grande de fluidos refrigerantes primários, mas o número usado na prática é bem menor. Alguns fluidos refrigerantes são apenas experimentais; outros foram proibidos ou são usados para a criação de misturas *(blends)* de fluidos refrigerantes.

A lista completa de substâncias usadas como fluidos refrigerantes está disponível no website da ASHRAE[6].

O fluido refrigerante certo deve ser selecionado para a operação eficiente do sistema de refrigeração. Atualmente, existem altos padrões para as propriedades dos fluidos refrigerantes, que devem observar os seguintes critérios:

1. Apresentar alta condutividade térmica;
2. Ter ebulição abaixo da temperatura-alvo;
3. Ter alta temperatura crítica;
4. Não apresentar variações de temperatura;
5. Não ter Potencial de Destruição do Ozônio (PDO);
6. Não provocar efeito estufa (GWP baixo ou zero);
7. Ter compatibilidade com lubrificantes;
8. Apresentar temperatura de evaporação específica alta;
9. Ter alta capacidade volumétrica de refrigeração; e
10. Ter boa disponibilidade.

Apesar de suas propriedades de inflamabilidade, os fluidos refrigerantes avançados como os hidrocarbonetos (ex.: R-290, R-600a), HFC R-32, e HFOs, como R-1234yf e R-1234ze (E), estão cada vez mais substituindo os fluidos refrigerantes tradicionais predominantes com alto GWP e PDO (ex.: HCFC R-22, HFC R-407C, HFC R-410A, etc.).

Por exemplo, o HC R-600a passou a ser o fluido refrigerante padrão com aceitação global para geladeiras nos últimos anos, e o HC R-290 e o HFC R-32 são cada vez mais usados para aparelhos de ar condicionado unitários e do tipo split. O R-600a e o R-290 preenchem todos os requisitos para o futuro. Isso porque as normas de segurança internacionais relevantes estão sendo sempre atualizadas e definem as regras e as pré-condições para a aplicação dessas substâncias.

[6] https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/ashrae-refrigerant-designations

A maioria dos fluidos refrigerantes são gasosos na pressão ambiente, então esses fluidos refrigerantes são armazenados sob pressão e se liquefazem em vasos de pressão especialmente designados. Destaca-se que somente pessoal tecnicamente qualificado devem comprar e usar fluidos refrigerantes.

5.5.1.1 **ABNT NBR 16666 – Classificação de segurança dos fluidos refrigerantes**

A norma ABNT NBR 16666 (Fluidos refrigerantes - Designação e classificação de segurança) estabelece um sistema para atribuir uma classificação de segurança a fluidos refrigerantes conforme dados de toxicidade e inflamabilidade (veja a Figura 68). A classificação de segurança destina-se a determinar como o fluido refrigerante será usado, por exemplo: sua aplicação em espaços ocupados ou a quantidade máxima de carga permitida para espaços confinados.

A classificação de segurança consiste em dois caracteres alfanuméricos, onde a letra indica a toxicidade e o número indica a inflamabilidade.

Figura 68 – Classificação do grupo de segurança dos fluidos refrigerantes (de acordo com a ABNT NBR 16666)

			Grupo de segurança	
Aumento da inflamabilidade	**maior inflamabilidade**		**A3**	**B3**
	menor inflamabilidade	velocidade de propagação da chama > 10 cm/s	A2	B2
		velocidade de propagação da chama ≤ 10 cm/s	A2L	B2L
			A1	A1
			menor grau de toxicidade	maior grau de toxicidade
			AUMENTO DA TOXICIDADE >	

Fonte: Stefanie von Heinemann, de acordo com a norma ABNT NBR 16666.

A Tabela 24 mostra uma seleção de números de fluidos refrigerantes aprovados pela norma ABNT NBR 16666. Fluidos refrigerantes com um único componente, como R-22, R-32, R-134a, R-290 ou R-600a, possuem apenas uma molécula em suas estruturas químicas, então eles evaporam e condensam a uma temperatura constante para determinada pressão.

Tabela 24 – Resumo dos fluidos refrigerantes mais usados

Grupo		Comentários	ABNT NBR 16666	Classe de segurança	PDO	GWP	Variação	Composição	[1]t_0 em °C
Fluidos refrigerantes orgânicos	CFC	Proibidos ([2]halogenado)	R-502	A1	0,25	4.657	Azeótropo	22/ 115	-46
			R-11	A1	1	4.750	Substância única		24
			R-12	A1	1	10.900			-29,8
	HCFC	Em eliminação ([2]halogenado)	R-22	A1	0,055	1.810			-41
			R-141b		0,12	2.310			32
			R-401A	A1	0,03	1.182	4,9	22/152a/124	-33
			R-408A	A1	0,023	3.152	0,5	22/125/143a	-44
			R-409A	A1	0,046	1.585	6,4	22/124/142b	-34
	HFC	Fluidos refrigerantes predominantes ([2]halogenado)	R-32	A2L	0	675	Substância única		-52
			R-134a	A1	0	1.430			-26,3
			R-143a	A2L	0	4.470			-47,6
			R-507	A1	0	3.980	Azeótropo	125/143a	-46,7
			R-513A	A1	0	631		1234yf/134a	-29,2
			R-404A	A1	0	3.920	0,7	125/134a/143a	-46,5
			R-407A	A1	0	2.107	6,4	32/125/134a	-46
			R-407C	A1	0	1.744	7,2	32/125/134a	-43,8
			R-407D	A1	0	1.630	6,7	32/125/134a	-39,5
			R-407F	A1	0	1.825	6,4	32/125/134a	-45,5
			R-410A	A1	0	2.090	0,2	32/ 125	-52,3
			R-422D	A1	0	2.729	3,4	125/134a/600a	-45
			R-452A	A1	0	2.140	3,7	32/125/1234yf	-47
			R-452B	A2L	0	676	0,9	32/125/1234yf	-51
			R-454A	A2L	0	238	5	32/1234yf	-48,3
			R-454B	A2L	0	467	1,5	32/1234yf	-50,9
			R-454C	A2L	0	146	6	32/1234yf	-45,9
			R-455A	A2L	0	145	12,4	32/1234yf/744	-52,1
			R-456A	A1	0	687	5,4	32/134a/1234ze(E)	-30,8
			R-457A	A2L	0	139	7,1	32/1234yf/152a	-42,6
	HFO		R-1233zd	A1	0	1	Substância única		19
			R-1234yf	A2L	0	1			-29,4
			R-1234ze (E)	A2L	0	6			-19
			R-1336mz	A1	0	7			31,8
	HC	Fluidos refrigerantes naturais sustentáveis ([3]sem halogênio)	R-433B	A3	0	5	0,2	1.270/ 290	-42,7
			R-433C	A3	0	5	0,4	1.270/ 290	-44,3
			R-436A	A3	0	3	8,1	290/600a	-34,3
			R-436B	A3	0	3	8,4	290/600a	-33,4
			R-170	A3	0	6	Substância única	Etano	-88,6
			R-290	A3	0	3		Propano	-42,1
			R-600a	A3	0	3		Isobutano	-11,7
			R-1270	A3	0	2		Propeno	-47,6
Fluidos refrigerantes inorgânicos			R-717	B2L	0	0		Amônia NH_3	-33,4
			R-723	B2	0	8	Azeótropo	NH_3/DME	-36,6
			R-728	A1	0	0	Substância única	Nitrogênio	-196
			R-718	A1	0	0		Água	100
			R-744	A1	0	1		CO_2 TP-56, 6 °C @ 5,2 bar	-78

[1]Na pressão atmosférica padrão de 1.013,25 hPa. Para misturas zeotrópicas, o valor se aplica à temperatura mais baixa de evaporação.

[2]Halogenado significa a presença de um halogênio no composto. Na tabela periódica, os halogênios são os elementos do grupo 7, como flúor, cloro, bromo, iodo, astato. Portanto, quando algo é halogenado, significa que o composto contém um halogênio. Os halogênios causam um impacto profundo na composição atmosférica. Eles interagem com gases relevantes para o clima, alterando o equilíbrio radiativo da Terra, e contribuem para a degradação da qualidade do ar urbano.

[3]A denominação "sem halogênio" se refere a produtos cujos compostos respeitam as regulamentações e normas vigentes que estabelecem a quantidade permitida de halogênios contida no produto.

() A classificação de segurança entre parênteses é uma suposição; significa que ainda não foi determinada.

Fonte: Rolf Huehren.

5.5.1.2 **ABNT NBR ISO 5149 – Sistemas de refrigeração e bombas de calor**

A ABNT NBR ISO 5149 consiste nas seguintes partes, sob o título geral **"Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Segurança e requisitos ambientais"**, e é uma das normas nacionais e internacionais (ISO) mais importantes para o setor de AVAC-R.

Parte 1: Requisitos básicos, definições, classificação e critérios de seleção;
Parte 2: Projeto, construção, testes, marcação e documentação;
Parte 3: Proteção do pessoal e do local de instalação; e
Parte 4: Operação, manutenção, reparos e regeneração.

5.5.1.3 **GHS/CLP e outras classificações de segurança dos fluidos refrigerantes para transporte e uso**

Qualquer veículo de serviço usado no trabalho diário para a instalação e reparos de aparelhos/sistemas de AVAC-R precisa transportar gases técnicos, incluindo:

- Uma série de fluidos refrigerantes;
- Gases inflamáveis como acetileno e GLP para brasagem e solda;
- Oxigênio; e
- Nitrogênio.

As pessoas responsáveis (proprietários de empresas ou especialistas em refrigeração) têm que considerar os requisitos regulatórios para o transporte de produtos perigosos. As regulamentações e normas nacionais devem ser revistas e aplicadas. Além disso, existem inúmeros requisitos regulatórios internacionais, que costumam ser incorporados às regulamentações nacionais (veja mais no Capítulo 5.10.12.4).

Os seguintes requisitos regulatórios são relevantes:

- Acordo europeu sobre o transporte internacional de mercadorias perigosas por estrada (ADR) com várias seções específicas; ex.: P200 (instruções de embalagem para cilindros, tubos, tambores de pressão e conjuntos de cilindros). Comissão econômica para o comitê europeu de transporte terrestre;
- Regulamento para transporte internacional de mercadorias perigosas por trilho (RID) em transporte ferroviário;
- Código marítimo internacional de produtos perigosos (IMDG) para navegação internacional;
- Instruções técnicas para o transporte seguro de artigos perigosos por via aérea (OACI-IT), publicadas pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI). Elas são assumidas pela Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) com os Regulamentos de produtos perigosos da IATA (IATA-DGR);

- O regulamento REACH da União Europeia foi adotado para melhorar a proteção da saúde humana e do meio ambiente contra riscos decorrentes de substâncias químicas, ao mesmo tempo aumentando a competitividade da indústria química na União Europeia. Ele também propõe métodos alternativos para avaliar os perigos de substâncias para reduzir o número de testes em animais. REACH é a sigla em inglês de Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos. O regulamento REACH entrou em vigor no dia 1o de junho de 2007;
- O regulamento federal do equivalente ao Ministério dos Transportes dos EUA (DOT);
- Norma AHRI (Instituto de Ar Condicionado, Aquecimento e Refrigeração) - Os requisitos de marcação do DOT para as especificações de cilindros e tubos estão listados nos Regulamentos de materiais perigosos do Ministério dos Transportes dos EUA, no Título 49 do Código de Regulamentos Federais dos EUA (49 CFR). A especificação da Transport Canada (TC) estabelece que os cilindros e tubos devem ser projetados, manufaturados, testados inicialmente, inspecionados inicialmente e marcados conforme os requisitos estabelecidos na norma CSA B339 "Cilindros, esferas e tubos para o transporte de produtos perigosos";
- Além disso, o manuseio de produtos perigosos foi definido pela Organização das Nações Unidas (ONU) nos Regulamentos modelo da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (CEE-ONU), Divisão de Transportes. No entanto, várias normas evoluíram, e desde o ano 2000 a ONU tem procurado padronizar os regulamentos como um sistema globalmente harmonizado de classificação e rotulagem de produtos químicos (GHS)[7]; e
- Implementação do GHS na UE: o Regulamento CLP 1272/200EC, de Classificação, Rotulagem e Embalagem, que entrou em vigor no dia 20 de janeiro de 2009 (aplicável desde 1o de dezembro de 2010 para substâncias e desde 1o de julho de 2015 para misturas). Com a entrada desse regulamento em vigor, um novo sistema de classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas passou a existir em toda a Europa.

A mudança do GHS na Europa ocorreu por causa do Regulamento CLP 1272/2008 CE, que passou por emenda, no dia 27 de março de 2019, pelo Regulamento da Comissão 2019/521/CE.

A emenda no Regulamento CLP aplicável na Europa segue uma emenda de 2017 ao Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), que agora também vale na Europa.

No Regulamento CLP, os gases inflamáveis estavam previamente divididos entre a categoria 1 "Gases extremamente inflamáveis" (H220) e a categoria 2 "Gases inflamáveis" (H221).

A novidade é que a categoria 1 foi dividida em categorias 1A e 1B. A categoria 2 continua como antes (veja a Tabela 25).

[7] No Brasil, o GHS tornou-se obrigatório com base no texto da NR-26 e a regulamentação nacional que deve ser utilizada para a classificação dos produtos químicos e a elaboração de FDS e rótulos é a NBR 14725 (veja mais no Capítulo 5.10.12.4).

Tabela 25 – CLP: Critérios para a categorização de gases inflamáveis

Categoria / Classificação "H"		Pictograma	Palavra de sinalização	Critérios	
1A	**H220** **Gás extremamente inflamável**	 **GHS02**	**Perigo**	Gases que a 20 °C e sob pressão padrão de 101,3 kPa: (a) são inflamáveis quando em uma mistura de 13% ou menos por volume no ar; ou (b) apresentam um intervalo inflamável com o ar de pelo menos 12 pontos percentuais, independentemente do limite inferior de inflamabilidade; a menos que os dados mostrem que eles atendem aos critérios para a categoria 1B.	
	H220/232 **Gás pirofórico**			Gases inflamáveis que têm ignição espontânea no ar a uma temperatura igual ou inferior a 54 °C	
	H220/230/231 **Gás quimicamente instável**			A	Gases inflamáveis que são quimicamente instáveis a 20 °C e sob pressão padrão de 101,3 kPa
				B	Gases inflamáveis que são quimicamente instáveis a uma temperatura igual ou superior a 20 °C e/ou sob pressão superior a 101,3 kPa
1B	**H221** **Gás inflamável**			Gases que atendem aos critérios de inflamabilidade da categoria 1A, mas que não são pirofóricos, nem quimicamente instáveis, e que a apresentam: (a) um limite inferior de inflamabilidade de mais de 6% por volume no ar; ou (b) uma velocidade fundamental de queima de menos de 10 cm/s.	
2	**H221** **Gás inflamável**	Sem pictograma	**Aviso**	Gases, excluindo os da Categoria 1A ou 1B, que a 20 °C e sob uma pressão padrão de 101,3 kPa, apresentam um intervalo inflamável quando misturados com o ar.	
Seções coloridas relevantes para RAC					

Fonte: Regulamento CLP Seção 2.2.2.1 e Tabela 2.2.1.

O R-1234yf ainda atende aos critérios da categoria 1 porque o limite inferior de explosão é menor que 13% e se enquadra na categoria 1B porque o limite inferior de explosão fica acima de 6%.

O intervalo de explosão do R-32 é entre 12,7 e 33,4%. Como o intervalo de explosão fica acima de 12 pontos percentuais (cerca de 20 por cento), o R-32 se enquadra na categoria 1 porque o intervalo de explosão fica acima de 6%, na categoria 1B.

Assim, o R-32 e o R-1234yf continuam apresentando pictogramas de inflamabilidade, a palavra de sinalização "Perigo" e a declaração de perigo "H221: gás inflamável".

Pode ser confuso para os usuários que a classificação H221, que anteriormente só incluía os gases inflamáveis da categoria 2 e sem um pictograma de inflamabilidade, agora também represente a nova categoria 1B com o pictograma de inflamabilidade.

Para a aplicação de gases como fluidos refrigerantes, a classificação das categorias (categorias 1, 2, 2L, 3) com outros critérios para classificação se baseia

na norma ABNT NBR 16666 Fluidos refrigerantes - designação e classificação de segurança.

De acordo com essa norma, por exemplo, um fluido refrigerante como o R-1234ze(E), que não tem classificação de inflamabilidade para transporte, é classificado como 2L.

5.5.1.4 Visão geral dos fluidos refrigerantes naturais

Fluidos refrigerantes naturais são substâncias que ocorrem naturalmente no meio ambiente. Os fluidos refrigerantes naturais são compostos pelos elementos hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio e incluem hidrocarbonetos, dióxido de carbono, amônia, água e ar (também chamados de "os cinco naturais"; (veja a Tabela 26).

Tabela 26 – Fluidos refrigerantes naturais: Os cinco naturais

Fluido refrigerante		Estrutura química	Nomenclatura do fluido refrigerante
Hidrocarbonetos	Propano	C_3H_8	R-290
	Propeno	C_3H_6	R-1270
	Isobutano	C_4H_{12}	R-600a
Dióxido de carbono		CO_2	R-744
Amônia		NH_3	R-717
Água		H_2O	R-718
Ar		N_2, O_2, Ar, CO_2, outros	R-729

Fonte: Rolf Huehren.

As grandes vantagens dos fluidos refrigerantes naturais são que eles apresentam zero PDO, e o GWP é zero ou desprezível. Por exemplo, o valor GWP do R-717 é 0; o R-744, sendo o valor de referência para todos os outros fluidos refrigerantes, tem um GWP de 1; e o grupo de hidrocarbonetos tem um GWP direto entre 2 e 3. Como parte dos ciclos biogeoquímicos naturais, os fluidos refrigerantes naturais não formam substâncias persistentes na atmosfera, na água ou na biosfera.

5.5.1.5 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos (HCs) são ideais como fluidos refrigerantes, pois eles se misturam com os óleos de refrigeração comuns e sua temperatura crítica é relativamente alta (R-290 = 96,7 °C; R-1270 = 92,4 °C; R-600a = 1.347 °C; em comparação com o R-22 = 96 °C). No geral, o R-600a, o R-290 e o R-1270 podem ser considerados como os fluidos refrigerantes hidrocarbonetos mais prevalentes, bem como várias misturas de HC e o etano (R-170).

Geralmente, os fluidos refrigerantes hidrocarbonetos puros exibem uma eficiência relativamente boa (coeficiente de desempenho) por causa de suas propriedades favoráveis à termodinâmica e transporte (como a taxa de descarga à pressão de

sucção, baixa densidade líquida, calor específico alto, condutividade térmica alta, viscosidade baixa etc.). Devido à sua densidade/massa molar mais baixa, a carga de fluido refrigerante para uma determinada capacidade de refrigeração tende a ser muito menor (metade ou menos) daquela dos fluidos refrigerantes fluorados. Entretanto, todos os fluidos refrigerantes hidrocarbonetos são altamente inflamáveis e, assim, exigem a implementação das precauções de segurança necessárias.

Os hidrocarbonetos mais usados, o propano e o isobutano, são compatíveis com os materiais e óleos de refrigeração padrão. Uma exceção é o propeno (propileno), que não é compatível com o neoprene. Consequentemente, *O-rings* especiais devem ser usados com esse fluido refrigerante.

Isobutano (R-600a)

O R-600a tem uma baixa pressão de vapor saturado: 5 bar a +40 °C, em comparação com 10 bar para o R-134a, e 18 bar para o R-404A. O fluxo baixo de massa resulta em perdas de pressão baixa, e alta eficiência dos compressores, permitindo que os compressores tenham COP maior.

O maior sucesso do R-600a hoje, como fluido refrigerante, é a presença em mais de 1 bilhão de refrigeradores domésticos (RTOC, 2018). Já se sabe que os refrigeradores podem ser operados com segurança usando-se hidrocarbonetos. Os refrigeradores modernos estão mais eficientes do que nunca e funcionam silenciosamente por causa das propriedades do R-600a. O R-600a é cada vez mais usado em sistemas menores de refrigeração comercial, incluindo geladeiras para bebidas e bebedouros de água.

Greenfreeze – uma história de sucesso

Em 1992, o Greenpeace patrocinou dez protótipos de um refrigerador "Greenfreeze", para fins de teste, com a fabricante da Alemanha Ocidental dkk Scharfenstein (posteriormente Foron). Após um breve período de pesquisa, projeto e fabricação, em 1993 foi lançado na Alemanha o primeiro refrigerador, provando que o R-600a e o R-290 (misturados na proporção de 50/50), apesar de inflamáveis, não causavam problemas em um refrigerador doméstico.

A campanha da Greenpeace colocou tanta pressão nos fabricantes tradicionais (como Bosch-Siemens, Liebherr, Miele, AEG, Electrolux e Bauknecht), que eles decidiram acelerar a introdução do R-600a e parar de usar aos poucos o recém-lançado (na época) HFC R-134a.

Além disso, em 1993, a empresa Danfoss Compressors (atualmente SECOP GmbH) apresentou os primeiros compressores para o R-600a. Hoje, mais de 1 bilhão de refrigeradores domésticos no mundo todo usam o R-600a.

Propano (R-290)

O propano tem uma pressão de vapor saturado similar ao R-22 e ao R-404A. A compatibilidade do propano com materiais comuns usados nas instalações de RAC e trocadores de calor já é aceita.

Desde o ano 2000, fabricantes internacionais de renome já oferecem compressores com R-290. Usando esses novos sistemas HC, foram observadas economias de energia entre 10% e 30%. As indústrias que estavam acostumadas a lidar

com substâncias inflamáveis sempre usaram o R-290 e o R-1270 como fluidos refrigerantes, frequentemente em grandes quantidades de carga, perto das várias toneladas. Recentemente, cada vez mais corporações e fabricantes globais estão oferecendo o R-290 e/ou o R-1270 como fluido refrigerante em sistemas comerciais, unidades comerciais independentes, bem como em bombas de calor e sistemas de ar condicionado.

Primeiro selo ecológico Blue Angel para aparelho de ar condicionado do tipo split com R-290

Os aparelhos de ar condicionado são projetados para controlar o conforto térmico das salas de trabalho e de estar e são usados especialmente nos países que regularmente têm temperaturas externas altas. Com a elevação da renda em muitos países de clima quente, o número de aparelhos residenciais de ar condicionado está aumentando rapidamente. Em algumas cidades, cerca de 50% do consumo de eletricidade é oriunda dos aparelhos de ar condicionado.

Se não for possível evitar o uso de aparelhos de ar condicionado por meio das medidas de construção apropriadas, será necessário usar aparelhos menos prejudiciais ao meio ambiente para reduzir seu impacto. Isso pode ser conseguido usando-se unidades com eficiência energética e fluidos refrigerantes naturais.

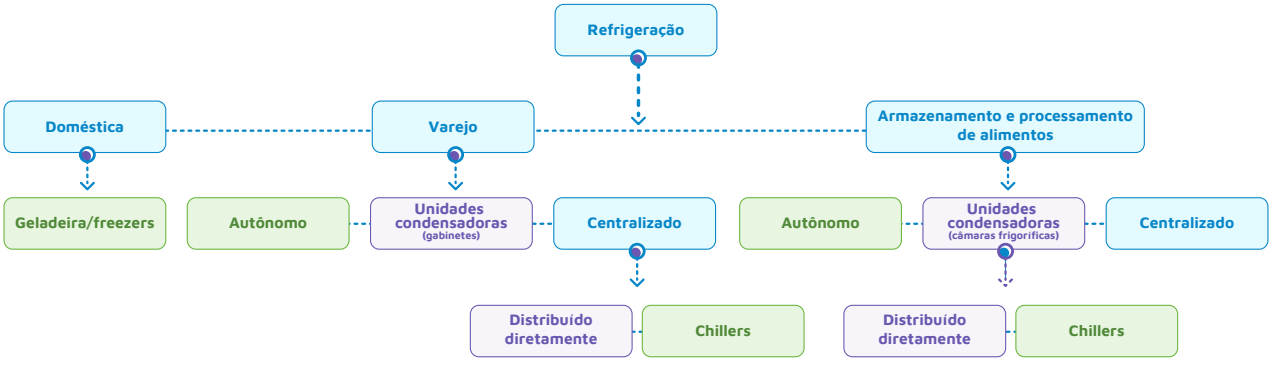
Recentemente, o sistema de ar condicionado do tipo split residencial All Easy Series da Midea, que usa o fluido refrigerante R-290, conquistou o selo ecológico alemão "Blue Angel". A certificação Blue Angel é concedida pelo Ministério Federal Alemão para o Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear. O mais antigo selo ecológico do mundo, ele representa os mais altos padrões de eficiência energética, saúde e preocupação com o meio ambiente dos aparelhos eletrodomésticos. Os critérios incluem seu GWP ultrabaixo, a alta eficiência energética, o baixo ruído e um estrito controle da segurança de materiais.

Aplicação de fluidos refrigerantes hidrocarbonetos hoje e amanhã

Os seguintes números dos setores de aplicações de "refrigeração" e "sistemas de ar condicionado" ilustram a facilidade da aplicação dos fluidos refrigerantes naturais. Cores e relevância:

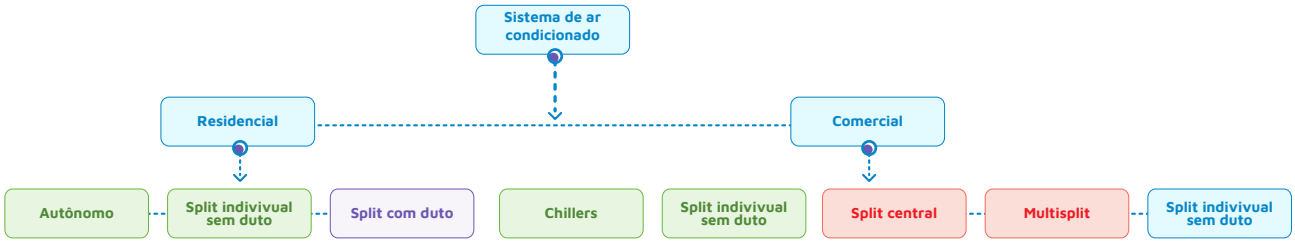
1. Verde – Aplicação já disponível e avançada;
2. Roxo – Aplicação possível, mas há barreiras; e
3. Vermelho – Barreiras significativas para a aplicação dos fluidos refrigerantes naturais.

Figura 69 – Facilidade de aplicação dos fluidos refrigerantes naturais no setor de refrigeração



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 70 – Facilidade da aplicação dos fluidos refrigerantes naturais no setor de ar condicionado



Fonte: HEAT GmbH.

5.5.1.6 **Dióxido de carbono (R-744)**

O que diferencia o R-744, significativamente, dos fluidos refrigerantes comuns são as condições de trabalho altamente divergentes, como a faixa de trabalho restrita em sistemas subcríticos. Devido ao seu ponto triplo, o CO_2 não consegue produzir temperaturas abaixo de -50 °C.

O dióxido de carbono oferece muitas vantagens:

- Ele tem uma taxa de pressão favorável e uma eficiência volumétrica melhor do que outros fluidos refrigerantes convencionais;
- Componentes, como o compressor, e os diâmetros dos tubos podem, assim, ser muitos menores, resultando em descongelamentos mais rápidos, menos uso de material e peso do sistema reduzido em geral; e
- Devido ao coeficiente alto de transferência de calor, o trocador de calor pode ser relativamente pequeno. Além disso, devido à baixa viscosidade, a necessidade de bombeamento é relativamente baixa em um sistema R-744. Isso é particularmente vantajoso para sistemas com um longo comprimento de rede, como o encontrado em supermercados e, por exemplo, em sistemas de evaporação direta para refrigeração profunda.

O R-744 é aplicado mais comumente em sistemas de refrigeração de supermercado, câmaras frigoríficas e bombas de calor industriais, comerciais e domésticas.

5.5.1.7 **Amônia (R-717)**

A amônia é um dos fluidos refrigerantes mais antigos, tendo as melhores propriedades termodinâmicas de todos os fluidos refrigerantes. É o único refrigerante natural que é tão eficiente que a indústria sempre o usou. Além disso, do ponto de vista ambiental, a amônia tem os benefícios de PDO e GWP 0.

O R-717 é mais leve do que o ar e, assim, os vazamentos tendem a flutuar, tornando mais fácil a instalação de sistemas com amônia no telhado.

Além das aplicações conhecidas nas grandes instalações industriais, a amônia está sendo cada vez mais considerada em projetos que, no passado, foram planejados exclusivamente com fluidos refrigerantes sintéticos, como em prédios públicos. Todos os grandes pavilhões de exibição na Alemanha foram construídos com chillers de amônia para ar condicionado. Prédios de bancos, seguradoras e

escritórios também estão cada vez mais usando chillers de amônia para controle de temperatura. Além disso, muitos aeroportos modernos não querem mais usar sistemas de ar condicionado sem amônia, após análises de risco comprovarem que não há um perigo maior para o público do que há com os fluidos refrigerantes convencionais.

5.5.1.8 **Água (R-718)**

A refrigeração pela evaporação da água é bastante conhecida e sempre foi usada. Sistemas de água com gelo ou gelo em pasta (*ice slush* ou *slurry ice*) que usam outros fluidos refrigerantes para produzirem sorvete também já foram testados e aprovados, apesar de muita pesquisa ainda estar sendo feita nessa área. O processo de compressão do vapor d'água oferece o maior potencial, mas o maior desafio.

A água, como fluido refrigerante, é considerada quando grandes quantidades de água com gelo ou gelo em pasta bombeável são necessárias, como na indústria de alimentos, na refrigeração distrital ou refrigeração de minas. O maior desafio, até agora, é o enorme volume de vapor d'água, o que exige o uso de turbocompressores muito caros. A grande taxa de pressão exigida requer o uso de compressores axiais com uma área de instalação relativamente pequena e muitos estágios ou mesmo compressores centrífugos conectados em série, que são bastante sensíveis às flutuações de carga e, assim, requerem uma carga bem constante. Como a operação acontece no vácuo profundo, é necessário um sistema absolutamente hermético (estanque).

Por outro lado, há potencial de 25% de economia de energia, em comparação com os chillers de R-134a disponíveis hoje. Projetos de pesquisa com compressores radiais e axiais estão sendo conduzidos com protótipos na França e na Alemanha.

5.5.1.9 **Ar (R-729)**

O ar é uma mistura de, principalmente, N_2/O_2/Ar (78,082/20,945/0,934 vol%) e pode ser usado como fluido refrigerante em praticamente qualquer aplicação. Normalmente, as vantagens no consumo de energia podem ser observadas se as aplicações exigirem temperaturas abaixo de -50 °C.

Os aviões modernos voando a altas atitudes são equipados com um sistema de ar condicionado e pressurização para oferecerem um ambiente confortável para seus passageiros. Nesses sistemas, os compressores trabalham acoplados ao motor do avião usando o ar ambiente.

O R-729 é adequado para aplicações de *freezers* de -40 a -80 °C. Nesses sistemas, a turbina de expansão fica no mesmo eixo de acionamento que o turbocompressor. A energia gerada durante a expansão é usada pelo compressor, reduzindo assim o consumo de energia. Isso é usado, por exemplo, no Japão, em aplicações de congelamento a temperaturas ultrabaixas para peixes.

5.5.1.10 **Mudança do tipo de fluido refrigerante**

A disponibilidade de fluidos refrigerantes CFCs, HCFCs e HFC é limitada, e regulamentações e tratados ambientais internacionais, bem como requisitos de manter registros e controles recorrentes de estanqueidade de sistemas de RAC, enfatizam ainda mais a necessidade de uma abordagem focada nos planos de gerenciamento

de fluido refrigerante e no uso controlado de tais substâncias. Após o fluido refrigerante alternativo ter sido escolhido, a implementação dessa nova opção de fluido fica melhor se conduzida de maneira metódica e organizada.

Tendo em mente que cada sistema tem condições operacionais únicas, as seguintes considerações gerais aplicam-se quando se trata de mudar o tipo de fluido refrigerante:

- É importante lembrar que todas as práticas atuais para a manutenção do sistema de refrigeração também se aplicam aos fluidos refrigerantes alternativos;
- Deve-se observar que sistemas ou dispositivos de refrigeração funcionado adequadamente não devem ter seu fluido refrigerante trocado até que haja necessidade de abrir o sistema para reparos;
- Sistemas estanques e funcionando adequadamente podem ser operados até o final da sua vida útil econômica, se não houver motivo legal para troca antecipada do fluido refrigerante;
- Para sistemas de RAC mais antigos, pode haver melhor custo-benefício em trocar todo o sistema em vez de mudar o tipo de fluido refrigerante. Mais do que isso, o novo equipamento terá uma eficiência energética melhor;
- As atividades projetadas de troca de fluido refrigerante envolvem vários esforços e custos:

- Custo do novo fluido refrigerante escolhido;
- Custo da troca do óleo lubrificante;
- Custo da mão de obra; e
- Custo dos componentes que precisam ser mudados.

- Em relação ao cálculo de custo, a questão da troca do lubrificante relacionada à escolha do fluido refrigerante pode ter um papel significativo. Sistemas de refrigeração ou ar condicionado com tubulação extensa e/ou muitos evaporadores e acessórios, como separadores de óleo e acumuladores de líquido devem passar por um *flushing* completo para eliminar/controlar a contaminação por óleo;
- Geralmente, os fluidos refrigerantes substitutos devem ser similares em termos de compatibilidade do material com os fluidos refrigerantes que estão sendo substituídos. Entretanto, a aprovação do respectivo fabricante de um novo fluido refrigerante deve ser observada para cada componente usado em um sistema de refrigeração;
- Os fluidos refrigerantes substitutos são geralmente misturas e não podem "simplesmente aparecer" no sistema, de modo que o fluido a ser substituído precisa ser completamente removido do sistema durante uma troca. Para remover os resíduos da desgaseificação dos fluidos refrigerantes, recomenda-se fazer *flushing* e esvaziar completamente o sistema e fazer a(s) troca(s) de óleo;
- Uma boa oportunidade é fazer um procedimento de *retrofit* junto à manutenção regular programada de um sistema de AVAC-R;
- Com a mudança, as pressões operacionais e, dependendo das condições

operacionais e do projeto do sistema, a capacidade frigorífica também podem mudar;
- Antes de mudar o tipo de fluido refrigerante de um sistema de refrigeração, é necessário determinar a condição atual. Quaisquer vazamentos (verifique os vazamentos!) e deficiências funcionais devem ser eliminados; e
- Sistemas projetados para fluidos refrigerantes A1 não inflamáveis não deverão ser convertidos para qualquer fluido refrigerante inflamável (A2, A2L ou A3).

5.5.1.11 Categorias de trocas de fluidos refrigerantes

A modificação ou upgrade de sistemas e equipamentos de AVAC-R já existentes costuma ser chamada de "*retrofit*". Para a aplicação em sistemas de AVAC-R, as seguintes definições e categorias de troca costumam ser aplicadas:

Retrofit de substituição imediata ("_drop-in_")

É a mudança para um fluido refrigerante alternativo sem nenhuma modificação no sistema de refrigeração. Pode ser necessário substituir óleo lubrificante mineral por poliolléster (POE) / polialquilenoglicol (PAG) depois de um *flushing* completo do sistema usando OFDN e depois de carregar a quantidade apropriada de fluido refrigerante utilizado como *"drop-in"*.

Retrofit simples / econômico

É a mudança para um fluido refrigerante alternativo, que só exija a troca de algumas peças incompatíveis, como gaxetas, *O-rings* e filtros secadores. Em alguns casos, os retrofits simples podem resultar em ligeira diminuição da eficiência, da capacidade, ou de ambas.

Otimização do sistema ou *retrofit* projetado

Mudança para um fluido refrigerante alternativo que inclui a substituição dos principais componentes do sistema, como compressor, trocadores de calor, dispositivos de expansão, etc. por componentes novos que foram projetados especificamente para o fluido refrigerante alternativo.

Conversão

Em determinadas circunstâncias, pode haver interesse em converter um sistema de AVAC-R com fluido refrigerante não inflamável (A1) para usar HCs (A3) ou outros fluidos refrigerantes inflamáveis (A2/A2L). Essa abordagem pode ser considerada por uma série de motivos, dentre eles:

1. Desejo de aumentar a eficiência do sistema;
2. Reduzir o impacto ambiental;
3. Pode ser uma solução com melhor relação custo-benefício do que usar outras opções de fluidos refrigerantes; e
4. Indisponibilidade de usar outros fluidos refrigerantes como substitutos.

⚠ Entretanto, se o sistema de refrigeração já existente estiver funcionando adequadamente e em condição de estanqueidade, em geral não há necessidade de mudar o sistema para usar algum fluido refrigerante alternativo.

Raramente, a conversão é técnica e economicamente viável	Considerando que a conversão para um fluido refrigerante inflamável representa uma mudança significativa na finalidade do sistema, deve-se entender que a conversão só pode ocorrer se o produto final atender às exigências das normas relevantes de segurança e dos regulamentos nacionais e geralmente requer um reprojeto abrangente do sistema de AVAC-R.

5.5.2 Declarações gerais e propriedades do R-744 – Dióxido de carbono (CO_2)

O R-744 é um fluido refrigerante natural com propriedades termodinâmicas muito boas. De acordo com a ISO 817 – Fluidos refrigerantes – Designação e classificação de segurança, ele é classificado como fluido refrigerante A1. Ele não é inflamável, não é tóxico, é termicamente estável e não se decompõe em substâncias tóxicas mesmo submetido a chamas abertas. Para concentrações altas, é necessário ter cuidados especiais com o perigo de asfixia. O CO_2 não tem Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (PDO = 0) e tem potencial de aquecimento global muito baixo (GWP = 1). Assim, os sistemas de refrigeração que usam o R-744 como fluido refrigerante geralmente não são restritos por regulamentações ambientais nacionais ou internacionais.

O CO_2 (dióxido de carbono) também pode ser usado como um fluido refrigerante secundário em sistemas de refrigeração, oferecendo uma alternativa eficiente e menos prejudicial ao meio ambiente quando comparado com os fluidos refrigerantes secundários tradicionais.

O perigo do R-744 deve ser estimado de forma diferente dos outros fluidos refrigerantes (HCFCs, HFCs) do mesmo grupo de segurança A1. O dióxido de carbono se dissolve no sangue, influencia o centro respiratório no cérebro e a capacidade de absorção do oxigênio dos glóbulos vermelhos do sangue. Mesmo com uma concentração baixa de dióxido de carbono no ar, a respiração se acelera, e, com concentrações de 8% ou mais, já existe risco à vida, mesmo que ainda haja oxigênio suficiente no ar que respiramos.

Os fluidos refrigerantes HFC, por outro lado, geralmente têm apenas um efeito fraco sobre o corpo. Concentrações a partir de aproximadamente 6% têm um efeito narcótico. Geralmente, eles só oferecem risco à vida a partir dos 20% por volume, devido ao deslocamento do oxigênio.

Geralmente, as precauções de segurança devem ser seguidas ao trabalhar com o R-744, e sistemas de aviso de gás devem ser usados (veja Figura 71 a Figura 74).

Figura 71 – Aviso/ atenção geral



Fonte: EN ISO 07010 - W001.

Figura 72 – Alta pressão



Fonte: Rolf Huehren com base na EN ISO 07010.

Figura 73 – Asfixia



Fonte: EN ISO07010 -W041.

Figura 74 – Queimadura pelo frio



Fonte: Rolf Huehren com base na EN ISO 07010.

A Tabela 27 apresenta as propriedades físicas e químicas do R-744.

Tabela 27 – Propriedades físicas e químicas do R-744

Propriedades físicas e químicas:	
Nome	Dióxido de carbono, CO_2
Símbolo	R-744 (grau de pureza: 4,5 Þ ≥99,995 de pureza)
Estado de agregação	Gasoso (1.013,25 hPa, 20 °C)
Massa molecular	44 g/mol
Cor	Incolor
Cheiro	Inodoro
Inflamabilidade	Gás ou sólido não inflamável
Toxicidade	Não tóxico
Ponto de ebulição	-78,5 °C a 101,3 kPa
Ponto crítico (temperatura)	31,0 °C e 7.383 kPa
Ponto triplo	56,67 °C e 518,5 kPa
Sublimação	-78,5 °C a 101,325 kPa
Condensação a 2.600 kPa	-11 °C
Variações de temperatura	Nenhuma
PDO	0
GWP	1
Grupo de segurança EN378	A1
Limite prático - EN378-1	0,07 kg/m³
Substituto para	Vários

Fonte: Rolf Huehren.

5.5.2.1 Os cinco potenciais perigos do R-744 (CO_2)

Os cinco potenciais perigos do R-744 podem ser listados da seguinte forma:

1. Asfixia;
2. Alta pressão operacional do sistema de refrigeração;
3. Líquido preso;
4. Gelo seco; e
5. Queimaduras pelo frio.

5.5.2.2 **Asfixia**

O R-744 é inodoro, mais pesado do que o ar e asfixiante. O limite de exposição ocupacional (LEO) do R-744 é menor do que o dos hidrofluorcarbonetos (HFCs) não tóxicos A1 por causa da sua potencial toxidade. Veja mais referências na Tabela 28.

Ao comparar o LEO com o de outros fluidos refrigerantes, observa-se:

- R-744 – Classe de segurança A1; LEO com uma média ponderada pelo tempo de 8 horas sendo 3.900 (5.000) partes por milhão (ppm);
- R-404A (HFC) – Classe de segurança A1; LEO com uma média ponderada pelo tempo de 8 horas sendo 1.000 ppm; e
- R-717 (amônia) – Classe de segurança B2L; LEO com uma média ponderada pelo tempo de 8 horas sendo 25 ppm.

Observação: O limite prático é definido na ISO 817, mas pode variar em regulamentações regionais.

Em publicações relevantes, podem ser encontradas muitas descrições dos efeitos da inalação de ar contendo CO_2. O efeito depende da concentração, conforme a Tabela 28.

Tabela 28 - Concentração do CO_2 (R-744) no ar e os efeitos físicos no corpo humano

ppm	Efeitos na saúde
422	Média de conteúdo na atmosfera (NOAA, outubro de 2023). Durante longos períodos da era pré-industrial, até meados do século XIX, esse valor ainda estava em torno dos 280 ppm.
≤ 900	Nível de expectativa moderado aceitável, de acordo com a EN 16798-3-11
3.900	**Brasil:** LEO (limite de exposição ocupacional) LEP (Limite de exposição permitida) como média em um dia de trabalho de 8 horas (média ponderada pelo tempo ou TWA). – 7.020 mg/m³
5.000	**EUA:** ACGIH LEO TWA (NIOSH REL TWA)
30.000	**EUA:** ACGIH LEO STEL (NIOSH REL STEL)
20.000	Frequência respiratória 50% maior. Pode afetar o desempenho respiratório e causar irritação seguida por distúrbios no sistema nervoso central.
30.000	Frequência respiratória 100% maior após esforço físico breve.
50.000	**IPVS** – Imediatamente perigoso para a vida ou a saúde. IPVS é um valor de referência para a concentração máxima de uma substância no ar, na qual uma pessoa não sofrerá danos sérios ou permanentes se escapar em até 30 minutos.
50.000	O valor do limite prático (LP) do R-744 a 0,1 kg/m³ é calculado a uma fração do volume do R-744 no ar de aproximadamente 50.000 ppm (5 vol%)
100.000	A menor concentração fatal, alguns minutos já causam inconsciência.
200.000	Mortes relatadas.
300.000	A concentração rapidamente leva à inconsciência, convulsões e morte.

Fonte: FDS (ficha de dados de segurança) e regulamentações.

As principais diferenças nos valores de limite devem-se ao fato de que eles são baseados em critérios de avaliação completamente diferentes.

O valor do limite de exposição ocupacional (LEO) é a concentração média de uma substância no ar no local de trabalho na qual não se esperam danos à saúde dos funcionários. Ele se baseia na presunção de a exposição geralmente durar oito horas, cinco dias por semana, durante a vida profissional. Isso significa que se considera que uma pessoa pode ser exposta a essa concentração todos os dias durante toda a sua vida profissional. O valor do limite prático LP, por outro lado, é baseado na exposição breve. Essa é a concentração mais alta que ainda não tem nenhum efeito que impossibilite a fuga (ou seja, aguda) ou que não traga o risco da ignição do fluido refrigerante.

Essa diferença pode ser facilmente explicada usando-se o CO_2 como exemplo. O valor do limite de exposição ocupacional (LEO) de 5.000 ppm descreve uma concentração no ar respirável na qual o dióxido de carbono não tem efeitos perceptíveis no corpo, mesmo se a pessoa for exposta a ele por um longo período. O valor do limite prático de 5% de CO_2 no ar, por outro lado, é de uma magnitude que tem um efeito perceptível no corpo.

Concentrações nesse nível geralmente resultam em respiração acelerada e aumento na pulsação, além de, às vezes, tontura e zumbido nos ouvidos. Entretanto, se a pessoa for exposta a uma concentração maior de CO_2 somente por um curto período e sair da sala na qual o fluido refrigerante tiver escapado, não devem ocorrer danos à saúde. Se for necessário um detector de gás, o detector deve ser definido para um valor de 50% do "Limite de exposição à toxicidade aguda ATEL" ou do valor do "Limite de privação de oxigênio ODL". No caso do CO_2, isso seria uma concentração de 0,036 kg/m³, o que corresponde a uma fração do volume de cerca de 1,8 % (18.000 ppm).

5.5.2.3 Altas pressões de operação do sistema de refrigeração

Os sistemas com R-744 funcionam a temperaturas significativamente maiores, em comparação com os sistemas HFC comuns, especialmente quando as temperaturas ambiente fazem um sistema operar acima de seu ponto crítico (ou seja, modo de operação supercrítico). Como resultado, os componentes do sistema, a tubulação, as ferramentas e equipamentos devem ser classificados para funcionarem com segurança a essas pressões maiores (veja a Tabela 29).

Observação: a pressão em ociosidade, em alguns sistemas (por exemplo, sistemas em cascata) é maior do que a sucção máxima classificada ou pressão de descarga, exigindo a integração das válvulas de liberação de pressão de segurança. Essas válvulas descarregam o fluido refrigerante no ambiente, no caso de falha, como uma queda na eletricidade (incluindo desligamentos não intencionais do sistema).

Tabela 29 – Pressões operacionais calculadas típicas e em ociosidade

Pressão em ociosidade a 10 °C	44 bar(g)
Pressão em ociosidade a 20 °C	56,3 bar(g)
Pressão em ociosidade a 30 °C	71 bar(g)

Continuação da Tabela 29 – Pressões operacionais calculadas típicas e em ociosidade

Baixa temperatura (LT) no evaporador (freezer)	10 a 15 bar(g)
Alta temperatura (MT) no evaporador (comida refrigerada)	25 a 30 bar(g)
Condensador em cascata	30 a 35 bar(g)
Corte de alta pressão em cascata	36 bar(g)
Válvula de alívio de pressão em cascata	40 bar(g)
Lado alto transcrítico	90 bar(g)
Corte de pressão alta transcrítico	108 a 126 bar(g)
Válvula de alívio de pressão transcrítica	120 a 140 bar(g)

Fonte: Rolf Huehren.

Para garantir que a pressão não suba no sistema até a pressão de alívio da válvula de segurança, por exemplo, no caso de uma falha de alimentação ou desligamento repentino do sistema, esses sistemas também podem ser equipados com um pequeno sistema de refrigeração auxiliar de emergência.

Esse sistema normalmente opera com uma fonte de alimentação ininterrupta e se liga quando a pressão fica acima de um ponto designado – que é menor do que a pressão máxima permitida configurada da válvula de alívio de pressão (válvula de segurança), mas mais alta do que a pressão operacional normal. O sistema de refrigeração de emergência é dimensionado para remover calor suficiente do fluido refrigerante de modo a manter a pressão em ociosidade abaixo da configuração da válvula de alívio do vaso de pressão (tanque de líquido). Ele também utiliza uma série de válvulas de retenção para proteger o lado baixo de um sistema.

É necessário tomar cuidado ao carregar um sistema de refrigeração com fluido refrigerante R-744. A pressão operacional máxima de alguns sistemas (como os sistemas em cascata) normalmente é mais baixa do que a pressão do cilindro do R-744. Esses sistemas devem ser carregados devagar e com cuidado para evitar que as válvulas de alívio de pressão descarreguem.

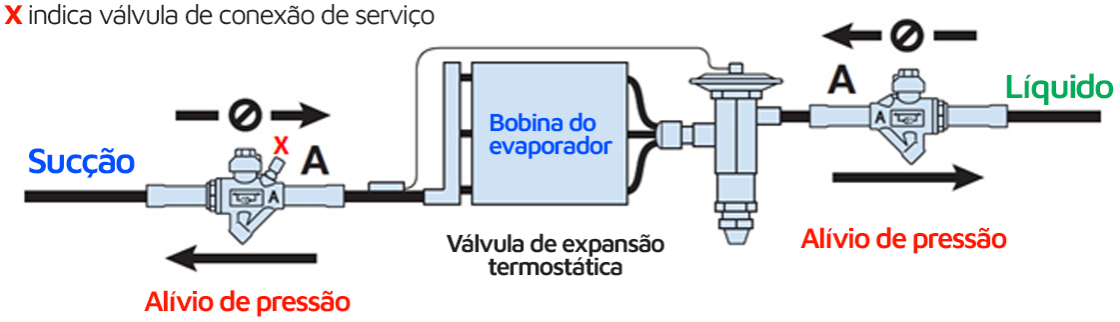
5.5.2.4 **Líquido preso**

Ao projetar sistemas com CO_2, é muito importante garantir que todos os tubos e componentes que possam conter líquidos presos sejam equipados com uma válvula de descarga interna ou uma válvula de segurança externa. Líquidos podem ficar presos durante a operação ou reparos no sistema. Essa condição pode ocorrer em qualquer linha de líquido ou vaso de pressão do R-744. Como regra básica, o líquido do R-744 preso aumenta sua pressão em 10 bar a cada aumento de 1 K na temperatura.

Para evitar pressão excessiva e perigosa do fluido refrigerante R-744 durante os procedimentos de reparos no sistema, especialmente nos pontos de resfriamento de baixa temperatura, podem ser usadas válvulas esfera com alívio de pressão integrado (interno). A Figura 75 indica a integração desse tipo de recurso de segurança.

No caso de as válvulas esfera estarem fechadas para reparos e haver líquido preso, a pressão será liberada no sentido indicado com o aumento da temperatura. Os reparos serão feitos na válvula de serviço da válvula esfera, no tubo de sucção.

Figura 75 – Integração da válvula esfera com o alívio de pressão dentro do circuito de refrigeração



Fonte: PARKER EBV-R com alívio de pressão.

5.5.2.5 **Formação de gelo seco**

O gelo seco é dióxido de carbono (CO_2) em estado sólido. Sua temperatura é de cerca de -78,5 °C (-109,3 F). O CO_2 nessa forma tem uma estrutura muito instável. Ele se quebra mesmo quando exposto a forças mínimas.

O gelo seco se distingue pelo fato de que pode se sublimar à pressão atmosférica normal (1 bar – 1,013 mbar) e de que muda de estado sem deixar resíduos diretamente do estado sólido para o gasoso sem passar pelo estado líquido.

O nome "gelo seco" veio justamente do fato de o processo de liquefação não ocorrer. A sublimação produz de 300 a 400 litros de dióxido de carbono gasoso por um quilograma de gelo seco à pressão atmosférica.

Para produzir gelo seco, o CO_2 gasoso deve primeiro ser comprimido a uma pressão alta e, depois, refrigerado. Esse processo é chamado de liquefação (também chamado assim para qualquer outro fluido refrigerante). Em seguida, ocorre a redução da pressão e da temperatura do CO_2 liquefeito pressurizado (parte do dióxido de carbono evapora e extrai o calor necessário para a evaporação do resto do dióxido de carbono, que, então, se resfria) e ocorre a transformação em flocos de gelo seco CO_2 que se parecem com neve. O resultado é moldado na forma desejada, dependendo da aplicação.

O gelo seco praticamente não ocorre de forma natural na Terra, devido à temperatura de ressublimação (mudança de estado do gás para o sólido) extremamente baixa. Entretanto, na atmosfera do planeta Marte, rica em CO_2, ele congela a latitudes mais altas no inverno, e forma as famosas calotas polares. Alguns meteoroides (fragmentos de materiais que vagueiam pelo espaço) também contêm grandes quantidades de gelo seco.

Observação: Também funcionam de acordo com esse princípio os extintores de incêndio com CO_2, que – além de deslocar o oxigênio no ar – extraem calor do fogo e servem para refrigerar as substâncias em chamas até abaixo do ponto de fulgor.

Figura 76 – Gelo seco no formato de barras para refrigeração de transporte



Fonte: Trockeneis-online.com.

Figura 77 – Exemplo da formação de gelo seco em uma secadora



Fonte: Emerson.

A formação do gelo seco não ocorre dentro de um sistema de refrigeração funcionando adequadamente, mas pode ocorrer quando:

- Uma válvula de alívio de pressão faz uma descarga liberando vapor do R-744 para a atmosfera;
- Há liberação do R-744 para a atmosfera durante reparos (mudança ou troca de componente, por exemplo);
- Ocorrer a carga de um sistema que está abaixo dos 5,2 bar (por exemplo, um sistema evacuado); e
- Sempre que a pressão do sistema acidentalmente cair abaixo de 5,2 bar.

O gelo seco não se expande quando é formado, mas ele se transforma em gás quando absorve calor (por exemplo, do ambiente). Se o gelo seco estiver preso dentro do sistema, ele vai absorver calor do ambiente ao redor, virar gás e mudar de volume. Isso causará um aumento de pressão significativo.

O gelo seco pode bloquear as linhas de ventilação (tubos de descarga), então, é necessário tomar cuidado para garantir que isso não ocorra:

- Válvulas de alívio de pressão apropriadas devem ser usadas;
- Quando o R-744 é liberado de um sistema para a atmosfera durante reparos, ele deve ser liberado como líquido, e a pressão no sistema deve ser monitorada; e
- O R-744 deve sempre ser liberado para fora do edifício.

5.5.2.6 **Queimadura pelo frio**

É preciso usar luvas e óculos de segurança ao se manusear gelo seco (ou CO_2 líquido). Se, acidentalmente, houver contato do gelo seco com a pele, ele vai se sublimar na superfície da pele e formar uma fina camada protetora de gás que evita o contato direito com a pele (efeito de Leidenfrost). Se o gelo seco acabar ficando em contato firme com a pele por alguns segundos, a sublimação será interrompida, e o gelo vai se grudar na pele, similar ao que acontece no toque com outros fluidos refrigerantes líquidos ou objetos de metal criogênico. Para evitar danos de longa duração à pele e às camadas subjacentes do tecido, o gelo seco deve ser removido (arrancado) imediatamente, ou uma queimadura por frio ocorrerá, matando o tecido em poucos segundos. Engolir gelo seco é um risco à vida. Veja mais informações sobre segurança no Capítulo 3.

5.5.2.7 **Exigência de pureza do R-744**

O R-744 (dióxido de carbono como fluido refrigerante) pode ser usado apenas como fluido refrigerante se estiver "seco". Isso significa que ele não deve conter mais de 5 ppm de água. Além disso, é exigido um alto nível de pureza – o gás técnico R-744 4.5 atende a esse requisito (99,995%). Esse alto nível de pureza é essencial para manter a eficiência do sistema, protegendo os componentes e garantindo a operação segura dos sistemas de refrigeração e ar condicionado.

A presença de um nível mais alto de água tem uma solubilidade baixa no R-744 e, como tal, separa-se facilmente como água livre ou gelo, e a pressão e a temperatura no sistema de refrigeração diminuem.

Conteúdo de CO_2:

O conteúdo de dióxido de carbono no R-744 deve ser, preferencialmente, de 99,995%. A pureza alta garante a eficiência do fluido refrigerante e minimiza o risco de impurezas afetarem o desempenho do sistema.

Conteúdo de umidade:

O conteúdo de umidade no R-744 deve ser extremamente baixo, tipicamente 5 ppm (partes por milhão). O excesso de umidade pode levar à formação de gelo, particularmente em sistemas com CO_2 em que as temperaturas podem ficar muito baixas, potencialmente causando bloqueios e corrosão.

Gases não condensáveis:

Os gases não condensáveis, como o nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) ou argônio (Ar) devem ser minimizados, geralmente para menos de 1,5%. Esses gases não se condensam no sistema, o que pode levar a aumento das pressões no sistema, eficiência reduzida e potenciais problemas operacionais graves ou perigosos.

Outras impurezas:

Outras impurezas, incluindo óleos, partículas e ácidos, devem ser mantidas no nível mínimo. Por exemplo, o conteúdo de óleo deve ser menor que 5 ppm. Essas impurezas podem causar corrosão e desgaste nos componentes do sistema, além de reduzirem a eficácia do fluido refrigerante.

5.5.2.8 **Reatividade do R-744 com água/umidade:**

O R-744, ou dióxido de carbono (CO_2), no geral, é quimicamente inerte e não reage com a umidade (vapor d'água) nas condições ambientais típicas. Entretanto, a interação entre o CO_2 e a água pode levar à formação do ácido carbônico (H_2CO_3), apesar de essa reação geralmente ser muito limitada em escopo e ter algumas considerações específicas. Porém, o ácido carbônico (H_2CO_3) pode prejudicar os sistemas de refrigeração, causando corrosão, afetando a lubrificação e levando a entupimentos e redução de eficiência. Todavia, a reação entre o ácido carbônico e o metal pode resultar na formação de carbonatos de metal insolúveis. Esses depósitos podem se acumular e causar obstruções em passagens estreitas, como tubos capilares e válvulas de expansão, dificultando o fluxo de fluido refrigerante.

Para controle eficiente da umidade, o uso de materiais à prova de corrosão e

a integração de um filtro secador do R-744 de fábrica é importante. O controle de umidade com comissionamento e manutenção/reparos regulares são cruciais, garantindo a operação confiável e eficiente dos sistemas de refrigeração usando R-744. A troca do filtro secador após cada procedimento de reparo é de suma importância, constituindo boa prática de serviço para a aplicação de todos os tipos de fluido refrigerante (exceto o R-717, amônia).

5.5.2.9 **Reatividade do R-744 com ar, oxigênio e nitrogênio**

Embora o oxigênio e o nitrogênio não reajam diretamente com o dióxido de carbono, o oxigênio promove reações com todas as outras substâncias (indesejadas) presentes no circuito de refrigeração, especialmente no lado de alta pressão, onde ele se acumula se estiver presente. Do contrário, a pressão alta de vapor desses gases terá um impacto negativo no desempenho do sistema de refrigeração, e é por isso que sua composição deve ser severamente limitada.

5.5.3 **Declarações gerais e propriedades do R-290 – Hidrocarboneto (HC)**

O R-290 é um fluido refrigerante natural com propriedades termodinâmicas muito boas (essa é uma característica geral de todos os fluidos refrigerantes HC). De acordo com a ISO 817 (Fluidos refrigerantes – Designação e classificação de segurança), ele é classificado como fluido refrigerante A3.

O R-290 (propano) é um hidrocarboneto altamente inflamável. Comparado ao fluido refrigerante HCFC R-22, o R-290 tem uma taxa de pressão menor, temperaturas finais de compressão menores e uma capacidade de refrigeração específica maior.

O R-290 não tem Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (PDO = 0) e tem Potencial de Aquecimento Global muito baixo (GWP = 3). Assim, os sistemas de refrigeração que usam o R-290 como fluido refrigerante geralmente não são restritos por regulamentações ambientais nacionais ou internacionais.

Figura 78 – Aviso / atenção geral



Fonte: EN ISO 07010 - W001.

Figura 79 – Altamente inflamável



Fonte: EN ISO 07010 - W021.

Figura 80 – Asfixia



Fonte: EN ISO 07010 - W041.

A Tabela 30 apresentas as propriedades físicas e químicas do R-290.

Tabela 30 – Propriedades físicas e químicas do R-290

Propriedades físicas e químicas:	
Nome	Hidrocarboneto, C_3H_8
Símbolo	R-290 (grau de pureza: 2,5 Þ ≥99,5 de pureza)
Massa molecular	44 g/mol
Estado de agregação	Gasoso (1.013,25 hPa, 20 °C)
Cor	Incolor
Cheiro	Inodoro
Inflamabilidade	Gás extremamente inflamável
LII	1,7 vol %
LSI	10,8 vol %
Autoignição	470 °C
Toxicidade	Não tóxico
Ponto de ebulição	-42 °C
Ponto crítico (temperatura)	97 °C
Ponto triplo	-188 °C
Condensação a 2.600 kPa	70
Variações de temperatura	Nenhuma
PDO	0
GWP	3
Grupo de segurança EN 378	A3
Limite prático – EN 378-1	0,008 kg/m³
Substituto para	Vários

Fonte: Rolf Huehren.

5.5.4 Definições de inflamabilidade para fluidos refrigerantes

A inflamabilidade é um fator importante na hora de decidir sobre a escolha e o uso de fluidos refrigerantes. Logo, conforme normas internacionais de segurança, os fluidos refrigerantes estão classificados em oito (8) grupos de segurança com relação à toxicidade e à inflamabilidade da substância.

Especificamente, a classificação (de acordo com a definição) distingue entre duas categorias, A e B, para definir a toxicidade dos fluidos refrigerantes. A categoria A inclui fluidos refrigerantes levemente tóxicos, e a categoria B inclui fluidos refrigerantes tóxicos. A classificação dos fluidos refrigerantes inflamáveis se baseia em quatro grupos (1 = não inflamáveis, 2L = baixa inflamabilidade, 2 = inflamáveis, 3 = alta inflamabilidade) (veja mais detalhes na Figura 81).

Os fluidos refrigerantes inflamáveis não diferem das alternativas não inflamáveis em termos de toxicidade e aplicação básica. Isso é válido, por exemplo, para deslocamento de oxigênio, proibição de fumar, perigos de combustão e equipamentos de proteção individual.

Já está ficando evidente que, além dos fluidos refrigerantes não inflamáveis como o R-744 (CO_2), as substâncias e misturas com inflamabilidade de classe 2L e 3 serão as mais populares.

Definições de inflamabilidade:

A classe 2L (baixa inflamabilidade) indica:

- Propagação de chama quando testado a 60 °C e 101,3 kPa;
- LII > 3,5% por volume;
- Calor de combustão < 19 MJ/kg; e
- Velocidade máxima de queima ≤ 10 cm/s.

A classe 3 (baixa inflamabilidade) indica:

- Propagação de chama quando testado a 60 °C e 101,3 kPa;
- LII ≤ 3,5% por volume; e
- Calor de combustão ≥ 19 MJ/kg.

Definições de toxicidade:

Classe A

Toxicidade significa fluidos refrigerantes para os quais a toxicidade não foi identificada em concentrações menores ou iguais a quatrocentas partes por milhão (400 ppm) do limite de exposição ocupacional (LEO). Exemplos de fluidos refrigerantes classificados como não tóxicos: R-22, R-134a, R-410A, R-404A, R-32 e R-290.

Classe B

Toxicidade significa fluidos refrigerantes para os quais existem evidências de toxicidade em concentrações abaixo de quatrocentas partes por milhão (400 ppm) do limite de exposição ocupacional (LEO). São exemplos os fluidos refrigerantes R-717 e R-723.

LEO - Limite de exposição ocupacional

A concentração média ponderada pelo tempo para um expediente normal de oito horas por dia e 40 horas por semana ao qual praticamente todos os trabalhadores podem ficar repetidamente expostos sem efeitos adversos.

Observação sobre a entrada: baseada em regulamentos nacionais, como OSHA PEL, ACGIH TLV-TWA, TERA WEEL, ou MAK.

Figura 81 – Classificação de segurança dos fluidos refrigerantes

Requisitos mais onerosos	Inflamabilidade no ar a 60 °C e 101,3 kPa	ISO 817 / ASHRAE 34 (equivalente à norma ABNT NBR 16666) - Grupo de segurança e exemplos			
	Não inflamáveis	A1	R-22, R-744, R-134a, R-410A, R-404A, R-407C	B1	R-123, R-245fa R-514A
	Menor inflamabilidade LII > 3,5% vol/ar LII > 0,10 kg/m³ HOC < 19 MJ/kg com velocidade máxima de queima de 10 cm/s	A2L	R-32, R-143a, R-1234yf, R-1234ze, R-454B	B2L	R-717
	Inflamáveis LII > 3,5% vol/ar LII > 0,10 kg/m3 HOC < 19 MJ/kg	A2	R-152, R-142b, R-405A, R-411A	B2	R-723, R-30
	Altamente inflamáveis LII ≤ 3,5% vol/ar LII ≤ 0,10 kg/m3 HOC ≥ 19 MJ/kg	A3	R-290, R-600a, R-1270, 433B/C	B3	R-1140
		Toxicidade mais baixa LEO ≥ 400		**Toxicidade mais alta LEO < 400 ppm**	
		Requisitos mais onerosos >			

Fonte: ISO 817.

5.5.4.1 Limite inferior de inflamabilidade (%, kg/m³)

É a concentração mais baixa de gás no ar necessária para a mistura se incendiar na presença de uma fonte de ignição. Abaixo do limite inferior de inflamabilidade (LII), a quantidade de combustível é insuficiente para que ocorra a queima. Normalmente, existe um intervalo de valores para cada substância, por conta da sensibilidade à escolha da fonte de ignição, pressão, temperatura da mistura e umidade do ar.

5.5.4.2 Limite superior de inflamabilidade (%, kg/m³)

É a concentração mais alta de gás no ar que possibilita que a mistura se incendeie na presença de uma fonte de ignição. Acima do limite superior de inflamabilidade (LSI), a quantidade de oxigênio é insuficiente para que ocorra a queima. Normalmente, existe um intervalo de valores para cada substância, por conta da sensibilidade à escolha da fonte de ignição, pressão, temperatura da mistura e umidade do ar.

5.5.4.3 **Limite prático (kg/m3)**

O limite prático (LP) é definido como um valor limite para uma concentração aceitável de um fluido refrigerante em um espaço ocupado abaixo do qual não há expectativa de nenhum "efeito nocivo de exposição". Ele também é usado para estimar a carga máxima permitida de um fluido refrigerante. Para fluidos refrigerantes com inflamabilidade mais alta, como os HCs, o limite prático é definido como 20% do limite inferior de inflamabilidade (LII). Consequentemente, a quantidade permitida de fluido refrigerante HC tende a ser bem mais baixa do que para a maioria dos demais fluidos refrigerantes. Para outros fluidos refrigerantes, o limite prático se refere mais a valores de limite de exposição a toxicidade aguda/limite de privação de oxigênio (ATEL/ODL).

O valor do limite prático para fluidos refrigerantes é expresso pela unidade kg/m^3, que significa a quantidade máxima de fluido refrigerante em kg por m^3 por volume da sala. O valor do limite prático para fluidos refrigerantes é, conforme a definição da EN 378 Parte 1, a concentração mais alta em um espaço ocupado que não requer providências agudas para o escape. Esse valor é usado como base para determinar a carga máxima de fluido refrigerante para uma aplicação específica. Portanto, o valor do limite prático é usado para calcular a quantidade máxima de fluido refrigerante que pode entrar em um espaço ocupado por pessoas sem colocá-las em risco.

5.5.4.4 **Velocidade de propagação da chama (velocidade de chama)**

A velocidade de queima ("Su" a 23 °C), também chamada de velocidade de chama, é medida em cm/s e foi adotada como parte da norma para caracterizar os novos fluidos refrigerantes mais inflamáveis. Trata-se da velocidade na qual uma chama se espalha pela superfície de substâncias sólidas e líquidas.

A velocidade de queima é definida como a "velocidade máxima (cm/s) na qual uma chama laminar se propaga em uma direção normal relativa ao gás não queimado em frente dela" (norma ANSI/ASHRAE 34, equivalente a ABNT NBR 16666). Essa propriedade é usada para ajudar a classificar os fluidos refrigerantes A2L, que devem ter uma velocidade de queima ≤ 10 cm/s.

Os hidrocarbonetos (A3) apresentam uma velocidade de queima significativamente maior que a dos produtos A2L. Isso tem implicações sobre a segurança, uma vez que velocidades de queima mais rápidas podem produzir riscos potenciais mais elevados. Eventos de ignição ocorridos com fluidos refrigerantes A3 com velocidades mais rápidas de queima podem resultar na rápida propagação da chama. Além disso, a propagação mais rápida da chama pode provocar taxas mais rápidas de elevação da pressão, o que também pode aumentar a gravidade de eventos de ignição.

5.5.4.5 **Energia mínima de ignição**

A energia mínima de ignição (EMI, em mJ) também é um parâmetro importante de inflamabilidade a ser considerado na hora de projetar um equipamento de AVAC-R com gases inflamáveis. Trata-se da quantidade mínima de energia necessária para fazer uma mistura inflamável de gás/ar se incendiar. As fontes de ignição abaixo desse nível não produzem ignição. Os vapores de hidrocarbonetos podem

se incendiar facilmente por causa de diversas fontes de energia, como faíscas e chamas, mas também com níveis mais baixos produzidos por eletricidade estática.

5.5.4.6 **Calor de combustão**

O calor de combustão (HOC em mJ/kg) é o calor liberado por unidade de massa durante a combustão de determinada substância. Quanto mais alto o calor de combustão, maior é o risco, já que ele pode levar a temperaturas mais elevadas durante um evento de ignição, aumentando potencialmente sua gravidade.

5.5.4.7 **Ponto de fulgor**

É a temperatura mínima de uma substância líquida necessária para gerar vapor suficiente para que ela se incendeie. Logo, abaixo da temperatura de ponto de fulgor, o vapor é insuficiente para que ocorra alguma chama. Assim como acontece com outras características, o ponto de fulgor pode ser medido de diferentes maneiras, embora o método preferido seja o de vaso fechado. Substâncias com ponto de fulgor abaixo de 21 °C são chamadas de "extremamente inflamáveis", enquanto as com ponto de fulgor entre 21 °C e 55 °C são "inflamáveis", e as que estão acima de 55 °C são "combustíveis". Os fluidos refrigerantes HC comuns são todos extremamente inflamáveis.

5.5.4.8 **Temperatura de autoignição**

A temperatura de ignição de superfície quente (HSIT) é aquela na qual uma substância ou superfície de contato deve ser aquecida, para que uma substância inflamável sofra autoignição na presença de oxigênio, apenas por causa de sua temperatura (isto é, sem fonte de ignição como, uma faísca ou chama).

5.5.5 **Abordagem básica para trabalhar com fluidos refrigerantes inflamáveis**

Existem precauções gerais para manusear fluidos refrigerantes de forma segura, que se aplicam tanto aos inflamáveis quanto aos não inflamáveis.

⚠ **Precauções gerais para trabalhar com fluidos refrigerantes**

- Evite contato com os olhos, a pele e as roupas;
- Evite inalar o gás;
- Use apenas com ventilação adequada;
- Use um respirador apropriado quando a ventilação for inadequada;
- Não entre em áreas de armazenamento nem em espaços confinados, a menos que estejam devidamente ventilados;
- Não perfure nem incinere recipientes como sistemas e cilindros;
- Cilindros vazios contêm resíduos do produto e podem ser perigosos;
- Use equipamentos apropriados para a pressão do cilindro;
- Feche a válvula depois de cada uso e quando estiver vazia;
- Proteja os cilindros contra danos físicos e não os arraste, role, deslize nem deixe cair; e
- Use um carrinho de mão adequado para movimentar o cilindro (se aplicável).

Além disso, existem algumas precauções especificamente relevantes para fluidos refrigerantes inflamáveis (classes A3, A2 e A2L).

⚠ Quando usar substâncias inflamáveis, verifique se:

- Todas as pessoas envolvidas sabem que uma substância inflamável está sendo usada e quais são as características dela;
- Estão sendo tomadas providências para evitar que a concentração da substância inflamável e do ar atinja o limite, quando se torna inflamável (isto é, para que não atinja o limite inferior de inflamabilidade - LII; garantindo a ventilação, por exemplo);
- Todas as pessoas estão cientes das práticas seguras de manuseio e armazenamento de substâncias inflamáveis;
- Foram apresentados e aplicados os procedimentos e projetos para evitar acidentes oriundos de substâncias inflamáveis;
- Em caso de concentrações perigosamente altas de fluido refrigerante, que ele seja removido o mais rápido possível para diminuir o risco de incêndio ou explosão;
- Foram tomadas as devidas medidas de precaução contra descargas eletrostáticas;
- O armazenamento e o uso estão longe de fontes de calor, faíscas, chama aberta ou qualquer outra fonte de ignição; e
- Estão sendo usadas ferramentas e equipamentos elétricos e outros que não atuem como fonte de ignição.

Não é que as substâncias inflamáveis simplesmente comecem a pegar fogo de maneira espontânea. Caso contrário, haveria explosões frequentes de carros ou fogões. Para que a combustão aconteça, é preciso preencher três condições na mesma hora e no mesmo lugar. O triângulo do fogo, que é um termo usado pela teoria geral da combustão, refere-se a essas três condições.

⚠ Triângulo do fogo:

1. Substância inflamável (combustível);
2. Oxigênio (ou comburentes, como água sanitária); e
3. Energia de ignição (calor, faíscas mecânicas, eletricidade).

Para iniciar o processo de combustão autossustentado, que é uma reação química, é necessário haver a taxa de mistura dessas três condições.

A taxa certa de mistura costuma ser chamada, portanto, de quarta condição.

A Figura 82 mostra as quatro condições e fornece exemplos de cada uma delas.

Figura 82 – Triângulo do fogo



Fonte: Rolf Huehren.

Durante o manuseio de fluidos refrigerantes, ou quando ocorre vazamento de fluidos refrigerantes em alguma sala, quase sempre estão envolvidas duas condições: presença de alguma substância inflamável e de oxigênio. O que pode e precisa ser controlado é a presença de fontes de ignição e a concentração de substâncias inflamáveis. Se a concentração for baixa demais ou alta demais, não ocorrerá a ignição.

Para avaliar o risco de explosão, avalie:

- A ocorrência de atmosferas perigosas explosivas; e
- A presença e eficácia de fontes de ignição.

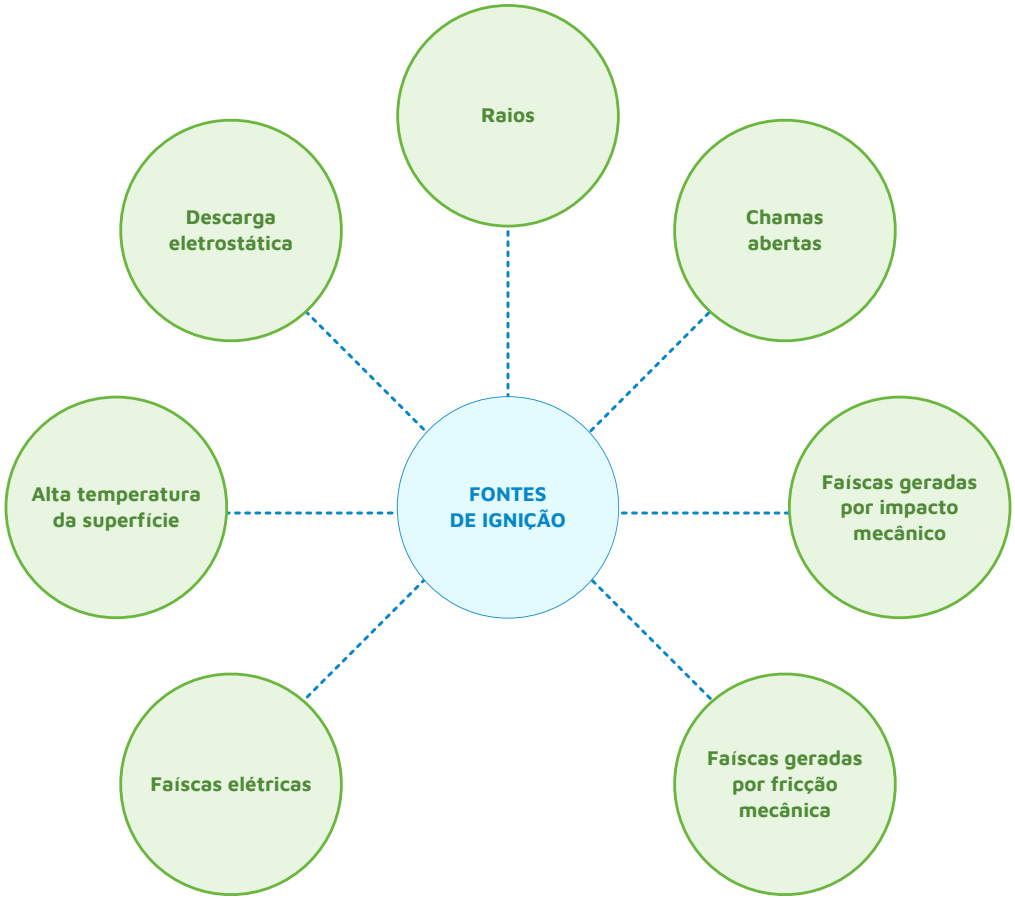
A consideração do impacto é de menor importância no processo de avaliação, já que, em caso de explosão, a expectativa é sempre que ocorra um alto nível de danos, que podem variar desde prejuízos substanciais à propriedade até lesões ou mortes.

5.5.6 Fontes de ignição de fluidos refrigerantes inflamáveis

As chamas abertas são as fontes de ignição mais óbvias, mas existem muitas outras. Elas devem ser evitadas a qualquer custo perto de um espaço de trabalho ativo de AVAC-R. É essencial que nenhuma nova fonte de ignição seja introduzida na hora de fazer a manutenção ou reparo de equipamentos de AVAC-R. Isto é especialmente relevante para a proteção de componentes elétricos, que não devem ser comprometidos.

A Figura 83 apresenta uma lista das fontes de ignição mais comuns.

Figura 83 – Fontes de ignição mais comuns



Fonte: Rolf Huehren.

5.5.6.1 **Raios**

O raio é como uma faísca na natureza, ou seja, uma descarga elétrica de curta duração, entre as nuvens ou entre as nuvens e a Terra.

5.5.6.2 **Chamas abertas**

As chamas abertas ocorrem desde um cigarro aceso até atividades de brasagem e solda (bicos de Bunsen, velas, fósforos, aquecimento com chama aberta, etc.).

Em geral, os equipamentos de AVAC-R com carga de fluido refrigerante inflamável não deveriam ser instalados ou ficar localizados em áreas com chamas abertas presentes. Isso pode incluir áreas com *cooktops* e fogões a gás, aquecedores de água a gás e aquecedores de ambiente a gás ou a lenha.

⚠ O detector hálide (lamparina), usado como detector de gás, serve apenas para fluidos refrigerantes clorados e não deve mais ser utilizado, independentemente do tipo de fluido refrigerante.

5.5.6.3 **Faíscas geradas por impacto mecânico**

Um exemplo de faíscas geradas por impacto mecânico é quando ocorre o golpe de martelo sobre uma superfície de aço enferrujado, que criará uma faísca mais fraca, em comparação com o golpe de martelo sobre uma pedra de sílex (rocha sedimentar silicatada), onde é gerada uma faísca forte. A velocidade e o ângulo de impacto entre a superfície e o martelo são importantes; um golpe em ângulo de 90o sobre uma superfície é relativamente inofensivo. Porém, em um ângulo raso a faísca é criada com facilidade.

5.5.6.4 **Faíscas geradas por fricção mecânica**

A combinação de materiais e velocidade (rotação) determina a eficácia da fonte de ignição. Por exemplo: a fricção de aço com aço a 4,5 m/s com uma força maior que 2 kN é uma fonte de ignição eficaz. A combinação de alumínio e ferrugem também é um perigo notório. Em geral, é preciso haver mais de uma faísca quente vermelha para ser uma fonte de ignição eficaz. A eletricidade estática derivada do acionamento de correias também deve ser levada em consideração.

5.5.6.5 **Faíscas elétricas / Fontes de ignição elétricas**

As faíscas elétricas podem ser criadas, por exemplo, por uma conexão elétrica defeituosa ou por um transmissor de pressão com defeito, abertura e fechamento de circuitos elétricos, ou motor elétrico com escovas. O teor de energia elétrica da faísca determina a eficácia da fonte de ignição.

Componentes elétricos podem ser fontes de ignição. Logo, é importante projetar ou fabricar equipamentos de AVAC-R de modo a evitar que o fluido refrigerante inflamável vaze e escorra ou se acumule perto de componentes elétricos.

Os componentes elétricos típicos, que fazem parte de sistemas de refrigeração e poderiam atuar como fonte de ignição, incluem:

- Chaves de liga/desliga, interruptores isoladores ou contatores;
- Relés de partida e relés do potencial;
- Interruptores para operação com pressão, degelo, fluxo, diferencial de óleo, nível de líquido, retardo ou tempo do ventilador;
- Sobrecargas térmicas;
- Motores de ventilador;
- Termostatos;
- Bombas de condensado;

- Minidisjuntores;
- Aquecedores de degelo cuja temperatura ultrapasse 350 °C;
- Controladores de velocidade de ventilador;
- Controladores programáveis; e
- Os telefones celulares também podem ser uma fonte de ignição elétrica. Eles não devem ser usados próximo ao trabalho direto na unidade/equipamento de refrigeração (como, por exemplo, na carga de um sistema de refrigeração ou no recolhimento de fluido refrigerante de um sistema de refrigeração).

Não se trata de uma lista exaustiva, mas mostra as fontes de ignição mais comuns com as quais um profissional na área de AVAC-R pode entrar em contato.

Equipamentos elétricos como ventiladores, aquecedores, tomadas elétricas, motores e qualquer outro equipamento elétrico instalado ou com chances de ser usado perto de sistemas, que contêm fluidos refrigerantes inflamáveis, também devem ser considerados, em especial equipamentos montados abaixo do sistema de refrigeração e no piso ou próximo do piso.

Os regulamentos nacionais devem ser seguidos durante a instalação de equipamentos elétricos. Equipamentos elétricos, que poderiam atuar como fontes de ignição, podem ser selecionados e instalados, de acordo com os objetivos da IEC 60079-14 Atmosferas explosivas – Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas. Essa norma contém os requisitos específicos para o projeto, seleção, montagem e inspeção inicial de instalações elétricas em atmosferas explosivas ou associadas a elas.

5.5.6.6 **Alta temperatura da superfície**

As superfícies quentes são geradas por elementos de aquecimento (radiadores, fogões, boilers, peças quentes de máquinas). A temperatura quente da superfície também pode ser o resultado de fresagem, retificação, fricção, fricção mecânica em uma caixa de vedação ou rolamento, ou de um líquido quente bombeado para dentro de um cilindro.

As substâncias inflamáveis têm uma temperatura de autoignição na qual elas podem entrar em combustão espontânea na presença de oxigênio. Para a maioria dos fluidos refrigerantes hidrocarbonetos, ela gira em torno de 450 °C. Por questões de segurança, a temperatura da superfície de todas as partes dos equipamentos não deve ultrapassar 100 K menos a temperatura de autoignição, então não deve ultrapassar 350 °C.

Durante a operação normal, as superfícies dos sistemas não devem atingir as temperaturas de autoignição.

Qualquer peça do equipamento, que poderia ter contato com o fluido refrigerante vazado e que poderia atingir uma temperatura alta em operação normal, deve ser verificada para garantir que a temperatura da superfície não ultrapasse a temperatura de autoignição menos 100 K.

⚠ Alguns fluidos refrigerantes e lubrificantes se decompõem quando aquecidos e liberam compostos tóxicos. Isso significa que pode haver perigo de toxicidade (ainda que não haja ignição) resultante do escape de fluido refrigerante, por causa de um vazamento ou procedimento de manutenção.

A decomposição térmica costuma acontecer a temperaturas próximas da temperatura de autoignição.

Consulte a ficha de dados de segurança (FDS) para determinar as características de decomposição térmica e o nível de risco no contexto de superfícies próximas, que possam atingir essas temperaturas. No caso de fluidos refrigerantes fluorados, tenha especial atenção para o potencial de geração de fluoreto de hidrogênio e de haleto de carbonila.

⚠ Alguns detectores de vazamento de gás comuns, como os que têm sensores a diodo aquecido, podem não ser aplicáveis para fluidos refrigerantes inflamáveis. Sempre verifique junto ao fabricante se é seguro usar seu detector.

5.5.6.7 **Descarga eletrostática (ESD)**

As faíscas de descarga são causadas por uma diferença no potencial, quando entram em contato com peças carregadas. A eletricidade estática pode ser gerada por ar deslizando sobre uma asa. A ESD ocorre quando objetos com cargas diferentes são colocados próximos uns dos outros ou quando o dielétrico entre eles se rompe, em geral criando uma faísca visível. A maioria das descargas eletrostáticas é gerada por "tribocarga", que é um processo de eletrificação por contato que possibilita acúmulo de eletricidade estática quando as superfícies se tocam ou se esfregam umas nas outras em combinações específicas de dois materiais diferentes (ex.: cabelo/pente; vidro/pele de animal; etc.).



Siga as precauções para eliminar a descarga eletrostática (ESD)!

Deve-se evitar o acúmulo de ESD durante a carga de um sistema de refrigeração/recolhimento de fluido refrigerante de um sistema de refrigeração com cilindro.

Recomenda-se fazer o aterramento elétrico de todos os equipamentos (fio terra), incluindo o corpo humano (durante o trabalho na unidade).



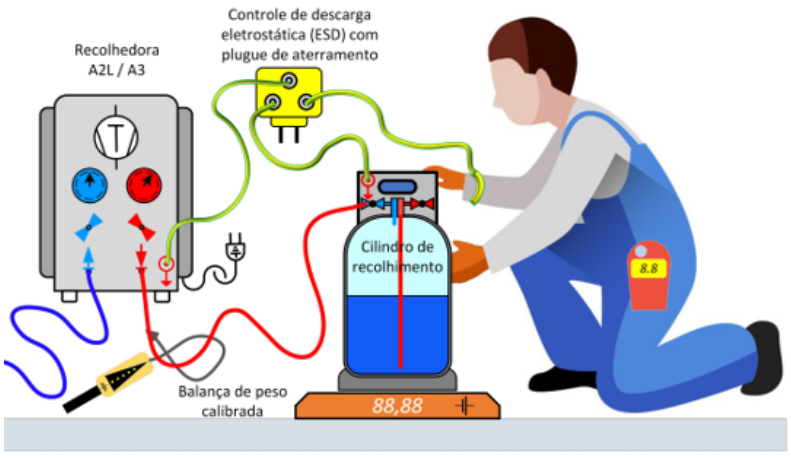
Para evitar a ESD, devem ser seguidos procedimentos que evitam ou eliminam a corrente elétrica.

O aterramento é fundamental para bloquear a ESD (veja a Figura 84).

Confira se tudo no ambiente de trabalho está conectado a um sistema confiável de aterramento, como segue:

- Deve ser usada uma tira de aterramento entre a conexão de latão de serviço do aparelho/sistema no qual o serviço será feito, o cilindro de carga/recolhimento de gás inflamável e a recolhedora (se aplicável);
- As tiras de aterramento devem ficar o tempo inteiro em contato com uma superfície de metal não pintada, para garantir a continuidade e a descarga de ESD;
- As tiras de aterramento ou pulseiras antiestáticas, usadas no pulso e ligadas a um condutor de aterramento, como um tapete no piso ou uma tomada de aterramento, direcionam de modo seguro a eletricidade estática para a terra; e
- Tapetes de aterramento ou antiestáticos, ligados a uma tomada de parede, proporcionam uma superfície de aterramento usada para absorver a eletricidade estática.

Figura 84 – Aterramento durante o trabalho para evitar descarga eletrostática



Fonte: Rolf Huehren.

5.5.6.8 **Radiação eletromagnética**

Várias formas de radiação eletromagnética de determinadas frequências podem servir de fonte de ignição, quando em densidades suficientes de energia. Por exemplo:

- Ondas eletromagnéticas de radiofrequência (RF) (104 Hz a 3 x 1.011 Hz);
- Ondas eletromagnéticas como as ondas de luz (3 x 1.011 Hz a 3 x 1.015 Hz);
- Radiação ionizante gerada, por exemplo, por tubos de raios X e substâncias radioativas; e
- Ondas de som ultrassônico.

Em geral, as superfícies receptoras/condutoras geram calor e recebem alta temperatura na presença de campos de energia suficientemente altos.

Substâncias inflamáveis não devem ser usadas nessas áreas.

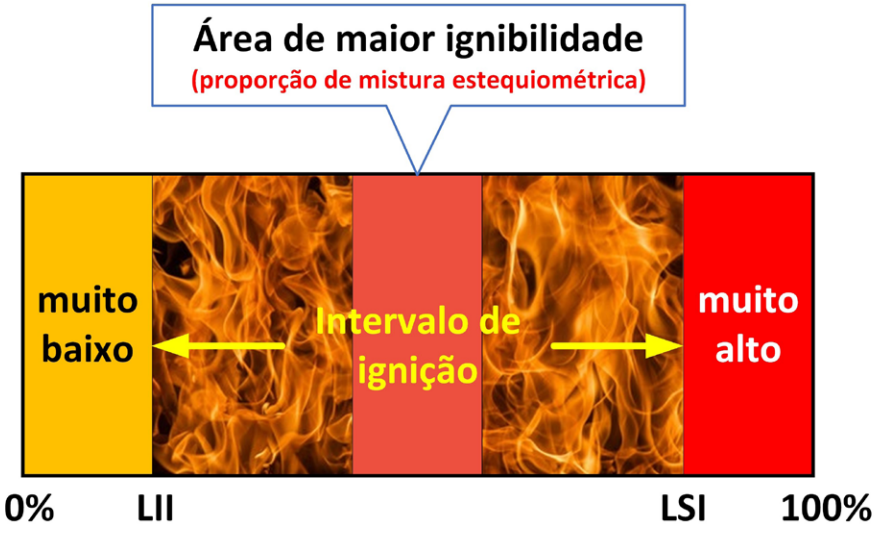
5.5.7 Concentração de substâncias inflamáveis

A Figura 85 mostra o intervalo de inflamabilidade para diversas substâncias inflamáveis. A concentração de substância inflamável tem que estar entre o limite inferior de inflamabilidade (LII) e o limite superior de inflamabilidade (LSI) para que a mistura seja inflamável.

Em espaços abertos, não é aceitável pensar que se a substância inflamável estiver acima do LSI isso já representa uma forma de evitar explosões, já que concentrações mais altas sempre se diluem para misturas com menor concentração.

Restrições de tamanho de carga em normas de segurança garantem que a concentração em uma sala não ultrapasse o LII.

Figura 85 – Intervalos de concentração de algumas substâncias inflamáveis selecionadas



	LII	LSI
Hidrogênio	4%	76%
Acetileno	1,5%	80%
Metano	5%	15%
Propano (R-290)	1,8%	8,4%
Isobutano (R-600a)	1,5%	9,5%
Difluorometano (R-32)	13%	33,4%

Os limites de explosão são quantidades específicas para cada substância.

Fonte: Rolf Huehren.

5.5.7.1 Exigência de pureza do R-290

A exigência de pureza é crucial para um sistema de refrigeração porque as impurezas no R-290 podem levar a vários problemas indesejados ou mesmo perigosos, como menor eficiência do sistema, potenciais danos aos componentes e riscos de segurança, como aumento da inflamabilidade e corrosividade.

Conteúdo de hidrocarbonetos:

O conteúdo de propano no R-290 deve ser, tipicamente, 99,5% ou superior. A alta pureza garante que o fluido refrigerante funcione eficientemente sem causar danos ou ineficiência no sistema.

Conteúdo de umidade:

O conteúdo de umidade no R-290 deve ser extremamente baixo, tipicamente menos de 10 ppm (partes por milhão). O excesso de umidade pode causar formação de gelo, corrosão e acúmulo de ácidos no sistema de refrigeração, levando a falhas.

⚠ **Gases não condensáveis:**

Os gases não condensáveis, como nitrogênio ou oxigênio, devem ser minimizados, geralmente abaixo de 1,5%. Esses gases não se condensam no sistema e podem reduzir a eficiência da refrigeração e aumentar a pressão do sistema.

Outras impurezas:

Impurezas, como compostos de enxofre, hidrocarbonetos não saturados ou contaminantes outros, devem ser minimizadas para o mínimo possível, normalmente abaixo de 0,01%. Essas impurezas podem causar corrosão, reduzir o desempenho e trazer outros riscos à segurança.

⚠ **Compostos odorantes**

Os compostos odorantes, que geralmente são adicionados a gases de combustão como um aviso de perigo, raramente são usados com fluidos refrigerantes hidrocarbonetos, devido aos efeitos prejudiciais nos sistemas de refrigeração. Mais do que isso, descobriu-se que eles se degradam em um tempo relativamente curto, de modo que o odor pode sumir. Geralmente, sempre que um cheiro de gás ("oleoso") for percebido vindo de hidrocarbonetos, é altamente provável que a concentração esteja bem acima do LII. Uma exceção é o R-1270, que tem um cheiro naturalmente pungente e pode ser sentindo pela maioria das pessoas antes de atingir um LII perigoso.

5.5.7.2 Reatividade do R-290 com água/umidade:

O R-290 (propano) não reage quimicamente com a água, e a presença de água no sistema pode levar a vários problemas operacionais, como formação de gelo, menor eficiência do sistema e problemas de lubrificação. O controle eficiente de umidade com comissionamento e manutenção/reparos regulares são cruciais, garantindo a operação confiável e eficiente dos sistemas de refrigeração que usam o R-290.

5.5.8 Gases não condensáveis (GNCs) e umidade

Gás não condensável	O gás não condensável é um gás que não se transforma facilmente em líquido, quando refrigerado nas condições normais, dentro de um circuito de refrigeração.

⚠ As declarações a seguir são os pontos-chave para a presença de gases não condensáveis na refrigeração:

1. Os gases não condensáveis ficam na forma gasosa mesmo com uma queda de temperatura em um condensador;
2. Exemplos comuns incluem nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2).
3. Esses gases não se condensam facilmente por causa de seus pontos de ebulição, que são muito baixos, se comparados com as temperaturas com que usualmente lidamos na aplicação de fluidos refrigerantes tradicionais ou naturais;
4. A presença dos GNCs reduz a eficiência do sistema de AVAC-R, potencialmente levando a maior consumo de energia e desempenho menos eficiente da refrigeração;
5. O oxigênio no ar cria uma mistura combustível crítica a pressões mais altas com fluidos refrigerantes inflamáveis e isso pode provocar acidentes fatais; e
6. Se houver uma faísca ou uma temperatura alta o suficiente dentro do circuito de refrigeração, o fluido refrigerante inflamável pode pegar fogo na presença do ar (oxigênio). Isso pode ocorrer devido a falhas elétricas e problemas mecânicos como contato com uma superfície quente.

5.5.8.1 Como lidar com gases não condensáveis (GNC) e umidade

Gases não condensáveis em um circuito de refrigeração incluem gases que não se condensam na pressão operacional do sistema, como, por exemplo, principalmente ar, nitrogênio, hidrogênio, hélio, etc.

De acordo com a norma AHRI 700 / ABNT NBR 16667 (Especificações para fluidos refrigerantes), o conteúdo de gases não condensáveis em fluidos refrigerantes não deve exceder 1,5% em volume da fase de vapor (a 25 °C). Esses valores, na verdade, aplicam-se a fluidos refrigerantes, mas também podem se aplicar a um circuito de refrigeração.

5.5.8.2 O que causa a presença de gases não condensáveis (GNC) em um circuito de refrigeração?

Os gases não condensáveis entram no circuito por causa de:

1. Evacuação inadequada durante a instalação ou reparo;
2. Vazamentos no circuito de refrigeração, especificamente no lado da sucção, se a pressão ficar abaixo da pressão atmosférica;
3. Conexões inapropriadas da mangueira de fluido refrigerante na hora de prestar serviço, fazer reparos ou manutenção (mangueira frouxa, integridade prejudicada, ausência ou danos na gaxeta); e
4. Reação química dentro do circuito de refrigeração.

5.5.8.3 Quais são os problemas associados a gases não condensáveis?

Além das implicações de segurança com fluidos refrigerantes inflamáveis, os problemas associados aos gases não condensáveis são consideráveis e podem

muito bem levar à falha de todo o sistema. Em todo caso, o gás não condensável leva, por um lado, a um consumo de energia maior pelo compressor e, por outro, a uma capacidade de refrigeração menor. Em situações extremas, pode ocorrer corte no pressostato de alta pressão. GNCs (se presentes) viajam pelo circuito e podem se acumular dentro do condensador. Um indicador importante de contaminação no circuito de refrigeração é o visor de líquido do compressor. Se o óleo lubrificante estiver escuro e turvo, será necessário trocar o filtro secador e o óleo imediatamente! Outras atividades serão necessárias se for identificado ácido no óleo (veja também o Capítulo 8.1).

Além disso, o conjunto de problemas associados a gases não condensáveis inclui:

1. Os gases não condensáveis levam a uma maior pressão de condensação e a um maior consumo de energia;
2. Maiores temperaturas de descarga;
3. Maiores estresses térmico e mecânico;
4. A presença de ar, geralmente é associada com o ingresso de umidade; e
5. O conteúdo de oxigênio leva à corrosão e, se houver umidade, decomposição da reação química do fluido refrigerante.

5.5.8.4 Reações químicas no circuito de refrigeração e seus efeitos

Um sistema muito complexo de substâncias está presente no circuito de refrigeração. Além de materiais de constituições metálica e orgânica, há fluido refrigerante e óleo no circuito. Também pode haver outras impurezas, como água e ar. Especialmente a altas temperaturas, pode haver muitas reações químicas e produtos de reações.

As mais importantes são:

Corrosão

Água e ar levam à corrosão, mas o fluxo também contribui para isso durante o processo de brasagem. Durante a brasagem, sem gás inerte, são formados óxidos de cobre e ferro (incrustação).

Revestimentos de cobre

O cobre é dissolvido em óleo pela água e torna-se ácido em temperaturas altas. As partículas finas de cobre são depositadas principalmente nos trilhos dos cilindros, em rolamentos e vedações do duto em que ocorrem temperaturas altas.

Ácido

Ácidos inorgânicos são formados pela decomposição do fluido refrigerante na presença de água, mas os ácidos orgânicos também podem ser formados pela decomposição do óleo.

Resina de óleo

Moléculas grandes (polímeros) são formadas de produtos da decomposição do óleo na presença da água. Uma massa escura e borrachenta é formada.

Borra de óleo

A formação da borra é iniciada pelas impurezas e ácidos orgânicos do óleo.

Esse processo é acelerado pela decomposição do fluido refrigerante em altas temperaturas e pela ocorrência de ácidos inorgânicos.

A Tabela 31 oferece um resumo das falhas do sistema de refrigeração e os produtos de reação que podem causá-las.

Tabela 31 – Defeitos no sistema de refrigeração devido a produtos de reações químicas

	Defeitos no sistema de refrigeração	Produtos de reações químicas
1	Desgaste de rolamento, gripagem de rolamentos e pistões, resultando em quebra da biela e, possivelmente, queima do compressor.	Resina de óleo, borra de óleo, incrustação e revestimentos de cobre.
2	Destruição do enrolamento do motor.	Acidez.
3	Entupimento dos capilares e das válvulas de expansão.	Resina de óleo, borra de óleo, incrustação, óxidos e substâncias extrativas.
4	Corrosão de materiais e vazamentos.	Acidez e água.
5	Congelamento dos capilares e das válvulas de expansão.	Água.
6	Pressão de condensação aumentada, capacidade frigorífica reduzida.	Gases não condensáveis.

Fonte: Rolf Huehren.

5.5.8.5 **Identificação da água no circuito de refrigeração**

Um conteúdo de umidade excepcionalmente alto no circuito de refrigeração é detectado pelo profissional capacitado pelo visor de líquido com um indicador de umidade. Um conteúdo de umidade alto também é perceptível pelo congelamento de dispositivos de expansão, como capilares ou válvulas de expansão, durante a operação do sistema. Se houver dúvida, é possível usar testadores de umidade.

5.5.8.6 **Remoção de gases não condensáveis e água dos circuitos de refrigeração**

Somente uma evacuação cuidadosa e suficiente de todo o circuito de refrigeração pode evitar os problemas associados a gases não condensáveis e umidade. Para manter a conformidade com o valor limite, cada circuito de refrigeração teria que ser evacuado até um nível de vácuo final de 250 a 500 mícrons (medido no circuito de refrigeração, não na bomba de vácuo!) antes de realizar a carga com o fluido refrigerante. Como regra geral, um circuito de refrigeração deve conter o mínimo possível de contaminantes.

5.5.8.7 O "efeito diesel", combustão por autoignição e explosão

Esse efeito pode ocorrer durante o recolhimento do fluido refrigerante em "procedimentos de serviço", parada por recolhimento (*"pumping out"/ "pumping down"* o circuito de refrigeração; veja a Figura 86).

5.5.8.7.1 Por que o motor a diesel também é chamado de motor de ignição por compressão (autoignição)?

O motor a diesel também é conhecido como motor de "autoignição". O motivo: diferente do motor a gasolina, o motor a diesel não injeta uma mistura de combustível-ar. Em vez disso, ar puro é injetado, comprimido de modo tão forte na câmara de combustão que é aquecido até cerca de 700 °C.

Autoignição de um combustível se refere à ignição espontânea de uma mistura de combustível-ar sem uma fonte de ignição, por exemplo: através da compressão no motor. Nos motores a gasolina esse processo não é desejado, mas em motores a diesel isso constitui a base da operação.

Nos motores a diesel, a ignição espontânea dos vapores de um combustível é utilizada. O combustível diesel, que possui temperatura de ignição de cerca de 255 °C, é normalmente utilizado. Essa temperatura pode ser ultrapassada devido à alta taxa de compressão com a qual o ar é comprimido no motor.

Como toda combustão, esse processo requer:

Ignição = combustível + oxigênio + calor

O combustível é o diesel, o oxigênio está presente no ar, e o calor ou aumento de temperatura é criado pelos altos níveis de compressão.

5.5.8.7.2 Qual é a relação com AVAC-R e quando isso pode acontecer durante reparos em equipamentos de AVAC-R?

Em um sistema por compressão de vapor (sistema de RAC), o mesmo efeito pode ocorrer, a ignição espontânea de vapores de óleo lubrificante e ar que entra, provocando a combustão e explosão extrema.

Por exemplo: ao trabalhar em circuitos de refrigeração com carga de fluido refrigerante (sistemas unitários) ou em aparelho de ar condicionado do tipo split, pode ser tornar necessário recolher todo fluido refrigerante do sistema para o tanque de líquido e/ou para o condensador, para evitar vazamento de fluido refrigerante na atmosfera. Durante esta operação, o evaporador (ou a parte do sistema isolada) e o lado de sucção do compressor tornam-se vácuo (veja também Figura 86).

Isso acontece quando o fluido refrigerante é removido da válvula de bloqueio atravessando o evaporador para o lado de sucção do compressor fechando a válvula de bloqueio X2 (linha de injeção ou válvula de expansão termostática) e o compressor continua funcionando temporariamente.

Se entrar ar no lado de sução devido a algum erro de operação (conexão flangeada com vazamento na sucção na válvula de bloqueio X1 ou na conexão de mangueira flexível no conjunto *manifold*), o óleo lubrificante no compressor pode provocar uma autoignição e uma explosão do diesel (veja a Figura 88).

Sob determinadas condições deficientes não controladas, durante as atividades de serviço descritas, uma mistura de ar e óleo lubrificante poderia queimar

espontaneamente. O efeito da combustão seria acelerado com extremo aumento de pressão, aumento de temperatura em conjunção com o fluido refrigerante envolvido (ex.: R-134a, R-410A, R-32, R-290, etc.). Deve-se tomar muito cuidado para não realizar atividades de parada por recolhimento ("*pump out*") em, por exemplo, aparelhos de ar condicionado do tipo split em modo de operação de aquecimento (bomba de calor), considerando que o "evaporador" se transformou em um condensador neste caso, não tendo o volume interno suficiente para o armazenamento temporário de fluido refrigerante.

Efeito diesel em atividades de parada por recolhimento ("*pump out*")	Caso um procedimento de parada por recolhimento ("*pump out*") seja seguro de acordo com as circunstâncias aqui descritas, as atividades só devem ser realizadas se não houver entrada de ar no lado de sucção do circuito de refrigeração e se o tanque de líquido/condensador for capaz de admitir o fluido refrigerante transferido!

Antes de realizar o recolhimento para outra parte do sistema ("*pump out*"), confira se você sabe a carga total de fluido refrigerante do sistema. De fato, cada sistema deve apresentar uma etiqueta com a carga inicial (fabricante) e a carga adicional no local (devido à extensa tubulação durante a instalação). Se a quantidade total de carga não estiver clara (por exemplo, se for a primeira vez que você vê a instalação e não há registros de serviço ou instalação), sempre suspeite que o sistema pode estar sobrecarregado ou que pode haver ar no circuito de refrigeração (devido a práticas indevidas de serviço). Se for esse o caso, você deve recolher a carga de fluido refrigerante por completo com o uso de uma recolhedora e um cilindro de recolhimento. Fazendo isso, você consegue determinar a carga de fluido refrigerante com o uso de uma balança.

Infelizmente, também durante o recolhimento de fluido refrigerante do sistema para cilindros de recolhimento, o processamento de ar durante a operação continua sendo uma atividade altamente perigosa. Cilindros de recolhimento cheios de ar apresentam implicações de segurança não classificadas. Sempre confira se todas as conexões permanentes e temporárias do circuito de refrigeração estão bem firmes para evitar a entrada de ar!

As novas unidades aperfeiçoadas de ar condicionado (independentemente do tipo de fluido refrigerante) podem ter condensadores do tipo microcanal com volume interno reduzido e receptividade para fluidos refrigerantes. Se você tentar fazer o recolhimento para a unidade externa de um sistema do tipo split em um desses casos, pode acabar acumulando rapidamente pressão e temperatura excessivas. Pressões e temperaturas altas aumentam a probabilidade de uma explosão perigosa, ainda que não haja combustão.

Figura 86 – Suspeita de operação de recolhimento de fluido refrigerante para dentro do condensador ("*pump out*")



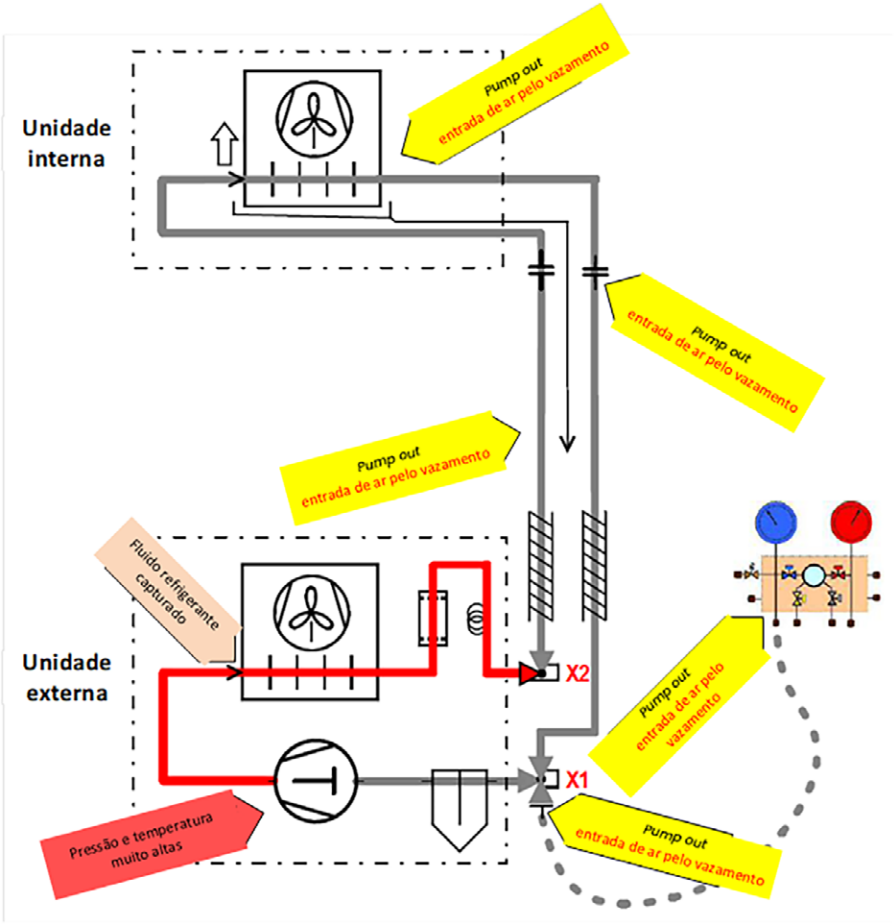
Fonte: Rolf Huehren.

Figura 87 – Explosão e combustão rápidas e grandes



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 88 – "Efeito diesel" – Exemplo de recolhimento de fluido refrigerante para dentro do condensador ("*pump out*"), se houver entrada de ar envolvida



Fonte: Rolf Huehren.

5.5.9 A importância do uso do nitrogênio seco sem oxigênio (OFDN) no setor de AVAC-R

O nitrogênio é um gás natural e não contribui para a poluição ambiental, em geral, se for liberado para a atmosfera. O nitrogênio é insípido, inodoro e incolor e consiste em 78,08% do ar que respiramos. Além disso, o nitrogênio não é inflamável e não provoca combustão.

Para as tecnologias de refrigeração, o nitrogênio está disponível nas formas líquida e gasosa. O nitrogênio (OFDN) geralmente usado para a manutenção de sistemas de refrigeração e ar condicionado é fornecido e transportado em cilindros de alta pressão. Os cilindros de OFDN, comumente usados em sistemas de RAC, são especificados na Tabela 32.

Os procedimentos de testes de pressão são realizados em temperaturas altas. As pressões são altas o suficiente para causar ferimentos graves ou até mesmo morte. O nitrogênio é asfixiante e causa sufocamento quando em concentrações muito altas.

Tabela 32 – Cilindro comumente usado para OFDN e gás marcador

Conteúdo do cilindro (litros)	Pressão da carga (bar)	Conteúdo do gás (m^3)	Peso bruto do cilindro (ca. kg)
5	200	1	9,8
10	200	1,911	15,7
20	200	3,822	37,0
50	200	9,556	77,7

Fonte: Rolf Huehren.

Para uso em tecnologias de instalação, serviço e manutenção de AVAC-R, use apenas OFDN e cilindros com um regulador de pressão confiável e apropriado para reduzir, com segurança, a pressão do gás até um nível controlado. O gás OFDN deve ser transferido somente para o circuito de refrigeração usando-se uma mangueira de transferência projetada e certificada para esse fim (exceto tecnologia de R-744). Para a maioria dos casos, as mangueiras de transferência de fluido refrigerante podem ter essa classificação. Verifique as mangueiras de fluido refrigerante para uso confiável com gás OFDN pressurizado.

5.5.9.1 Pureza do OFDN e misturas

Tabela 33 – Pureza do OFDN e misturas

Substância	Qualidade	Pureza Vol.%	Conteúdo de umidade ppmv
Nitrogênio N2 (OFDN)	Mínimo 4,0	99,99	≤ 30
Gás marcador N2/H2 na mistura 95%/5%			≤ 30

Fonte: Rolf Huehren.

No geral, o gás OFDN na refrigeração é usado para as seguintes atividades:

1. Teste de vazamento junto a uma solução fraca de água com sabão (teste com espuma de sabão);
2. Teste de pressão (teste de resistência) de sistemas de RAC;

3. Na concentração mista com hidrogênio (95% de nitrogênio e 5% de hidrogênio), chamado de "gás marcador", para procedimentos de teste de vazamento em combinação com detectores de vazamento de hidrogênio;
4. *Flushing* do circuito de refrigeração para remover contaminantes e, por exemplo, para liberar componentes e capilares de obstruções;
5. Purga do ar da tubulação (inertização) antes do aquecimento e durante a brasagem (para evitar a formação de óxidos de cobre na superfície interna dos tubos);
6. Purga dos fluidos refrigerantes da tubulação e de componentes durante a brasagem para evitar a produção de produtos extremamente tóxicos, ácidos e prejudiciais;
7. Durante o processo de evacuação (quebra do vácuo com OFDN);
8. Como "carga estável", quando é transferido para um sistema ou componentes antes da montagem para evitar a entrada de ar e umidade; e
9. Limpar superfícies de trocadores de calor (por exemplo, condensador) de sujeira e poeira.

Na maioria das atividades listadas acima, o OFDN pode ser implantado com a capacidade favorável de absorver uma fração grande da água restante, em um circuito de refrigeração, durante os procedimentos de comissionamento do sistema. A Figura 89 mostra um exemplo de organização do cilindro do OFDN.

Figura 89 – Exemplo de organização do cilindro OFDN com regulador de pressão



Fonte: Rolf Huehren – Perkeo.

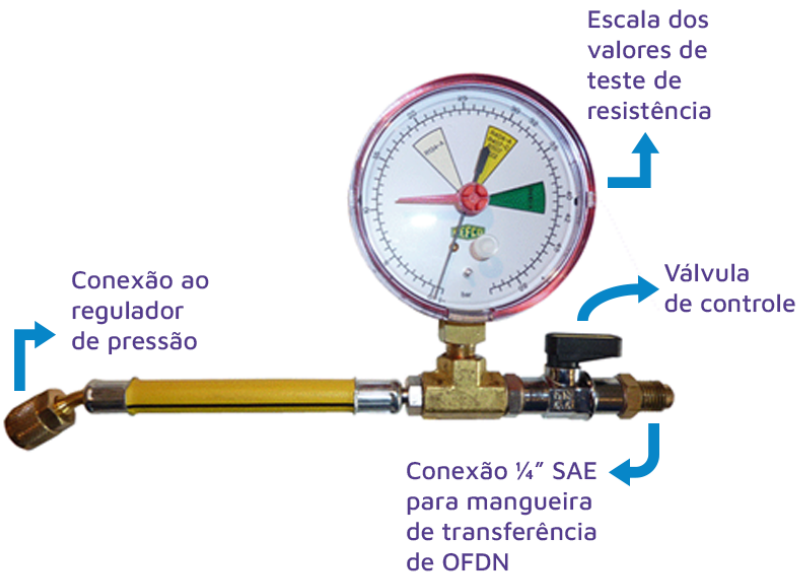
É essencial usar um regulador de pressão adequado conectado ao cilindro de nitrogênio. O regulador tem um dispositivo de limitação de saída. A classificação de tal dispositivo deve ser de acordo com o fluido refrigerante usado. Geralmente, uma saída máxima (pressão de trabalho) de 60 bar (6 MPa) é suficiente para cobrir fluidos refrigerantes HCFC, HFC e HC. Para tecnologias de dióxido de carbono (R-744), a pressão de trabalho do regulador de pressão do OFDN deve ser de, pelo menos, 100 bar (10 MPa). O profissional qualificado deve monitorar a pres-

são absoluta dentro do sistema de AVAC-R para não haver excesso de pressão no sistema ou nos componentes, o que pode causar danos ou uma situação perigosa.

Se os manômetros estiverem sendo usados para procedimento de teste de pressão, é essencial que esses manômetros não tenham um visor de líquido! Os visores de líquido podem se romper durante o teste de pressão, provocando lesões graves nas pessoas envolvidas.

Há kits adequados de teste de pressão do OFDN disponíveis para monitoramento do sistema de RAC (por exemplo, REFCO e WIGAM). Conforme mostrado na Figura 90, o manômetro intermediário instalado entre o sistema e o regulador de pressão do OFDN indica o valor correto do teste de pressão de acordo com o fluido refrigerante usado (HC, HFC, HCFC, HFO).

Figura 90 – Conjunto do manômetro de pressão intermediário

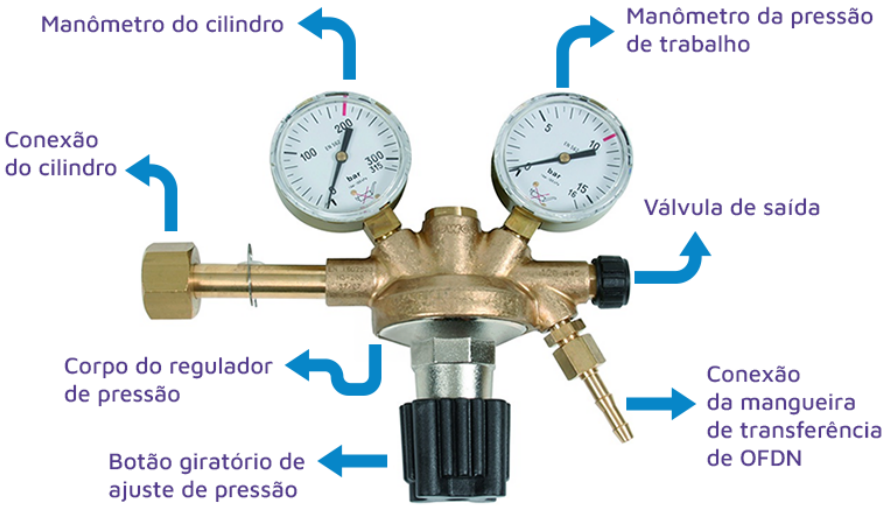


Fonte: REFCO.

5.5.9.2 **Regulador de pressão**

Os reguladores de pressão (veja a Figura 91) são projetados para controlar a pressão e são fornecidos com manômetros para indicarem a pressão. Os reguladores não medem ou controlam o fluxo do fluido de OFDN, a menos que tenham sido equipados com dispositivos, como válvulas de medição ou medidor de fluxo, que tenham sido especialmente projetados para esse fim.

Figura 91 – Exemplo de regulador de pressão do OFDN



Fonte: Rolf Huehren.

5.5.10 **Fluidos refrigerantes secundários (glicóis) usados para o sistema de refrigeração em cascata**

Um fluido refrigerante secundário é um fluido usado para transferir calor da área ou processo que está sendo resfriado para um sistema de refrigeração primário.

Os fluidos refrigerantes secundários também são conhecidos como salmoura (água e anticongelante) e são muito usados em sistemas de refrigeração indiretos (por exemplo, *chiller*) como fluido de transferência de calor. Se as temperaturas de operação forem acima de 0 °C, também é possível usar água como fluido refrigerante secundário; por exemplo, em grandes sistemas de ar condicionado. Anticongelantes ou salmouras são usados quando é exigida a refrigeração abaixo das temperaturas de congelamento. Diferentemente, dos fluidos refrigerantes primários, os fluidos refrigerantes secundários não passam por mudanças de fase quando transportam energia de um local para outro. Uma propriedade importante de um fluido refrigerante secundário é o ponto de congelamento.

Em geral, o ponto de congelamento da salmoura é abaixo do ponto de congelamento de seus componentes. A temperatura na qual ocorre o congelamento da salmoura depende da concentração dela. A concentração na qual a temperatura mais baixa pode ser atingida sem solidificação é chamada de "ponto eutético".

Os fluidos refrigerantes secundários mais usados são água, etilenoglicol (EG; venenoso), propilenoglicol (PG) ou cloreto de cálcio (CC). As soluções de EG, PG, ou CC com água também são conhecidos como salmoura. Para temperaturas baixas e ultrabaixas, anticongelantes como Temper ou Dowtherm (nomes comerciais) podem ser usados.

5.5.10.1 Como os glicóis funcionam como fluidos refrigerantes secundários

Circuito de refrigeração primário:

No circuito de refrigeração primário, um fluido refrigerante (como dióxido de carbono ou um hidrocarboneto) absorve o calor do fluido refrigerante secundário.

Circuito de refrigeração secundário:

Como um fluido refrigerante secundário, a mistura de glicol com água (salmoura) absorve o calor do espaço ou processo sendo refrigerado e transfere esse calor para o fluido refrigerante primário.

O termo "salmoura":

O termo salmoura (ou água salgada) descreve água com uma solução de concentração específica de glicol, como um anticongelante. A salmoura é usada como fluido refrigerante secundário em instalações de refrigeração comerciais e industriais para o transporte de energia térmica. Por conta de suas propriedades corrosivas, as salmouras baseadas em sais foram substituídas por líquidos orgânicos, como propilenoglicol.

Definição de sistema secundário de refrigeração ou aquecimento, de acordo com a ABNT NBR ISO 5149:

Sistema secundário de refrigeração ou aquecimento é aquele que usa um fluido que transfere o calor do produto ou espaço, a ser refrigerado ou aquecido, ou de outro sistema de refrigeração ou aquecimento, para o sistema de refrigeração sem compressão e expansão do fluido.

5.5.10.2 Propriedades genéricas dos glicóis

1. **Depressão do ponto de congelamento:**
Sendo parte de salmouras, os glicóis diminuem o ponto de congelamento da água, permitindo que a mistura permaneça na forma líquida a temperaturas abaixo do ponto de congelamento da água.
2. **Eficiência de transferência de calor:**
Os glicóis têm boas propriedades de transferência de calor, o que os torna eficientes para manterem temperaturas consistentes.
3. **Inibição de corrosão:**
As formulações de glicol frequentemente incluem inibidores de corrosão para proteger os componentes do sistema de refrigeração contra corrosão. Inibidor é uma substância aditiva que influencia uma ou mais reações de tal forma que elas sejam desaceleradas, inibidas ou evitadas.

5.5.10.3 Comparação entre o etilenoglicol e o propilenoglicol

⚠ **Atenção:**

O propilenoglicol é geralmente a opção mais segura e sustentável em comparação com o etilenoglicol. Ele tem toxicidade menor, traz menos riscos à saúde e pode ser produzido de fontes renováveis, sendo uma escolha menos prejudicial ao meio ambiente. Para aplicações em que possa haver a exposição de seres humanos ou do meio ambiente, o propilenoglicol é a melhor alternativa.

Etilenoglicol:

A substância líquida etilenoglicol é usada para fazer soluções anticongelantes e descongelantes para carros, aviões e barcos. Também usada em fluidos de freios hidráulicos e tintas usadas em almofadas de carimbos, canetas esferográficas e gráficas. À temperatura ambiente, o etilenoglicol é um líquido transparente, sem cor e xaroposo (consistência de xarope).

Toxicidade: O etilenoglicol é altamente tóxico se ingerido. Mesmo em pequenas quantidades, pode levar a sérios problemas de saúde, incluindo insuficiência renal, depressão do sistema nervoso central e até morte.

Riscos da exposição: Ele é particularmente perigoso para crianças e animais de estimação devido a seu gosto doce, o que pode levar à ingestão acidental.

Regulação: Devido à sua toxicidade, os produtos contendo etilenoglicol frequentemente têm requisitos altos de manipulação e rotulação.

Propilenoglicol:

A substância líquida propilenoglicol é usada para servir de meio de transferência de calor, por exemplo, para aplicações de RAC, para controlar a viscosidade, dissolver agentes ativos ou proteger contra a corrosão. À temperatura ambiente, o propilenoglicol é um líquido transparente, sem cor e levemente xaroposo.

Toxicidade: O propilenoglicol é muito menos tóxico. Ele é geralmente reconhecido como seguro para uso em alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos pelo Regulamento Europeu de Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Substâncias Químicas (abreviadamente *REACH*, de sua forma inglesa Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals).

Riscos da exposição: Efeitos adversos são raros e geralmente ocorrem somente com doses muito altas ou em indivíduos com sensibilidades ou condições médicas específicas.

Regulação: Ele tem menos restrições regulamentares em comparação com o etilenoglicol e é amplamente usado em produtos para o consumidor final.

5.5.10.4 **Vaso de expansão para o circuito hidráulico de salmoura**

A função do vaso de expansão é lidar com excesso de pressão constante em temperaturas variadas e da variação de volume que pode aparecer nos sistemas hidráulicos de salmoura durante o funcionamento. O dimensionamento deve ser feito com cuidado, para a instalação funcionar satisfatoriamente, para corrigir a quantidade de fluido e a pressão adequada do sistema em condições operacionais variadas. Para dimensionamento do volume e escolha de materiais do vaso de expansão, é aconselhável falar com o fornecedor.

Figura 92 – Exemplo de vaso de expansão



Fonte: Flamco Contraflex.

Vaso de expansão para instalações vedadas de aquecimento e água gelada.

- Abastecimento de gás nitrogênio para manutenção mais longa da pré-pressão;
- Cada vaso é testado de fábrica;
- Diafragma: Borracha flexível com ação de rolo

Vaso de expansão	Os vasos de expansão são projetados para compensar a mudança no volume de água, ou de uma solução de salmoura, causada pelo aquecimento ou resfriamento do sistema de aquecimento ou refrigeração.

O vaso consiste em duas câmaras, das quais uma feita para o fluido do sistema, e a outra para conter o gás nitrogênio comprimido. Por razões de segurança, os vasos pressurizados devem ser inspecionados periodicamente.

O tanque de expansão (vaso) com volume e repressurização suficientes deve ser conectado antes do lado de sucção da bomba. A bomba deve suportar uma pressão estática alta o suficiente, no lado de sucção, para que não apareçam depósitos na bomba.

Para comissionamento e partida e para quando o sistema mantiver a temperatura ambiente, o vaso deverá conter o volume de líquido máximo para poder adicionar líquido ao sistema quando a temperatura for diminuída. Em um sistema com vaso de expansão repressurizado, é importante que a repressurização seja verificada e ajustada regularmente. O controle e o ajuste podem ser feitos somente quando o vaso está sem líquidos.

Uma válvula de fechamento e dreno corretamente projetada deve ser montada na conexão ao vaso de expansão. O ajuste da repressurização pode ser feito sem uma drenagem maior do fluido secundário.

No cálculo do tamanho de um vaso de expansão fechado, o volume de expansão do sistema é calculado primeiro. Isso depende da quantidade de líquido, do coeficiente da expansão de volume (varia enormemente com o tipo de líquido) e da variação de temperatura. Depois disso, deve-se pensar nas pressões mais alta e mais baixa permitidas, pois isso determina o tamanho da reserva de gás. Esse volume fornece, além do volume de expansão, o volume total do vaso.

É desejável manter a sobrepressão em todo o sistema durante a operação. Geralmente, a partida do sistema se dá à temperatura ambiente, e a temperatura vai sendo diminuída. O líquido ficará com um volume menor, e essa redução de volume pode ser compensada adicionando-se líquido.

A mistura da salmoura (propilenoglicol e água) deverá ser misturada previamente com água destilada para só assim ser abastecida no sistema. A concentração de PG pode ser verificada com o uso de um refratômetro.

5.5.10.5 **Determinação da concentração da salmoura (mistura de propilenoglicol e água)**

Determine a proteção contra congelamento usando um refratômetro. O dispositivo de medição permite que você verifique rapidamente a proteção contra congelamento de uma solução de salmoura de acordo com o princípio da refração (determinação do índice de refração).

Figura 93 – Refratômetro

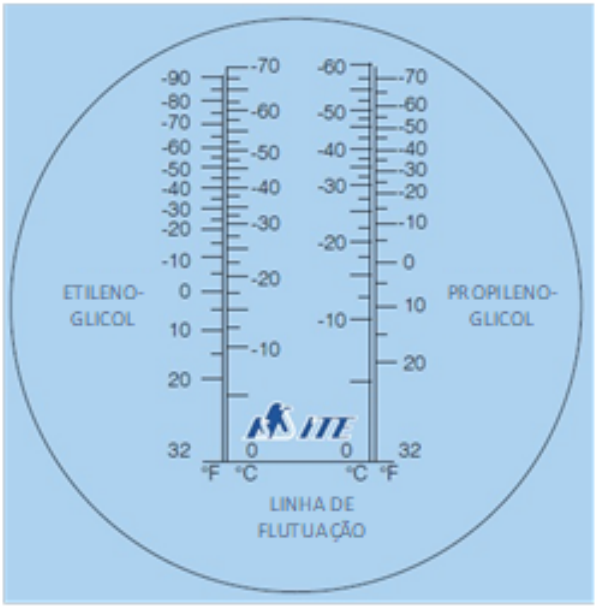


Fonte: ITE RFM-20.

Método de medição:

Aplique uma ou duas gotas do líquido de teste na superfície do prisma. Depois, pressione a placa iluminada na superfície do prisma. Mantenha a extremidade do refratômetro com a ponta contra a luz e vire o visor até que a linha de limite possa ser vista. Essa linha indica a proteção contra congelamento (índice de refração) para o fluido.

Figura 94 – Escala de índices de refração, para proteção contra congelamento, usada na medição da solução de propilenoglicol e água



Fonte: ITE.

Como as medições de refração são influenciadas por flutuações de temperatura, muitos refratômetros precisam ser calibrados antes de cada uso.

Verifique se o refratômetro usado tem um recurso de "Correção automática de temperatura (ATC)" que compensa automaticamente as flutuações de temperatura, eliminando a necessidade de calibração constante.

Ao fazer a calibração pela primeira vez (ou ao verificar a calibração a qualquer momento), assegure-se de que o prisma esteja limpo e aplique algumas gotas de água destilada na lente. Se a calibração estiver correta, a linha divisora estará no zero. Se esse não for o caso, gire o parafuso de ajuste para alinhar a linha divisora até que ela fique no zero.

Índice de refração	Os refratômetros são dispositivos de medição precisa para determinar o índice de refração de líquidos, o que permite conclusões sobre concentração, pureza ou qualidade.

5.5.10.6 **Retirada de ar do circuito de fluido secundário da salmoura**

A função do fluido secundário (salmoura) é transferir calor. A capacidade de transferência de calor da solução de salmoura é melhor quando não há gás ou ar misturados à salmoura. Quando o sistema hidráulico é abastecido com solução de salmoura, não é possível evitar que ar ou gás se misturem à salmoura. Esse geralmente é o caso em novas instalações, execução de reparos e manutenção do sistema.

Além de reduzirem a capacidade de transferência de calor, o ar ou gás também podem causar cavitação nos rotores da bomba e comportamentos inesperados do sistema. Esses problemas ficam ainda piores quando a solução de salmoura é uma mistura de água e propilenoglicol em vez de água destilada pura.

Por causa dos fatores mencionados acima, é muito importante retirar adequadamente o ar do sistema durante o comissionamento e após reparos e manutenção.

Geralmente, o ar é misturado à solução de salmoura como bolhas de ar muito pequenas. Essas bolhas são difíceis de separar do sistema, e a retirada do ar pode facilmente demorar alguns dias. Os dispositivos de retirada do ar, sejam automáticos ou manuais, facilitam a eficiência do processo.

Figura 95 – Ventilação de ar automática



Fonte: Flamco flexvent pro.

A solução de salmoura dentro da instalação hidráulica contém ar, que pode provocar corrosão e reduzir a transferência de calor. Uma ventilação de ar automática é colocada em locais nos quais o ar é coletado em um sistema.

Para o melhor desempenho, a ventilação de ar deve ser instalada em um tubo horizontal, no ponto mais alto do sistema.

- Equipado com corta bolhas;
- O duto de escape de ar pode ser aberto ou fechado com um parafuso de ajuste;
- A válvula de ventilação é parte integrante da tampa, de modo que é impossível danificar o mecanismo de ventilação de boia a partir do lado de fora.

Cavitação	Cavitação é o processo de formação de uma câmara de gás ou vapor em um líquido, reduzindo a pressão a uma temperatura constante do líquido.

5.5.11 Nomenclatura das substâncias possibilita diferenciação simples

A designação do tipo de fluido refrigerante é uma designação específica de nomenclatura de um composto químico ou mistura de compostos usados como fluido refrigerante.

O nome ou abreviação do meio de trabalho em questão pode ser identificado em cada caso individual. De acordo com as normas ANSI/ASHRAE 34, ISO 817 e a norma brasileira ABNT NBR 16666, esse nome consiste no uso da letra "R" antes do número para fluido refrigerante. O prefixo vem seguido de um código numérico, que por sua vez é seguido por letra(s) como sufixo, dependendo da estrutura molecular. Em princípio, o código numérico é composto de quatro dígitos, e os zeros da esquerda não são exibidos. Letras adicionais descrevem especificações extras e possibilitam distinguir precisamente entre substâncias parecidas.

Sobre a especificação do prefixo (R seguido ou não de hífen), existe uma contradição na definição entre a ASHRAE 34 (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado) e a ISO 817 (Organização Internacional de Normalização).

De acordo com a norma ISO 817, o número identificador, como determinado pela Cláusula 4 da norma, deve vir precedido pela letra R ou pela palavra Refrigerante(s), a menos que estejam sendo usados prefixos designando a composição, conforme descrito na seção 5.2 da norma. Entre a letra R ou a palavra "refrigerante" e o número de designação, pode-se usar (ou não) um espaço ou hífen. Por exemplo: R134a, Refrigerante 134a e R 134a.

De acordo com a ASHRAE 34, os fluidos refrigerantes são nomeados com R-, seguidos do número designado pela ASHRAE (ex.: R-134a). A norma brasileira ABNT NBR 16666 segue a norma americana ASHRAE 34.

5.5.11.1 Designação de fluidos refrigerantes orgânicos explicada de forma simples com exemplos

Os fluidos refrigerantes orgânicos representam a maior variedade de fluidos refrigerantes orgânicos de transferência de calor para sistemas de refrigeração. A designação deles segue um código exclusivo no qual cada dígito representa um componente do fluido. A Tabela 34 mostra como funciona na prática.

Tabela 34 – Exemplos de designação de fluidos refrigerantes orgânicos

R-	Dígito 0	Dígito 1	Dígito 2	Dígito 3	-	Letra
Descrição	Composto insaturado	Carbono	Hidrogênio	Flúor	Cloro	Casos especiais
Determinação	Dígito número um	Número de átomos de carbono menos 1	Número de átomos de hidrogênio mais 1	Número de átomos de flúor por molécula	Número de compostos restantes	-

Continuação da Tabela 34 – Exemplos de designação de fluidos refrigerantes orgânicos

Exemplo R-123	-	2 átomos de carbono	1 átomo de hidrogênio	3 átomos de flúor	2 átomos de cloro	-
Exemplo R-22	-	1 átomo de carbono	1 átomo de hidrogênio	2 átomos de flúor	1 átomo de cloro	-
Exemplo R-13B1	-	1 átomo de carbono	0 átomo de hidrogênio	3 átomos de flúor	0 átomo de cloro	1 átomo de bromo
Exemplo R-1150	1	2 átomos de carbono	4 átomos de hidrogê-nio	0 átomo de flúor	0 átomo de cloro	-

Fonte: Rolf Huehren, conforme a ASHRAE 34.

No total, estão disponíveis quatro ligações por átomo de carbono. **Portanto, dois átomos de carbono também exigem duas ligações.** No caso do fluido refrigerante R-123, são oito ligações no total. Duas ocupam os próprios átomos de carbono, uma o átomo de hidrogênio, três os átomos de flúor, deixando duas para os átomos de cloro. No caso de substâncias com exatamente um átomo de carbono, o primeiro dígito seria zero, mas ele não aparece, como pode ser visto claramente no exemplo do fluido refrigerante R-22 (na verdade R-022).

5.5.11.2 Outras exceções na designação de fluidos refrigerantes orgânicos

- Se o composto contiver bromo, é para indicar acrescentando um "B". Um dígito extra indica o número de átomos de bromo. É importante saber que isso reduz o número possível de átomos de cloro. O exemplo do fluido refrigerante R-13B1 mostra o que isso quer dizer;
- Se a designação consistir em quatro dígitos, o primeiro indica um composto orgânico insaturado. Veja o exemplo do fluido refrigerante R-1150 na tabela;
- A letra "C" na frente dos números de código indica hidrocarbonetos cíclicos;
- Substâncias com mais de oito átomos de hidrogênio recebem a designação R-6XX porque não podem ser descritas de nenhuma outra maneira com os números 0 a 9;
- Letras minúsculas no final da designação descrevem isômeros dos compostos. A assimetria aumenta conforme a letra vai ficando para o final do alfabeto; e
- Se as letras "x", "y" e/ou "z" estiverem no final da designação, elas são hidrofluorolefinas, e as letras descrevem várias substituições.

5.5.11.3 Designação de compostos inorgânicos no grupo 700

Fluidos refrigerantes inorgânicos, que também incluem substâncias naturais como NH^3 (R-717) e CO^2 (R-744), podem ser identificados pelo número "7". Embora esse número caracterize a categoria, os outros dois dígitos representam a massa molar das substâncias. Como resultado, a amônia (R-717) tem massa molar de 17 gramas. O CO^2 (R-744), por outro lado, tem massa molar de 44 gramas. Se dois fluidos refrigerantes tiverem a mesma massa molar, eles podem ser diferenciados um do outro com o acréscimo de uma letra maiúscula.

5.5.11.4 **Misturas de fluidos refrigerantes pertencem aos grupos 400 e 500**

O terceiro grupo de fluidos refrigerantes são as misturas, que por sua vez podem ser divididas em misturas de fluidos refrigerantes zeotrópicas e azeotrópicas:

- As misturas de fluidos refrigerantes zeotrópicas mudam de temperatura durante a fase de transição no trocador de calor; elas têm uma variação de temperatura. Além disso, a composição das substâncias difere na fase gasosa e na líquida; e
- As misturas de fluidos refrigerantes azeotrópicas, por outro lado, comportam-se como fluidos refrigerantes puros de um único componente. Não apresentam variação de temperatura e devem ser usadas prioritariamente se for selecionada uma mistura de diferentes fluidos refrigerantes.

As misturas de fluidos refrigerantes são usadas quando os sistemas têm requisitos especiais para o fluido de transferência de calor. Assim, quando os fabricantes querem combinar as propriedades de diferentes fluidos, eles escolhem a forma da mistura.

É fácil reconhecer uma mistura de transferência de calor zeotrópica ou azeotrópica pela designação. Isso porque as misturas de fluidos refrigerantes zeotrópicas começam com "4" (por exemplo: fluido refrigerante R-407c). As misturas azeotrópicas, por outro lado, apresentam o número "5" no início da designação (ex.: R-507). Os números 2 e 3 também representam a composição qualitativa. Se houver uma letra depois do número, ela serve para distinguir entre diferentes composições.

Misturas zeotrópicas

As misturas zeotrópicas são compostas por componentes de fluidos refrigerantes que não se comportam como uma substância pura. Elas têm um ponto de ebulição sobre um intervalo de temperaturas. Esse fenômeno de variação da temperatura é conhecido como Glide. O Glide é a diferença (K - Kelvin) entre o início e o fim do processo de mudança de fase de um fluido refrigerante no evaporador ou no condensador.

Misturas azeotrópicas (não zeotrópicas)

Os componentes das misturas possuem as mesmas temperaturas de evaporação. A mistura do fluido refrigerante apresenta a mesma temperatura após a evaporação. Não há variações de temperatura. Os procedimentos de manuseio de fluidos refrigerantes com uma mistura azeotrópica são os mesmos que para fluidos refrigerantes com uma substância única.

Misturas quase azeotrópicas

Existe também o termo fluido refrigerante com mistura "quase azeotrópica". Essas misturas têm apenas uma mudança pequena (irrelevante) de temperatura que ocorre durante a mudança de fase. Além disso, a composição da fase de gás e líquido muda apenas ligeiramente no estado de equilíbrio. Os fluidos refrigerantes mais usados R-404A, R-410A, R-452B (R-454B) pertencem a esse grupo.

5.5.11.5 **Tipos de fluidos refrigerantes e prefixos**

Os compostos usados como fluidos refrigerantes podem ser descritos usando-se o prefixo apropriado acima, ou com os prefixos "R" ou "Refrigerante". Portanto, o CFC-12 pode ser R-12 ou Refrigerante 12.

Alcenos, alquenos ou olefinas são compostos insaturados que contêm pelo menos uma ligação dupla carbono-carbono.

A Tabela 35 mostra compostos de fluidos refrigerantes, o significado das siglas e os átomos na molécula.

Tabela 35 – Compostos de fluidos refrigerantes, significado e átomos

Tipo	Significado	Átomos na molécula
CFC	Clorofluorcarbono	Cl, F, C
CFO	Clorofluorolefina	
HCFC	Hidroclorofluorcarbono	H, Cl, F, C
HCFO	Hidroclorofluorolefina	
HFC	Hidrofluorcarbono	H, F, C
HFO	Hidrofluorolefina	
HCC	Hidroclorocarbono	H, Cl, C
HCO	Hidroclorolefina	
HC	Hidrocarboneto	H, C
HO	Hidrolefina (alceno; alqueno)	
PFC	Perfluorocarbono	F, C
PFO	Perfluorolefina	
PCC	Perclorocarbono	Cl, C
PCO	Perclorolefina	
H	Haloalcano	Br, Cl (em alguns, mas não todos), F, H (em alguns, mas não todos), C

Fonte: Rolf Huehren.

5.6 Campos de aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis

Fluidos refrigerantes naturais são substâncias que ocorrem naturalmente no meio ambiente. Os fluidos refrigerantes naturais são compostos pelos elementos hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio, e incluem hidrocarbonetos, dióxido de carbono, amônia, água e ar (também chamados de "os cinco grandes naturais").

As grandes vantagens dos fluidos refrigerantes naturais são que eles apresentam zero PDO, e o GWP é zero ou desprezível. Como parte dos ciclos biogeoquímicos naturais, os fluidos refrigerantes naturais não formam substâncias persistentes na atmosfera, na água ou na biosfera.

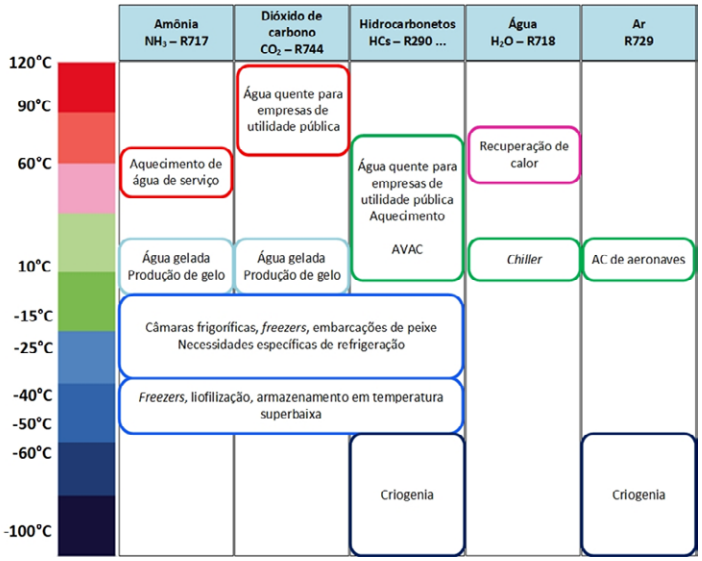
Tabela 36 – Designação e classificação dos principais (cinco grandes) fluidos refrigerantes naturais

Fluido refrigerante		Estrutura química	Nomenclatura do fluido refrigerante	GWP	Grupo de segurança
Hidrocarbonetos	Propano	C_3H_8	R-290	3	A3
	Propeno	C_3H_6	R-1270	3	A3
	Isobutano	C_4H_{12}	R-600a	3	A3
Dióxido de carbono		CO_2	R-744	1	A1
Amônia		NH_3	R-717	0	B2L
Água		H_2O	R-718	0	A1
Ar		N_2, O_2, Ar, CO_2, outros	R-729	0	A1

Fonte: Rolf Huehren.

Considerando a potencial redução gradual no uso dos fluidos refrigerantes HCFC, HFC e HFO, os fluidos refrigerantes naturais são vistos como alternativas viáveis para substituir os fluidos refrigerantes sintéticos em muitas aplicações e podem proporcionar efeito de resfriamento e/ou aquecimento em diferentes níveis de temperatura. Para muitas aplicações, já há décadas de experiência no uso desses fluidos. A Figura 96 mostra as faixas de aplicação em diferentes setores industriais.

Figura 96 – Aplicação de fluidos refrigerantes naturais em diferentes faixas de temperatura



Fonte: MYCOM-HEAT.

5.6.1 **Hidrocarbonetos**

Os hidrocarbonetos pertencem ao grupo de fluidos refrigerantes naturais orgânicos e têm a vantagem de não apresentar nenhum potencial de destruição da Camada de Ozônio, com potencial insignificante de aquecimento global. Em geral, os hidrocarbonetos são produzidos como subprodutos da indústria petroquímica.

Os fluidos refrigerantes à base de hidrocarbonetos são extremamente inflamáveis e o uso deles só é permitido em equipamentos que atendam aos requisitos das normas de segurança. Essas normas descrevem as características para que os aparelhos e sistemas cubram potenciais riscos que surjam com o uso de fluidos refrigerantes inflamáveis.

Os sistemas de refrigeração que usam hidrocarbonetos, em especial o isobutano (R-600a), agora dominam os mercados de refrigeração e freezers domésticos na Europa, representam 50% do mercado na China e estão crescendo no mundo todo. O propano (R-290) e outros hidrocarbonetos estão bem estabelecidos na refrigeração comercial e desenvolvimentos parecidos já estão se estabelecendo para sistemas de ar condicionado.

Consequentemente, o R-600a e o R-290 são os únicos fluidos refrigerantes que têm autorização para uso em aparelhos de carga crítica de fluido refrigerante, porque seguem as normas de segurança especificadas. Como a maioria dos fluidos refrigerantes convencionais (exceto o R-717 - NH_3), o R-600a e o R-290 são mais pesados que o ar e a concentração no nível do solo é sempre a mais alta.

Para poder realizar serviços e reparos em sistemas com R-600a e R-290, o pessoal de serviço deve ser devidamente treinado. Isso inclui conhecimento dos fluidos refrigerantes, ferramentas, técnicas de transporte e serviço, bem como regulamentos relevantes e precauções de segurança. O manuseio dos HCs não difere dos fluidos refrigerantes HFC ou HFO inflamáveis. O descarte direto de HCs no meio ambiente é viável em pequenas quantidades (menos de 0,5 kg), se for tomado cuidado na separação do óleo lubrificante (veja Capítulo 11).

Aplicações típicas:

- Refrigeradores e *freezers* domésticos;
- Refrigeradores comerciais;
- Máquinas de gelo e balcões refrigerados;
- Refrigeradores de garrafas;
- Refrigeradores de cerveja;
- Distribuidores de bebidas;
- Desumidificadores;
- Aparelhos de ar condicionado do tipo split; e
- Bombas de calor.

5.6.2 **Dióxido de carbono**

O uso do dióxido de carbono como fluido refrigerante foi sugerido pela primeira vez por Alexander Twinning em uma patente britânica em 1850. Posteriormente, ele foi usado pela primeira vez na fabricação de gelo nos Estados Unidos quando Thaddeus Lowe modificou bombas de hidrogênio para comprimir CO_2 em 1866.

Na Europa, Carl von Linde construiu o primeiro compressor de CO_2 em 1882. Foi assim que o CO_2 se tornou um dos primeiros fluidos refrigerantes.

O pico no uso do CO_2 se deu em meados da década de 1920, depois de ter sido usado com êxito para congelar carne em viagens longas de navio, pela primeira vez, por J&E Hall, em uma viagem das Ilhas Malvinas para o Reino Unido, em 1886. J&E Hall desenvolveu o compressor CO_2 em dois estágios e, posteriormente, forneceu equipamentos de refrigeração para o National Skating Palace.

Na primeira metade do século XX, cada vez mais o CO_2 passou a ser substituído por sistemas mais eficientes com amônia. Os condensadores refrigerados a ar exigiam temperaturas mais altas de um sistema de CO_2 e operação subcrítica complicada. Com o desenvolvimento dos CFCs e o uso deles em todos os subsetores de refrigeração e ar condicionado, o uso do CO_2 foi diminuindo cada vez mais até que deixou de ser usado no início dos anos 1960.

A retomada da tecnologia de CO_2

O uso do CO_2 como fluido refrigerante foi retomado no início da década de 1990, por causa de seu baixo impacto ambiental quando usado como fluido refrigerante e de suas propriedades favoráveis relacionadas a uma série de aplicações. O desempenho do CO_2 é particularmente bom em aplicações de baixa temperatura, como fábricas de congelamento. Ele conta com altas taxas de transferência de calor, logo é capaz de proporcionar taxas rápidas de refrigeração. As propriedades termodinâmicas do CO_2 resultam em um desempenho muito bom, especificamente em climas moderados. Ele também pode ser usado como um fluido refrigerante secundário.

Hoje em dia, o CO_2 voltou a ser amplamente utilizado; por exemplo, em **sistemas de refrigeração em supermercados.** O primeiro sistema moderno de CO_2 foi desenvolvido na Escócia, onde uma pequena fábrica de amônia costumava condensar CO_2, que então circulava como fluido refrigerante secundário em um sistema com termossifão sem compressor. Ele também é usado em **aplicações de baixa temperatura**, bombas de calor para aquecer água, o que é especialmente útil em lugares onde falta infraestrutura de gás ou petróleo, e em ar condicionado para automóveis, também considerado para carros elétricos para fornecer aquecimento e ar condicionado.

Aplicações

Além do uso em refrigeração, o CO_2 é amplamente usado. Por exemplo:

- Gás inerte: o CO_2 é usado como gás de proteção para soldagem;
- Extintor de incêndio: para apagar as chamas inundando com o gás o ambiente em torno das chamas;
- Como solvente: o dióxido de carbono líquido é um bom solvente e é usado para retirar a cafeína do café; e
- Indústria de bebidas: transferido para bebidas refrescantes para dar um gosto de gás.

Desde que o CO_2 voltou a ser usado como fluido refrigerante, ele tem diversas aplicações:

- Refrigeração em supermercado;
- Freezers (de placa);
- Sistema de recirculação líquida: com bomba ou circulação por gravidade;
- Bomba de calor; e
- Sistemas de Ar condicionado (servidores blade, mesas de negociação em bolsa de valores e em ônibus).

Na época da retomada do CO_2 na refrigeração (classificação de segurança A1), havia apenas aplicações subcríticas em cascatas e sistemas de recirculação líquida.

5.6.3 **Amônia**

A amônia (NH_3 – R-717) possui um longo histórico como fluido refrigerante, tendo sido uma das primeiras substâncias usadas em sistemas de refrigeração no final do século XIX. Suas propriedades termodinâmicas excepcionais, baixo custo e vantagens ambientais garantiram a relevância da amônia em aplicações modernas. A amônia não tem Potencial de Destruição do Ozônio (PDO) nem Potencial de Aquecimento Global (GWP), portanto trata-se de um fluido refrigerante sustentável e ecológico que se alinha com qualquer regulamentação ambiental.

A amônia é amplamente usada na refrigeração industrial, em especial no processamento de alimentos, câmaras frigoríficas e produção de bebidas, atividades nas quais é de suma importância manter baixas temperaturas. Ela também tem aplicação nas indústrias química e farmacêutica, em processos que demandam um controle preciso de temperatura. Além disso, a amônia é usada na expansão direta e em chillers de absorção para sistemas de AVAC em prédios industriais e comerciais, bem como na refrigeração distrital, e é uma escolha comum para pistas de gelo e instalações esportivas por conta de sua eficiência nas temperaturas exigidas.

O R-717 tem sido cada vez mais integrado a aplicações de energias renováveis, como bombas de calor, para melhorar a eficiência energética. Apesar das muitas vantagens da amônia, a classificação de segurança dela é B2L de acordo com a ISO 817 e a ABNT NBR 16666 em termos de toxicidade e inflamabilidade, exigindo manuseio cuidadoso e medidas rígidas de segurança. Consequentemente, o uso da amônia costuma ficar limitado a aplicações industriais e comerciais, e não a ambientes residenciais.

5.6.4 **Água**

A água (H_2O – R-718) é um dos fluidos refrigerantes mais antigos e mais naturais, usado na refrigeração desde o início do século XIX. Conhecida por seu perfil ambiental excepcional, a água não tem nenhum Potencial de Destruição do Ozônio (PDO) e nenhum Potencial de Aquecimento Global (GWP), o que faz dela uma opção sustentável e ecológica. Apesar de limitações, como pontos altos de congelamento e ebulição, o R-718 é altamente eficaz em aplicações específicas nas quais essas características se alinham com requisitos do sistema.

A água é amplamente usada em chillers de absorção para sistemas de ar condicionado industrial e comercial, onde ela atua como fluido refrigerante em conjunto com brometo de lítio. Ela também é usada em aplicações de alta temperatura, como sistemas de recuperação de calor industrial, nos quais ela incentiva a efi-

ciência energética pelo uso de calor residual. No setor de geração de energia, á água é parte dos ciclos de vapor para refrigeração e transferência de energia.

Dentre as vantagens do R-718, estão ele não ser tóxico (classificação de segurança A1), estar amplamente disponível e ter boa relação custo-benefício. Porém, o uso dele costuma ficar restrito a sistemas projetados para altas temperaturas ou aplicações especializadas devido à sua baixa pressão de vapor e à necessidade de infraestrutura robusta para lidar com as transições de fase de líquido para gás.

5.6.5 **Ar**

O ar (com composição química de N_2, O_2, Ar, CO_2 e outros – R-729) possui longo histórico como fluido refrigerante natural, tendo sido usado desde os primeiros sistemas de refrigeração de ciclo de ar desenvolvidos no século XIX. O ar é abundante, não tóxico, não inflamável, com efeito neutro sobre o meio ambiente, nenhum potencial de Destruição do Ozônio (PDO) e nenhum Potencial de Aquecimento Global (GWP). Essas características fazem com que ele seja uma opção sustentável para aplicações especializadas.

O uso principal do R-729 é em sistemas de refrigeração de ciclo de ar, comumente utilizados em aplicações de nicho. Dentre elas, a criogenia, na qual são necessárias temperaturas extremamente baixas (abaixo de -100 °C), e na indústria da aviação, na qual a refrigeração por ciclo de ar é utilizada para os equipamentos de ar condicionado da cabine de aeronaves. A refrigeração de ar também é utilizada em alguns processos industriais que priorizam a segurança e a simplicidade.

Embora o R-729 ofereça benefícios ambientais sem precedentes e segurança operacional, sua eficiência termodinâmica em geral é mais baixa do que a de outros fluidos refrigerantes devido às propriedades de baixa transferência de calor do ar e de requisitos mais altos de energia para compressão. Consequentemente, ele costuma ficar limitado a situações nas quais suas propriedades exclusivas compensam essas limitações de eficiência.

5.6.6 **Diferenças gerais na hora de manusear e realizar atividades de serviço com amônia, dióxido de carbono e hidrocarbonetos**

O mais importante na hora de prestar serviços envolvendo os três principais fluidos refrigerantes naturais geralmente são os aspectos relacionados a segurança. O projetista do sistema, os profissionais técnicos e os operadores têm que entender que as diferenças e validações da segurança do sistema têm um papel importante. Avaliações de risco, conceitos de segurança e protocolos de segurança formulam considerações específicas para diversas aplicações.

Os principais aspectos gerais de segurança para esses fluidos refrigerantes podem ser listados da seguinte maneira:

1. A amônia (R-717) é altamente tóxica em baixas concentrações, com perigo de queimadura pelo frio;
2. O dióxido de carbono (R-744) opera em pressões muito altas, com risco mais baixo de toxicidade e sufocamento. Perigo de queimadura pelo frio e formação de gelo seco;
3. Os hidrocarbonetos (R-290, R-600a, etc.) são extremamente inflamáveis, com perigo de sufocamento.

A Figura 97 compara diferenças genéricas para a aplicação e o manuseio dos fluidos refrigerantes naturais mais comuns.

Figura 97 – Comparação das diferenças genéricas na aplicação e no manuseio do R-717, R-744, R-290

Questões gerais de serviço	NH_3 R-717	CO_2 R-744	HCs R-290, R-600a, R-1270
Peso em relação ao ar	Mais leve	Mais pesado	Mais pesado
Pureza do fluido refrigerante	No mínimo 99,98% Umidade < 200 ppm	99,99% Umidade < 10 ppm	No mínimo 99,5% Umidade < 10 ppm
Medidores e equipamentos do circuito	Aço inoxidável Indicação para uso com R-717	Alta pressão Indicação para uso com R-744	Os mesmos para HCFC/HFC Indicação para uso com HC
Bomba de vácuo	Aço inoxidável ATEX, Linha de ventilação	Comum Linha de ventilação	Comum ATEX, Linha de ventilação
Carga	Balança	Balança Pressão	Balança sensível
Tubulação	Aço carbono, aço inoxidável	Cobre Aço inoxidável **HP**	Cobre
Detecção de vazamento	Nariz, detector de gás, papel de tornassol, vareta de enxofre, teste com espuma de sabão, EPI	Detector de gás, teste com espuma de sabão, EPI	Detector de gás, teste com espuma de sabão, EPI
Teste de pressão e teste de vazamento	Nitrogênio 4.0	Nitrogênio 4.0 Gás marcador (N_2/H_2)	Nitrogênio 4.0 Gás marcador (N_2/H_2)
Teste de resistência PS x 1,1	Nitrogênio 4.0	Nitrogênio 4.0	Nitrogênio 4.0

Fonte: Rolf Huehren.

5.6.7 **A importância da cadeia de frio**

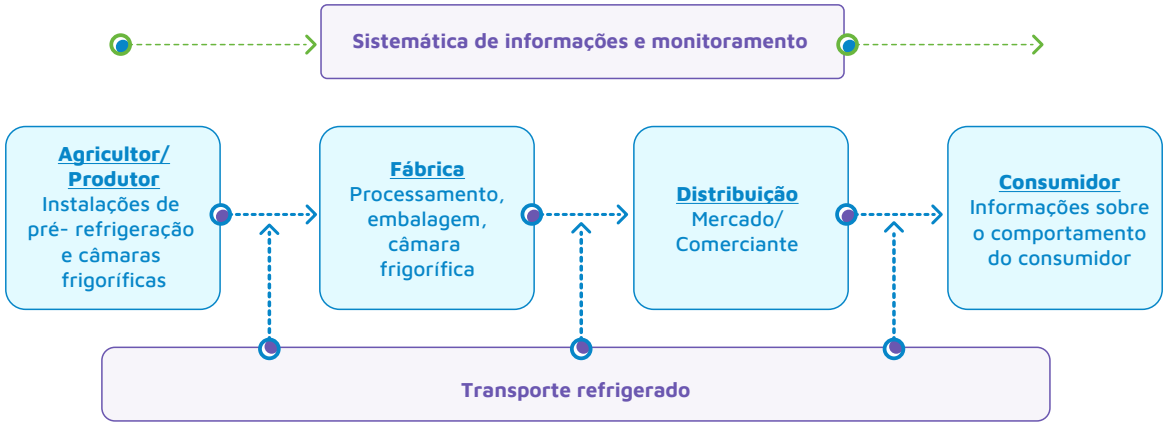
O Objetivo 2 - Fome Zero - estipulado nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) até 2030 – chama atenção para a necessidade da segurança alimentar, o que por sua vez depende da capacidade da cadeia de frio. A cadeia de frio é uma cadeia de suprimentos com temperatura controlada e, em geral, complexa, com alimentos que são refrigerados ou congelados em mais de uma ocasião. Uma cadeia de frio ininterrupta é uma série de atividades ininterruptas de armazenamento, transporte e distribuição que mantêm determinada faixa de temperatura desde a produção até o consumo. Ela é usada para ajudar a prolongar e a garantir a vida útil dos produtos.

Depois de armazenados após o processo de produção, os produtos devem chegar até o consumidor nas melhores condições possíveis, evitando manuseio inapropriado, o que poderia prejudicar a qualidade obtida durante o processo de manufatura. Todos os estágios da cadeia de frio devem ser realizados em condições refrigeradas, seja para alimentos congelados ou simplesmente refrigerados, já que a perda da qualidade em um estágio não pode ser recuperada em outro estágio posterior.

No mundo inteiro, cerca de 400 milhões de toneladas de alimentos são preservadas com o uso de refrigeração (IIR, 2015). No momento em que uma fruta ou legume é colhido, ou que um animal é abatido, o produto começa a deteriorar. Logo, a cadeia de frio eficiente começa bem cedo na cadeia de suprimentos: ela começa na hora de colheita de frutas e legumes, e na hora do abate de produtos derivados de carne.

A cadeia de frio assegura a manutenção da qualidade e da segurança de produtos perecíveis desde o ponto de origem, passando pela cadeia de distribuição, até o consumidor final. Deixar de manter os produtos nas temperaturas corretas pode acarretar degradação na qualidade e na segurança. Todos os estágios da cadeia de frio (veja a Figura 98), desde o ponto em que o produto é colhido até o momento em que ele é vendido, dividem essa responsabilidade. Facilmente podem ocorrer quebras em qualquer ponto da cadeia. As estimativas apontam para cerca de 35% de desperdício de produtos perecíveis por causa da falta de refrigeração (GIZ, 2016).

Figura 98 – Sistemática da cadeia de frio



Fonte: HEAT GmbH.

Na Comunidade Europeia, existe a obrigação de fazer um registro das temperaturas para verificar se não há quebras no transporte e na entrega da cadeia de frio e se as faixas de temperatura prescritas foram seguidas com exatidão (Regulamentação 92/1 EWG - 13 de janeiro de 1992 e Regulamentação UE 37/2005). Além disso, existe um estatuto que exige sistemas de automonitoramento de todos os elementos da cadeia de frio (Regulamentação HACCP UE 93/43/EWG). Os equipamentos de medição e registro de temperatura têm que ser independentes do sistema de controle de refrigeração, de acordo com a norma EN 12830. Além disso, conforme a norma EN 13486, os sensores dos sistemas de registro de temperatura devem ser calibrados todo ano.

5.6.7.1 **Armazenamento de alimentos e vacinas**

O armazenamento adequado de alimentos e vacinas é parte importante da saúde preventiva e da redução do risco de envenenamento. É um fato geral, mas bem específico em países de clima quente. Alguns produtos devem ser mantidos em geladeira e ingeridos ou usados dentro de um curto espaço de tempo. Outros alimentos, como farinhas, leguminosas, enlatados e muitos outros duram bem mais e podem ser guardados em temperatura ambiente. Os alimentos secos também têm um tempo de armazenamento limitado. Para cada vacina, protocolos detalhados especificando o tempo máximo de armazenamento e as faixas de temperatura devem ser respeitados para manter a eficácia da vacina.

Deve-se sempre tomar cuidado para seguir as instruções de armazenamento e os produtos sensíveis devem ser mantidos:

- No lugar certo;
- Na temperatura certa; e
- Pelo tempo certo.

5.6.7.2 **Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle** (APPCC / HACCP)

O principal objetivo do sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle é garantir a segurança alimentar e a saúde do produto final. Nesse sentido, o monitoramento da cadeia de frio dos alimentos desempenha um importante papel para garantir a rastreabilidade e a documentação das boas práticas para autoridades e outras instituições.

A cadeia de frio não deve ser interrompida, evitando assim proliferação de bactérias, germinação de esporos e/ou a formação de toxinas que podem resultar em risco à saúde humana. Portanto, é necessário impor controles sobre a temperatura e a qualidade do ar no processamento e embalagem de alimentos, reduzindo assim a possibilidade de contaminação dos alimentos.

A APPCC pode ser aplicada em toda a cadeia de alimentos, desde a produção primária até o consumo final, e sua implementação deve ser guiada pelas evidências de riscos à saúde humana.

O sistema de APPCC consiste dos sete princípios básicos a seguir:

1. Conduzir uma análise para identificar os perigos de segurança alimentar que oferecem chances razoáveis de causar danos ou doenças se não controlados;
2. Determinar os Pontos Críticos de Controle – PCCs (por exemplo, refrigeração de alimentos);
3. Estabelecer limites críticos para cada PCC (por exemplo, limites de temperatura de armazenamento para produtos refrigerados ou congelados de acordo com o tipo de produto e observância de exigências nacionais, estaduais ou locais — veja exemplos na Tabela 37);
4. Estabelecer um sistema de monitoramento para avaliar se o PCC está sob controle (por exemplo, monitoramento de temperatura de hora em hora usando um termômetro com ponta de prova higienizado e calibrado para medir a temperatura interna do alimento refrigerado);
5. Estabelecer a ação corretiva a ser tomada quando o monitoramento indicar que determinado PCC não está sob controle (por exemplo, descartar o

alimento se não for possível determinar por quanto tempo a temperatura dele ficou acima da temperatura crítica — veja também a Tabela 36);

6. Estabelecer procedimentos de verificação para confirmar se o sistema de APPCC está funcionando de modo eficaz (por exemplo, calibração dos instrumentos de monitoramento e revisão dos registros); e
7. Estabelecer documentação sobre todos os procedimentos e registros apropriados a esses princípios e a aplicação deles (por exemplo, manutenção de registros de monitoramento de tempo e temperatura, registros sobre as ações corretivas tomadas e registros de calibração e treinamento).

Tabela 37 – Valores limite de temperatura crítica para alimentos

Produto	Temperatura de armazenamento °C
Carnes frescas (animais com casco e animais de caça de grande porte)	≤ +7 °C
Aves frescas, coelhos, lebres e animais de caça de pequeno porte	≤ +4 °C
Miúdos	≤ +3 °C
Carnes moídas • De empresas da UE • Preparadas e vendidas no local (não embaladas ou embaladas no local)	 ≤ +2 °C ≤ +7 °C
Produtos derivados de carne • De empresas da UE • Preparados e vendidos no local (não embalados ou embalados no local)	 ≤ +4 °C ≤ +7 °C
Produtos cozidos derivados de carne e delicatessen	≤ +7 °C
Peixes frescos (armazenamento em gelo picado)	0 a +2 °C
Peixes defumados	≤ +7 °C
Carnes e peixes congelados	≤ -12 °C
Carnes e peixes ultracongelados	≤ -18 °C
Gorduras e banhas	≤ +7 °C
Produtos ultraccongelados	≤ -18 °C
Sorvetes	≤ -18 °C
Laticínios	≤ +6 °C
Alimentos assados com recheio por terminar de assar	≤ +7 °C
Ovos (depois de 18 dias da postura)	+5 a +8 °C

Fonte: Testo, 2021.

5.7 Comunicação técnica

As normas a seguir têm um papel crucial na comunicação técnica no setor de refrigeração:

1. EN 1861 Refrigerating systems and heat pumps - System flow diagrams and piping and instrument diagrams - Layout and symbols (Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Diagramas de fluxo do sistema e diagramas de tubulação e instrumentação - layout e símbolos);
2. ISO 10628 Diagrams for the chemical and petrochemical industry, (Diagramas para a indústria química e petroquímica); especifica a classificação, o conteúdo e a representação dos diagramas de fluxo.

A ISO 10628 é composta pelas seguintes partes:

- Parte 1: Especificação de diagramas (ISO 10628-1); e
- Parte 2: Símbolos gráficos (ISO 10628- 2).

As duas normas não se aplicam a diagramas de engenharia elétrica.

As normas a seguir podem ser usadas também para a marcação de circuitos de refrigeração e designação de componentes:

1. BSP – British Standard Pipe (Norma britânica padrão para roscas de parafuso; em polegadas);
2. SAE – Society of Automotive Engineers (Sociedade de Engenheiros Automotivos) para roscas usadas em tecnologia de AVAC-R (flange SAE roscada);
3. UNF – Unified-National-Thread-Fine (Rosca unificada fina);
4. Rosca M – Metric ISO pipe thread (Rosca prensa-cabo ISO no sistema métrico);
5. NPT – National Pipe Taper (Rosca cônica);
6. NPTF – National Pipe Taper Fuel (Rosca cônica selada a seco).
7. As roscas para as dimensões dos circuitos de refrigeração costumam ser designadas em polegadas ou em metros;
8. Roscas de cobre (CU) – Material padrão próprio para uso em refrigeração na tecnologia de AVAC–R (em geral identificado por cor ou relevo);
9. Liga de cobre-aço (ex.: K65) – Material para aplicações que usam o R-744 como fluido refrigerante (até PS 13 MPa);
10. Roscas de aço (S) – Usadas em sistemas de refrigeração grandes (ex.: sistemas com R-717);
11. Roscas de aço inoxidável (SS) – Para fluidos refrigerantes corrosivos ou requisitos especiais de pressão/limpeza; e
12. Roscas de plástico (PE e PVC) – Para circuitos de refrigeração secundários.

Ao definir uma terminologia unificada, as normas vigentes oferecem uma base para comunicação clara e precisa entre diversas partes interessadas em AVAC-R, desde o projeto até a manufatura e a instalação. Isso tem importância especial no campo da refrigeração, no qual profissionais de experiências variadas, como engenheiros/as, técnicos/as e operadores/as precisam trabalhar juntos e se comunicar, evitando assim usar termos diferentes, seguindo o Sistema Internacional de Unidades (SI).

O Sistema Internacional de Unidades, conhecido no mundo inteiro pela sigla SI (de origem francesa, Système international d'unités), é a forma moderna do sistema métrico e o sistema de medidas mais amplamente adotado no mundo.

Os termos padronizados destacados reduzem as chances de mal-entendidos e facilitam uma comunicação eficiente e transparente. Além disso, as normas simplificam a criação de documentação técnica, manuais e instruções de manutenção, oferecendo terminologia consistente. Isso garante que o material técnico seja universalmente entendido e possa ser usado em diferentes países e contextos sem modificação.

Outro aspecto importante é a melhoria da segurança. Definições e terminologias claras ajudam a evitar mal-entendidos durante as fases de projeto, manufatura, instalação, manutenção e operação de sistemas de AVAC-R. Isso não só melhora a segurança operacional, mas também reduz o risco de erros e acidentes.

As normas também desempenham um papel fundamental na educação e no treinamento. Elas oferecem uma estrutura padronizada para ensinar o conhecimento técnico, assegurando que os profissionais sejam treinados de maneira consistente. Isso auxilia não só na qualidade da educação, mas também na competência dos profissionais em aplicações do mundo real.

Os símbolos dos componentes são definidos nas normas e listados em uma biblioteca.

5.7.1 Regras gerais para a preparação de um fluxograma — Um guia básico para o treinamento de profissionais de serviço

O PID (Diagrama de tubulação e instrumentação) é basicamente a representação esquemática de um sistema técnico. Para um sistema de AVAC-R, ele ilustra os componentes e suas interconexões, ajudando os profissionais de serviço a entender a operação e prestar serviço de forma eficaz. O PID pode ser simples, se o sistema de refrigeração for de natureza simples, como, por exemplo, um refrigerador doméstico ou um sistema de ar condicionado do tipo mini split. Já o PID de um sistema de refrigeração comercial será mais complexo se o sistema de refrigeração tiver diversas posições de refrigeração e um sistema de controle avançado, ou se o diagrama representar um sistema industrial com recursos abrangentes de design.

As seguintes etapas devem guiar a criação do PID:

5.7.1.1 Determinar a finalidade

Esclarecer o objetivo do diagrama: treinamento, planejamento do design, manutenção, ou um simples desenho de operação. Foco em fazer com que ele seja entendido pelo usuário final (por exemplo, trainees, profissionais de serviço, engenheiros/as).

5.7.1.2 Reunir informações

Entender o ciclo de refrigeração. Aprender sobre os principais processos e componentes (evaporador, compressor, condensador, válvula de expansão, etc.).

Considerar as condições de operação. Incluir níveis de pressão, temperaturas e tipo de fluido refrigerante.

Revisar a documentação, como manuais técnicos, desenhos ou PIDs similares para referência.

5.7.1.3 **Identificar os componentes necessários do circuito de refrigeração (conforme aplicável)**

- Compressor, separador de óleo, acumulador de líquido, abafador e eliminadores de vibração;
- Condensador com um tipo de ventilador;
- Evaporador com um tipo de ventilador, aquecedores e tipo de sistema de degelo (aquecedor elétrico, a gás quente, a gás frio);
- Vasos de pressão (tanques de líquido);
- Válvula solenoide;
- Válvula de expansão;
- Filtro secador, visor de líquido, válvulas de retenção, etc.;
- Manômetros;
- Sensores de temperatura;
- Válvulas de segurança e outros aparelhos de segurança;
- Interruptores de temperatura, Interruptores de fluxo e controladores;
- Tubulações e tamanhos para o fluido refrigerante primário e secundário; e
- Bombas e controles para o fluido refrigerante secundário.

5.7.1.4 **Usar símbolos padronizados para o desenho do circuito (desvios na aparência)**

- Preparar um desenho temporário para entender as funções gerais do sistema;
- Aplicar símbolos padrão de acordo com a EN 1861 ou a ISO 10628 e com outras normas relevantes; e
- Assegurar consistência na representação das tubulações.

5.7.1.5 **Indicar o sentido do fluxo**

- Usar setas para indicar o sentido do fluxo do fluido refrigerante/fluido;
- Conferir se todos os pontos de conexão estão claros e bem marcados.

5.7.1.6 **Mostrar a funcionalidade do sistema**

- Iniciar pelo compressor e mapear o ciclo incluindo todos os componentes pertinentes;
- Compressor → Separador de óleo → Condensador → Tanque de líquido → Válvula solenoide → Válvula de expansão → Evaporador → Acumulador de líquido → e de volta para o compressor;
- Inserir componentes auxiliares (ex.: filtro secador, visor de líquido, etc.) nas posições apropriadas;
- Inserir válvulas e aparelhos de segurança; e
- Marcar o tipo de condição das tubulações de fluido refrigerante primário e secundário (em alguns casos faz sentido colorir as linhas).

5.7.1.7 Acrescentar instrumentação

- Marcar os pontos de medição e de serviço, como o manômetro nos lados de alta e de baixa pressão;
- Sensor de temperatura antes e depois dos trocadores de calor; e
- Indicadores de níveis de óleo e visor de líquido do fluido refrigerante.

5.7.1.8 Incluir etiquetas

- Atribuir identificadores claros a cada componente (por exemplo, "Compressor C-01, tipo, capacidade, etc.");
- Identificar as tubulações (por exemplo, dimensões, tipo de material e se são flexíveis); e
- Indicar os parâmetros de operação (por exemplo, pressão, temperatura e tipo de fluido refrigerante).

5.7.1.9 Revisar e aprimorar

- Conferir se o diagrama cobre todo o ciclo de refrigeração e se está fácil de entender;
- Incluir apenas informações importantes para entender o sistema de AVAC-R; e
- Colaborar com colegas ou supervisores para identificar erros ou omissões.

5.7.1.10 Criar uma versão digital e documentar

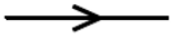
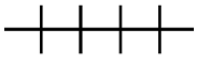
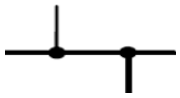
- Criar o PID de forma digital usando *softwares* como o AutoCAD, o RI-CAD, o MS-Visio, ou ferramentas exclusivas de PID; e
- Cuidar para que o PID passe a fazer parte da documentação técnica do sistema.

5.7.2 Extraído da norma EN 1861

Tabela 38 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Tubulações (EN 1861)

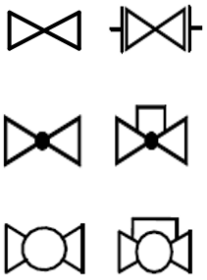
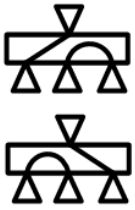
Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Tubulação		Circuito principal	A tubulação principal pela qual passa o fluido refrigerante primário. Ex.: R-600a.
		Circuito secundário	A tubulação pela qual passa o fluido refrigerante secundário. Ex.: Glicol.

Continuação da Tabela 38 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Tubulações (EN 1861)

Tubulação		Fluido de transferência de calor	Representa o momento em que ocorre a transferência de calor em espaços confinados como trocadores de calor ou outros vasos.
		Água para resfriamento do condensador	Representa linhas de água que são resfriadas em uma torre de refrigeração e voltam para a entrada de um condensador refrigerado a água, como uma placa ou trocador de calor do tipo casco e tubos.
		Outras substâncias	Outros fluidos como óleo.
		Movimento do fluido	Representa o sentido do fluxo ou a entrada / saída dos componentes.
		Tubulação com isolamento	Representa seções da tubulação que foram isoladas para evitar troca de calor com o ambiente ou a condensação do vapor d'água presente no ar.
		Linha de sinal	Representa o efeito que um elemento pode ter sobre outro.
		Linha de atuação	Representa partes da tubulação nas quais a mudança de estado do fluido refrigerante ocorre por causa da transferência de calor. Ex.: evaporadores e condensadores.
		Capilar	Representa o elemento de expansão do tipo capilar e o looping dos tubos capilares de pressões de interruptors para absorver a vibração.
		Intersecção conectada	Geralmente aplicada a três ou quatro tubos.

Fonte: EN 1861.

Tabela 39 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Válvulas (EN 1861)

Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Válvulas		Válvula solenoide normalmente aberta (NA) - Válvula desconectável (direita) Válvula globo – Válvula globo resguardada (direita) Válvula esfera – Válvula esfera resguardada (direita)	Permite que o fluxo passe, mas pode ser desligado (resguardado significa que não é possível desligar acidentalmente durante a operação; só é possível desligar com o uso de uma ferramenta).
		Válvula fechada durante a operação normal.	Não permite que o fluxo passe, mas pode ser aberto.
		Válvula angular geral – Válvula angular resguardada (direita)	Funciona do mesmo jeito que a válvula geral, mas permite a mudança do sentido do fluxo.
		Válvula geral de três vias - Três válvulas resguardadas (direita)	É uma válvula comutável com uma entrada e duas saídas, uma aberta e a outra fechada durante a operação normal. Bem comum em equipamentos com degelo a gás quente.
		Válvula geral de quatro vias	É uma válvula comutável com quatro portas: uma entrada, uma saída e duas interconexões internas. Bem comum em bombas de calor, já que o condensador se transforma no evaporador e vice-versa.
		Válvula de retenção geral Válvula de retenção de fechamento vertical	Permite que o fluxo passe em apenas um sentido. O ponto fica sempre no lado de entrada da válvula.
		Válvula de retenção em ângulo	Permite que o fluxo passe em apenas um sentido. O ponto fica sempre no lado de entrada da válvula.
		Válvula reguladora	Permite que o fluxo passe de maneira controlada.

Continuação da Tabela 39 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Válvulas (EN 1861)

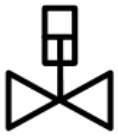
Válvulas		Válvula Schrader	Válvula de acesso rápido para medir a pressão ou entrar no sistema. Ela costuma ser brasada na porta de serviço do compressor.
		Válvula de segurança em ângulo. Libera para a atmosfera (esquerda) Válvula de alívio de pressão, independente de contrapressão para o lado de baixa pressão (direita)	Quando a pressão do fluxo que estiver passando for mais alta que o valor ajustado, ela libera o fluxo para a atmosfera ou para o lado de baixa pressão do equipamento.

Fonte: EN 1861.

Tabela 40 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Acionadores (EN 1861)

Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Acionadores		Geral	Aparelho ou sistema que ativa a válvula.
		Manual	Válvula cuja abertura ou fechamento é feito com as mãos.
		Acionamento por motor elétrico	Válvula cuja abertura e fechamento podem ser parciais ou totais e é acionada por um motor elétrico. Ex.: válvula reguladora de fluxo de água de chiller.
		Acionamento por solenoide	Válvula cuja abertura e fechamento são feitos por um solenoide. O campo eletromagnético formado pela corrente elétrica que passa pela bobina é forte o suficiente para movimentar, como um ímã, a bobina metálica da válvula, permitindo a passagem do fluxo.

Continuação da Tabela 40 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Acionadores(EN 1861)

Acionadores		Acionamento por pistão	Válvula cuja abertura e fechamento são feitos por um pistão, ativado por um solenoide. A movimentação do pistão ocorre por causa da pressão do fluido refrigerante ou do óleo do mesmo sistema. Ex.: válvula de quatro vias em bomba de calor (fluido refrigerante), controle da capacidade dos compressores de pistão (óleo).
		Acionamento por diafragma	Válvula cuja abertura e fechamento são feitos por um diafragma. A abertura ou fechamento resultantes são produto do efeito combinado da pressão do bulbo do sensor e da mola. Ex.: Válvula de expansão termostática.
		Mola	Válvula cuja abertura e fechamento são o resultado da pressão interna do fluido refrigerante que passa contra a pressão da mola. Algumas são ajustáveis. Ex.: válvula de alívio de pressão.
		Válvula de boia	Válvula cuja abertura e fechamento são gerados por uma boia, e se destina a controlar os níveis de líquido. Ex.: evaporador inundado.

Fonte: EN 1861.

Tabela 41 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Bombas (EN 1861)

Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Bombas		Bomba a engrenagem	As bombas são projetadas para o transporte de líquidos com determinada pressão. Em equipamentos de RAC, é muito comum encontrar, instalar e fazer a manutenção de bombas como parte do projeto do sistema de refrigeração ou como componente dos compressores de parafuso (para óleo), evaporadores recirculados (amônia), etc. Em refrigeração, as bombas a engrenagem são muito comuns, por exemplo, em circuitos de recirculação de óleo de compressores de parafuso e pistão.

Continuação da Tabela 41 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Bombas (EN 1861)

Bombas		Bomba centrífuga	Esse tipo de bomba costuma ser usado para transportar água de recirculação e é muito comum em torres de refrigeração, sistemas hidrônicos de ar condicionado, condensadores evaporativos, processos industriais, chillers, etc.

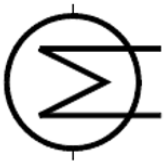
Fonte: EN 1861.

Tabela 42 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Acessórios (EN 1861)

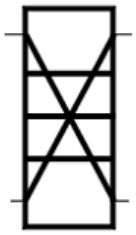
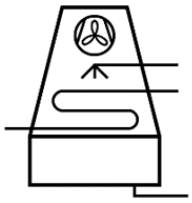
Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Acessórios		Compensador de tubulação	É uma conexão de tubulação que possibilita expansão e contração térmica e compensa a vibração. Ex.: conexões na entrada (baixa temperatura) e saída (alta temperatura) do compressor.
		Conexão desconectável	Conexão que possibilita desconectar ou conectar as válvulas (juntas não brasadas).
		Visor de líquido	Geralmente fica na linha de líquido do equipamento para mostrar o nível de fluido refrigerante liquefeito. Alguns vêm com um indicador que mostra se há umidade no sistema. Ele também pode ser encontrado no cárter do compressor para mostrar o nível de óleo, armadilhas de sucção de amônia para mostrar o nível de fluido refrigerante, etc.

Fonte: EN 1861.

Tabela 43 – Resumo da simbologia padronizada para RAC – Trocadores de calor (EN 1861)

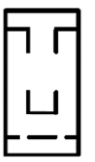
Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Trocadores de calor		Trocador de calor sem linhas de fluxo se cruzando	Esse trocador de calor tem quatro portas: duas para entrada e saída de fluidos refrigerantes primários, e as outras duas para fluidos refrigerantes secundários. Esse vaso é bem comum em chillers (trocadores de calor do tipo concha e tubular) para aplicações industriais, sistemas hidrônicos de ar condicionado etc.

Continuação da Tabela 43 – Resumo da simbologia padronizada para RAC – Trocadores de calor (EN 1861)

Trocadores de calor		Trocador de calor com tubo fino e ventilador	Esse tipo de trocador de calor é um dos mais comuns em aplicações de RAC, e é usado em evaporadores de ar forçado e condensadores.
		Trocador de calor tubular a placas	Esse tipo de trocador de calor tem o mesmo tipo de conexão que o trocador de calor sem as linhas de fluxo se cruzando e é comum em aplicações comerciais e industriais como chillers de líquido, cascatas, etc.
		Torre de refrigeração	A torre de refrigeração é um aparelho que rejeita o calor residual para a atmosfera através da refrigeração de um fluxo refrigerante, em geral um fluxo de água, para uma temperatura mais baixa. As torres de refrigeração usam a evaporação da água para retirar o calor e resfriar o fluido de trabalho para ficar próximo da temperatura de bulbo úmido do ar.

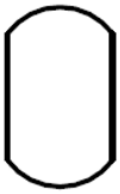
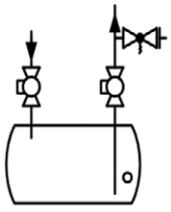
Fonte: EN 1861.

Tabela 44 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Filtros (EN 1861)

Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Filtros		Filtro com núcleo fixo	Instalado na linha de líquido ou na linha de sucção dependendo da finalidade. Pode servir para brasagem ou para conexão de flange roscada. Ele bloqueia a passagem de resíduos sólidos que podem entupir o dispositivo de expansão, bem como admite a umidade dentro da tubulação (vapor d´água liquidificada no ambiente que poderia congelar quando entrasse no evaporador, bloqueando a passagem de fluido refrigerante). Para equipamentos que usam halocarbonos e hidrocarbonetos, é obrigatório usar esse tipo de filtro (filtro secador). Em geral, o filtro consegue absorver quantidades de circulação de ácido no sistema.
		Filtro cartucho	O mesmo que o filtro acima, mas com elementos de filtro intercambiáveis. Uso em sistemas maiores de AVAC-R comerciais ou industriais.

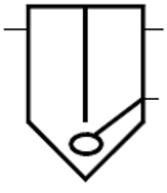
Fonte: EN 1861.

Tabela 45 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Vasos (EN 1861)

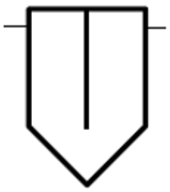
Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Vasos		Vaso com cabeça abaulada	Os vasos podem ser instalados em unidades RAC para armazenar líquido nas linhas de baixa e de alta pressão para fins preventivos e/ou operacionais. Ex.: tanque de líquido, termossifão etc. (linha de alta pressão); intercooler, cilindro de transferência, recipiente de óleo etc. (linha de baixa pressão).
		Tanque de líquido	Tipicamente encontrado em sistemas de refrigeração com válvula de expansão termostática (VET), localizado na saída do condensador, serve para acumular o fluido refrigerante líquido do "não necessário" quando diminui a carga térmica. Quando aumenta a carga térmica, a VET se abre, permitindo que o fluxo de fluido refrigerante necessário passe do tanque de líquido, conforme a quantidade de calor a ser expelido dos produtos (evaporação). É muito útil também para fins de manutenção, já que o tamanho dele é próprio para que todo o fluido refrigerante seja coletado, e ainda mais 10% para a expansão do gás, para que atividades de manutenção sejam realizadas. Além disso, ele também serve de reservatório do sistema no qual o fluido refrigerante está confinado quando o sistema de desligamento por recolhimento *(pump down)* é configurado.

Fonte: EN 1861.

Tabela 46 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Separadores (EN 1861)

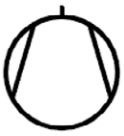
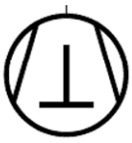
Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Separadores		Separador de óleo	Instalado na linha de descarga do compressor. A função dele é reter a maior quantidade de óleo possível quando circula e se mistura com o fluido refrigerante. Depois que o óleo atinge determinado nível, uma válvula de boia dentro do separador de óleo se abre, permitindo que o óleo preso volte para o cárter através de um tubo de retorno do óleo para garantir que o compressor sempre tenha o nível de óleo necessário para funcionar em segurança.

Continuação da Tabela 46 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Separadores (EN 1861)

Separadores		Separador de líquido	Para proteger o compressor contra a sucção de fluido refrigerante líquido, um separador de líquido (acumulador) precisa ser instalado antes da porta de sucção do compressor. A mistura de fluido refrigerante em estado gasoso-líquido que pode vir do evaporador fica estratificada de tal modo que, por causa da diferença na densidade, o líquido fica embaixo e o vapor sobe para ser sugado pelo compressor de modo seguro.

Fonte: EN 1861.

Tabela 47 – Resumo da simbologia padronizada para RAC – Compressores e bombas de vácuo (EN 1861)

Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Compressores e bombas de vácuo		Compressores e bombas de vácuo em geral	Os compressores e bombas de vácuo foram classificados dentro da mesma simbologia porque ambos transportam fluidos exclusivamente no estado gasoso como o ar, vapor d´água ou gás superaquecido, diferente das bombas que são designadas para transportar líquidos.
		Compressor alternativo	Máquinas de deslocamento positivo cujas principais funções são: 1- Aquecer o fluido refrigerante em estado gasoso acima da temperatura ambiente por meio de fricção molecular dentro da câmara de compressão, de modo que ele possa ser liquefeito no condensador, e 2 - Recircular o fluido refrigerante no sistema de modo que ele possa ser reutilizado de forma recorrente.
		Compressor tipo scroll	Máquina de deslocamento positivo comumente encontrada em unidades AC como mini-splits, multi-splits, unidades condensadoras para aplicações industriais e comerciais de refrigeração etc. Tem menos peças móveis do que um compressor de pistão.
		Compressor de parafuso	Máquina de deslocamento positivo comumente encontrada em aplicações de refrigeração industriais e comerciais maiores.
		Bomba de vácuo de palheta	Para procedimentos de vácuo profundo em unidade de AVAC-R, as bombas de vácuo têm que ser sempre usadas, para que possa ser feita a extração de gases não condensáveis e da maior parte da umidade em forma de vapor d'água.

Fonte: EN 1861.

Tabela 48 – Resumo da simbologia padronizada para RAC - Ventiladores (EN 1861)

Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Ventiladores		Ventilador geral	Esse elemento direciona o ar através de trocadores de calor aletados como condensadores e evaporadores para facilitar a mudança de estado do fluido refrigerante (de líquido para vapor no evaporador, e de vapor para líquido no condensador), proporcionando um fluxo de ar em volta cuja temperatura seja mais quente (carga térmica no evaporador) ou mais fria (temperatura ambiente no condensador). Esse tipo de transferência de calor é conhecido como fluxo de ar forçado.
		Ventilador axial ou de hélice	Os ventiladores axiais têm lâminas que forçam o ar a se movimentar paralelo em relação ao eixo em torno do qual as lâminas giram. Esse tipo de ventilador é usado em uma ampla variedade de aplicações, desde pequenos ventiladores de resfriamento para produtos eletrônicos até ventiladores gigantes usados em torres de refrigeração. Os ventiladores axiais são usados em aplicações de processos industriais no setor de ar condicionado.
		Ventilador centrífugo	O ventilador centrífugo é um aparelho mecânico para movimentar o ar ou outros gases em um sentido em ângulo para o fluido de entrada. Os ventiladores centrífugos costumam conter um recipiente com duto para direcionar o ar de saída em um sentido específico ou atravessando o dissipador de calor. Eles também são chamados de sopradores centrífugos, centrífugos, ou ventiladores de gaiola de esquilo (porque parecem uma roda de hamster).

Fonte: EN 1861.

Tabela 49 – Resumo da simbologia padronizada para RAC – Motores elétricos (EN 1861)

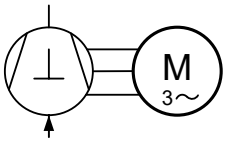
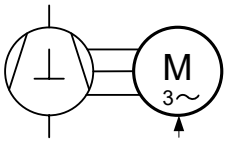
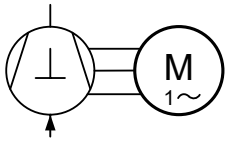
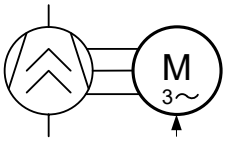
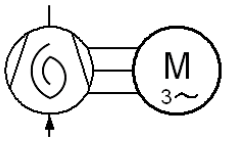
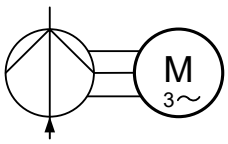
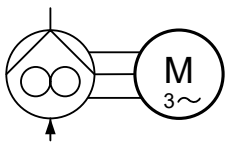
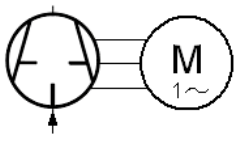
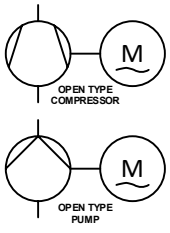
Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome	Descrição
Motores elétricos		Motor geral	Aparelho que transforma a energia elétrica em mecânica para movimentar componentes giratórios, como compressores e ventiladores.

Continuação da Tabela 49 – Resumo da simbologia padronizada para RAC – Motores elétricos (EN 1861)

Motores elétricos		Alternador de três fases	Muito comum em aplicações de RAC para tensões de 220 VAC, 380 AVC e 440 VAC (varia de um país para outro). Porém, o mesmo símbolo é usado para representar o mesmo tipo de tensão alternada mas com um número diferente de fases. Para isso, o número 3 pode ser trocado por 2 ou 1, conforme o caso.
		Motor de corrente contínua	O motor CC é um motor elétrico que usa corrente contínua (CC) para produzir força mecânica. Os tipos mais comuns contam com forças magnéticas produzidas por correntes nas bobinas. Praticamente todos os tipos de motores CC possuem algum mecanismo interno, eletromecânico ou eletrônico, para mudar periodicamente o sentido da corrente em parte do motor. Muito comum em refrigeradores movidos a energia solar para fins médicos, domésticos, pequenos comércios e atividades de recreação fora da rede elétrica. A tensão comum das aplicações varia de 12 VDC a 40 VDC, e ele pode ser acionado diretamente por energia solar ou por uma bateria.

Fonte: EN 1861.

Tabela 50 – Resumo da simbologia padronizada para RAC – Montagem de motores, compressores e bombas (EN 1861)

Compressor de pistão hermético ou semi-hermético com motor de três fases	Compressor de pistão resfriado por gás de sucção	Compressor de pistão hermético ou semi-hermético com motor de uma fase
		
Compressor de parafuso resfriado por gás de sucção	**Compressor tipo scroll**	**Bomba centrífuga**
		
Bomba a engrenagem	**Compressor de palhetas rotativas ou bomba de vácuo**	**Montagem de tipo aberto**
		

Fonte: EN 1861.

Tabela 51 – Formatos gerais dos símbolos (EN 1861)

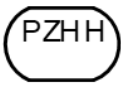
Categoria	Símbolo - EN 1861	Nome / Descrição
Medidas e símbolos de controle, demanda geral		Instrumentação local
		Painel de controle remoto
		Painel de controle local

Fonte: EN 1861.

Tabela 52 – Aparelhos de indicação de pressão, controle e segurança (EN 1861)

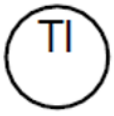
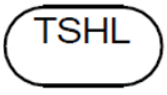
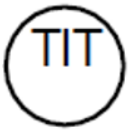
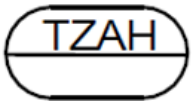
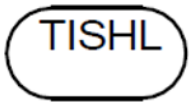
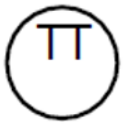
Categoria	Símbolo - EN 1861	Nome / Descrição	Símbolo – EN 1861	Nome / Descrição	Símbolo – EN 1861	Nome / Descrição
Pressão		Manômetro		Manômetro diferencial		Ponto de ajuste do pressostato de segurança / Alarme mín.
		Transmissor de pressão		Pressostato de corte de pressão alta		Ponto de ajuste do pressostato de segurança / Alarme máx.
		Dispositivo de limitação de pressão		Pressostato de corte de pressão baixa		Ponto de ajuste do pressostato diferencial de segurança / Alarme mín.

Continuação da Tabela 52 – Aparelhos de indicação de pressão, controle e segurança (EN 1861)

Pressão		Limitador de pressão alta		Pressostato de corte de pressão de segurança na alta		Ponto de ajuste do pressostato diferencial de segurança / Alarme máx.
		Limitador de pressão baixa		Pressostato de corte de pressão de segurança na baixa		Pressostato com indicação (manômetro com contato)

Fonte: EN 1861.

Tabela 53 – Aparelhos de indicação de temperatura, controle e segurança (EN 1861)

Categoria	Símbolo – EN 1861	Nome / Descrição	Símbolo – EN 1861	Nome / Descrição
Temperatura		Termômetro		Interruptor de temperatura
		Termômetro com indicação e registro no painel de controle		Transmissor de temperatura com indicação
		Ponto de ajuste do interruptor de temperatura de segurança / alarme máx.		Indicação do interruptor de temperatura; ex.: termômetro de contato
		Transmissor de temperatura		Ponto de ajuste do interruptor de temperatura de segurança / alarme mín.

Fonte: EN 1861.

5.7.3 **Exemplo de PID**

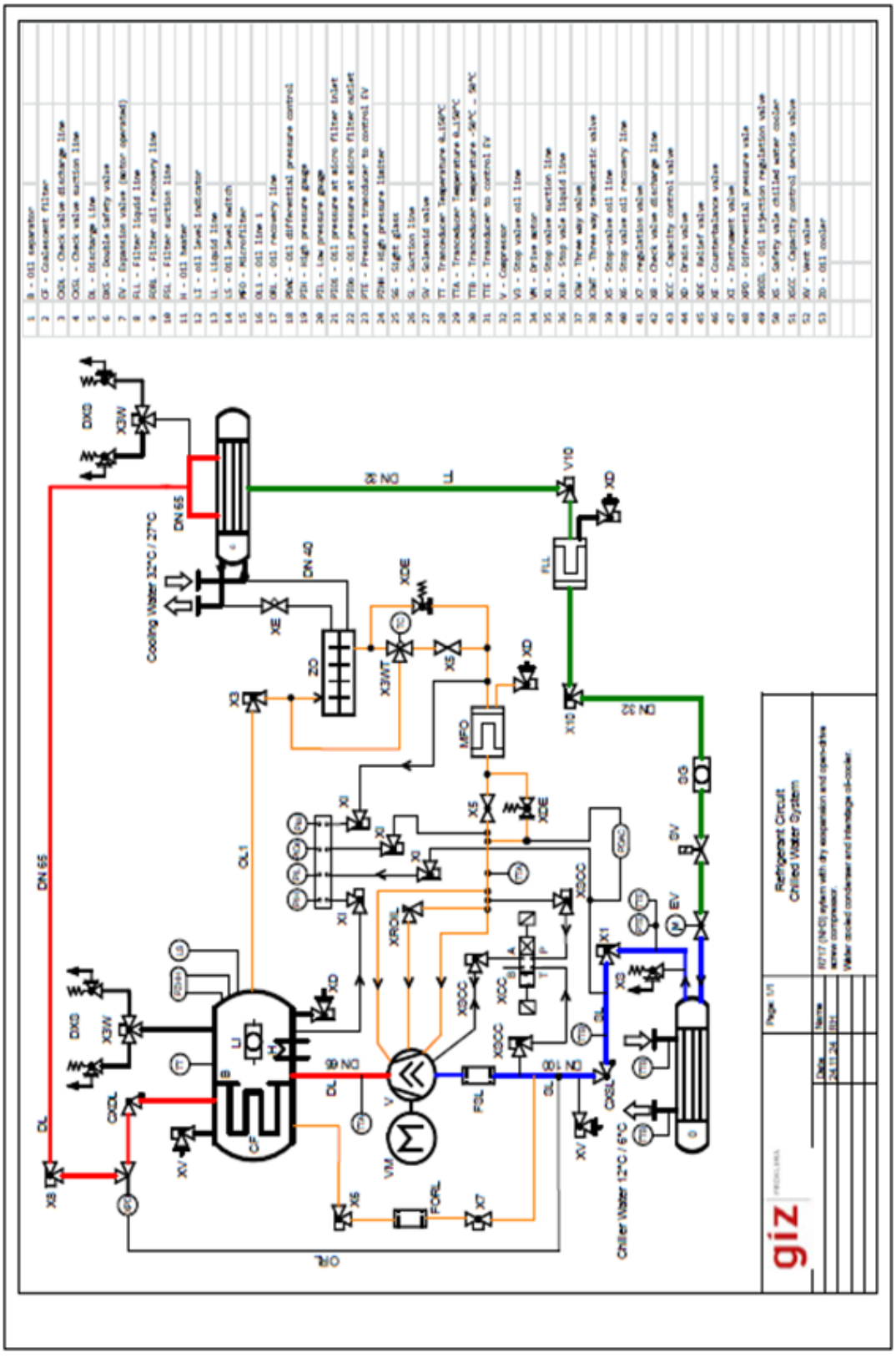


Figura 99 – Exemplo de PID

Fonte: Rolf Huehren.

5.8 *Softwares* para cálculos técnicos de AVAC-R e seleção de componentes

O dimensionamento dos circuitos de Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração (AVAC-R) e a seleção de seus componentes são de suma importância para garantir a eficiência, a confiabilidade e a sustentabilidade do sistema. Um *software* dedicado a esse fim tem um papel vital, permitindo cálculos exatos, dimensionamento preciso dos componentes e projeto otimizado do sistema.

O dimensionamento adequado dos circuitos garante que o sistema opere dentro de sua faixa de capacidade pretendida, evitando problemas como sobrecargas ou ineficiência devido a componentes subdimensionados. Isso também minimiza o consumo de energia e os custos operacionais, permitindo que o sistema funcione dentro da carga de refrigeração ou aquecimento desejada.

O *software* de seleção de componentes do fabricante do equipamento original (OEM) melhora esse processo, oferecendo ferramentas para a escolha de compressores, trocadores de calor, dispositivos de expansão e outros componentes-chave com base nos requisitos do sistema e propriedades do fluido refrigerante. Ele permite que os projetistas e técnicos/as do sistema avaliem várias configurações e revisem/selecionem componentes que otimizem a eficiência, atendam aos padrões de segurança e mantenham a conformidade com as regulamentações ambientais.

Mais do que isso, tal *software* reduz o tempo do projeto, fazendo cálculos complexos, incorporando dados dos fabricantes e simulando o desempenho do sistema em várias condições operacionais. Isso resulta em mais precisão, melhor tomada de decisões, eficiência energética e confiabilidade do sistema. A Tabela 54 apresenta exemplos de *software* disponível para cálculos técnicos de AVAC-R e seleção de componentes.

Tabela 54 – Exemplos de *softwares* disponíveis para cálculos técnicos de AVAC-R e seleção de componentes

Nome da ferramenta	Finalidade	Recursos-chave	Download/Acesso
CoolProp	Cálculos de propriedades termofísicas	Biblioteca de propriedades termofísicas de código aberto, vasta gama de fluidos, compatível com Python, MATLAB e outras plataformas.	http://coolprop.org
RefProp Mini	Cálculos de propriedades de fluidos refrigerantes	Versão gratuita do NIST RefProp, conjunto limitado de fluidos e propriedades, ideal para análises básicas de AVAC.	https://www.nist.gov/
CBE Thermal Comfort	Análise de conforto térmico	Simula o conforto térmico e o desempenho de AVAC das instalações; ferramenta baseada na web com acesso gratuito.	https://comfort.cbe.berkeley.edu/

Continuação da Tabela 54 – Exemplos de *softwares* disponíveis para cálculos técnicos de AVAC-R e seleção de componentes

PsychroLib	Cálculos psicrométricos	Biblioteca de Python e JavaScript para cálculos psicrométricos, compatível com análises de umidade, ponto de orvalho e entalpia.	https://github.com/psychrometrics/
eQUEST	Modelagem energética e projeto do sistema de AVAC	Ferramenta gratuita de análise de energia das instalações com recursos avançados para simulações de sistema de AVAC.	http://www.doe2.com/equest/
HVAC Simulation Lab	Modelagem e análise de desempenho do sistema de AVAC	*Software* gratuito para fins acadêmicos e de treinamento; inclui modelos de sistemas e equipamentos de AVAC-R.	https://www.hvacsimulator.net/
CoolTools	*Software* de cálculo para AVAC-R	O CoolTools é um conjunto de modelos de simulação para sistemas de refrigeração, e cada um deles tem uma finalidade específica, por exemplo, análise de ciclo, dimensionamento dos componentes principais, análise energética e otimização. O CoolTools ainda está em desenvolvimento, mas o objetivo é que ele substitua o antigo *software* CoolPack, suportando novos fluidos refrigerantes e modelos de ciclo.	https://www.ipu.dk/products/cooltools
Engineering Toolbox	Programa para cálculos on-line de engenharia em geral	Recursos, ferramentas e informações básicas para engenharia e projeto de aplicações técnicas!	https://www.engineeringtoolbox.com

Continuação da Tabela 54 – Exemplos de *softwares* disponíveis para cálculos técnicos de AVAC-R e seleção de componentes

Coolselector2©	Seleção de componentes, cálculo da carga de refrigeração e dimensionamento do circuito de refrigeração	O Coolselector®2 ajuda a otimizar o consumo de energia e aumentar a eficiência em qualquer sistema de AVAC-R. Executa cálculos não tendenciosos com base em um conjunto de condições operacionais – como capacidade de refrigeração, fluido refrigerante e temperatura de condensação – e seleciona os melhores componentes para o seu projeto.	https://www.danfoss.com/de-de/service-and-support/downloads/dcs/coolselector--2/#tab-downloads
Flycarpet	Plataforma de design rápido e de modelagem da FlyCarpet Gráfico psicrométrico + calculadora de dutos Gráfico psicrométrico interativo on-line Diagramas p-H e T-s interativos on-line Conversor de unidades Projeto de bobina do condensador Projeto de bobina do evaporador Projeto de bobina de refrigeração/aquecimento Projeto do trocador de calor com casco e tubos Projeto dos capilares Compressor do rotor de translação	A plataforma Flycarpet Inc se concentra na inovação em *software* para projetos de sistemas industriais, pesquisa e desenvolvimento de compressores novos mais rápidos/silenciosos e outros projetos com potencial de revolução no campo da energia e sistemas de propulsão.	https://www.flycarpet.net/en/psyonline

Continuação da Tabela 54 – Exemplos de *softwares* disponíveis para cálculos técnicos de AVAC-R e seleção de componentes

SECOP Caplillary Tube Selector	*Software* de seleção de tubos capilares da SECOP	Ferramenta de seleção de capilares para unidades de refrigeração pequenas.	https://www.secop.com/updates/news/secop-capillary-tube-selection-software
Calculadora da carga de fluido refrigerante A2L da Opteon (Chemours)	Cálculo do tamanho da carga do sistema de refrigeração EN 378, ISO 5149, ABNT NBR ISO 5149	Conforto humano e outras aplicações acima do solo.	https://www.opteon.com/en/support/product-tools/charge-calculator
Análise de carga de fluido refrigerante A2L e de riscos da Mitsubishi	Gerenciamento de risco para salas ocupadas	Essa ferramenta de cálculo oferece ao usuário uma visão geral das informações relevantes contidas nas normas DIN EN 378 (partes 1-4; 04.2018) e IEC 60335-2-40 (edição 6.0; 01.2018) ou IEC 60335-2-40 (Edição 7.0; 2022). Ela determina a capacidade máxima de carga do fluido refrigerante para a instalação de tubos/mangueiras nas áreas comuns para o pessoal.	https://a2l-riskmanager.mitsubishi-les.com/

Fonte: Rolf Huehren.

A seguir, confira alguns aplicativos populares para celular, usados para calcular as propriedades dos fluidos refrigerantes e apoiar o projeto, análise e manutenção dos sistemas de AVAC-R.

1. **Ref Tools da Danfoss (antiga régua de fluidos refrigerantes)**

Recursos:

- Régua de fluidos refrigerantes para comparação de propriedades;
- Orientação de solução de problemas para sistemas de refrigeração;
- Pesquisa de peças sobressalentes e documentação técnica; e
- Disponível para iOS e Android.

2. **Aplicativos da Emerson para celular (por exemplo, HVACR Mobile Toolbox)**

Recursos:

- Diagrama de pressão-temperatura (PT) para fluidos refrigerantes;
- Seleção e diagnóstico do compressor;
- Avaliação do desempenho do sistema; e
- Disponível para iOS e Android.

3. Refrigerant Ruler da Bitzer (régua digital de fluidos refrigerantes)

Recursos:

- Compatível com vários fluidos refrigerantes com diagramas de propriedade;
- Informações de GWP e PDO para fluidos refrigerantes;
- Ferramentas de conversão e insights do sistema; e
- Disponível para iOS e Android.

4. Refprop Mobile

Recursos:

- Oferece detalhes das propriedades termodinâmicas dos fluidos refrigerantes;
- Compatível com misturas personalizadas e cálculos avançados de propriedades;
- Baseado no banco de dados REFPROP da NITS; e
- Disponível para iOS e Android.

5. Coolselector®2 da Danfoss

Recursos:

- Auxilia na seleção de compressores, válvulas e componentes;
- Inclui dados de propriedades dos fluidos refrigerantes;
- Interface simplificada para dimensionamento do sistema; e
- Disponível para iOS e Android.

6. PT App da Chemours

Recursos:

- Diagramas de pressão-temperatura (PT) para uma vasta gama de fluidos refrigerantes, incluindo os das séries Opteon™ e Freon™;
- Informações de GWP e PDO;
- Comparação de desempenho de fluidos refrigerantes; e
- Disponível para iOS e Android.

7. HVAC Toolkit Ultimate

Recursos:

- Várias ferramentas, incluindo diagramas de pressão-temperatura (PT), dimensionamento de dutos e diagnósticos de sistema;
- Útil para profissionais e técnicos de AVAC; e
- Disponível para iOS e Android.

8. Yellow Jacket® HVAC/R Tools

Recursos:

- Calculadora da carga do fluido refrigerante;
- Diagramas de pressão-temperatura (PT) dos principais fluidos refrigerantes;
- Suporte ao diagnóstico de sistemas de AVAC; e
- Disponível para iOS e Android.

9. GasGuide da Linde (TEGA)

Recursos:

- Informações e dados de segurança de fluidos refrigerantes;
- Diagramas de compatibilidade para fluidos refrigerantes e lubrificantes;

- Orientações para retrofits do sistema; e
- Disponível para iOS e Android.

10. HVAC Buddy®

Recursos:

- Oferece propriedades de fluidos refrigerantes e cálculos de superaquecimento/sub-resfriamento;
- Inclui diagramas de pressão-temperatura (PT) e ferramentas de diagnóstico de AVAC; e
- Disponível para iOS e Android.

11. WhatGas? do PNUMA

Recursos:

- Informações e dados de segurança de fluidos refrigerantes;
- Diagramas de compatibilidade para fluidos refrigerantes e lubrificantes;
- Orientações para retrofits do sistema; e
- Disponível para iOS e Android.

5.9 Ferramentas e equipamentos de trabalho específicos para uso com o R-290 e o R-744

Os trabalhadores qualificados em AVAC-R estão sempre realizando uma série de tarefas, desde o planejamento do projeto até a execução. O uso de fluidos refrigerantes inflamáveis e/ou de alta pressão demanda alto padrão de ferramentas e maquinário em termos de segurança, funcionalidade, durabilidade e qualidade.

Em geral, quando são usados fluidos refrigerantes, as ferramentas e os equipamentos devem ser os mais avançados. Isso pode incluir os regulamentos CE (Conformidade Europeia) e ATEX (Atmosfera Explosiva), ou normas aplicáveis, e certificação UL (Underwriters Laboratories) no caso de uso de fluidos refrigerantes inflamáveis. Para o manuseio de fluidos refrigerantes A2L, existem equipamentos certificados correspondentes que são similares/equivalentes aos usados para fluidos refrigerantes A3. Os equipamentos para A3 podem ser usados para fluidos refrigerantes A2L, mas o contrário não se aplica. O dióxido de carbono (R-744) é classificado como fluido refrigerante A1, mas precisa de atenção geral por conta das pressões muito altas geradas com a operação e com o tempo em que o sistema de refrigeração fica parado. Ferramentas elétricas para o uso dentro da Zona 2 ATEX devem ter classificação de segurança intrínseca (ex.: ATEX II 3G Ex nA IIA T3 Gc).

Observação: Alguns manômetros digitais de fluido refrigerante têm os dados do R-744 embutidos, mas a pressão máxima de operação desses aparelhos em geral fica limitada a cerca de 6,0 MPa (60 bar) e além desse limite não é recomendado/utilizado para o monitoramento do sistema de refrigeração transcrítica do R-744.

A seleção de ferramentas é feita conforme o sistema a ser processado (quantidade de carga, local de instalação, etc.), a atividade planejada e a avaliação de risco. O uso de ferramentas varia muito de acordo com uma ampla gama de atividades e situações.

Na sequência, confira uma lista não exaustiva de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis. As ferramentas e os equipamentos para o R-744 são parecidos com os dos siste-

mas convencionais, mas, como mencionado anteriormente, ferramentas especiais para CO_2 (R-744) são necessárias por causa da alta pressão.

Uma avaliação de risco pode determinar quais dessas ferramentas são relevantes para a tarefa em questão.

Ferramentas manuais gerais

Figura 100 – Exemplo de chave de fenda



Fonte: Wera.

Chave Phillips, isolada, com acabamento macio ergonômico aço vanádio, GS VDE – EN 60900, testada para 1.000 Volts AC.

Figura 101 – Exemplo de conjunto de alicates



Fonte: Knipex.

Alicates VDE elétricos: Alicate combinado, alicate de corte diagonal, alicate bico redondo de aço vanádio, normas GS VDE – EN 60900, isolados e testados para 1.000 Volts AC.

Figura 102 – Exemplo de chave de boca de 10" ajustável com punho de plástico



Fonte: Gedore.

Chave combinada de 8", 10" e 12", ajustável, fosfatada com punho de plástico.

Figura 103 – Exemplo de conjunto de alicates de crimpagem com sortimento de conectores de cabos



Fonte: Knipex.

Figura 104 – Exemplo de testador de tensão sem contato



Fonte: Klauke.

Testador de tensão sem contato 50 - 1.000 V, LED transparente e sinal acústico quando a tensão tiver sido determinada.

Figura 105 – Exemplo de ímã para operar válvula solenoide



Fonte: Refco.

Ímã para operar válvula solenoide. Ferramenta de serviço projetada para operar manualmente válvulas solenoides elétricas.

Figura 106 – Exemplo de conjunto de chaves allen



Fonte: Baho.

Conjunto de chaves allen, sete (7) chaves; aço cromo vanádio forjado; dobrável com suporte.

Tamanhos: 3/32”; 1/8”; 5/32”; 3/16”; 1/4”; 5/16”; 3/8”.

Figura 107 – Exemplo de curvador de tubos – cabeça tripla



Fonte: Imperial.

Curvador de tubos de cobre com cabeça tripla, 180 graus, em alumínio fundido para fazer curvas precisas à esquerda, à direita e deslocadas. Tamanhos dos tubos em polegadas: 3/16”; 1/4”; 3/8”; 1/2”

Para dobrar em ângulos de 90 a 180 graus.

Figura 108 – Exemplo de cortador de tubos



Fonte: Mastercool.

Cortador para tubos com diâmetro externo de 7 a 41 mm.

Figura 109 – Exemplo de vacuômetro digital (SUPCO VG64)



Fonte: Supco.

Vacuômetro digital de uso único.

Tipo de sensor: Termistor

Conector: Padrão SAE 1/4”

Faixa: 0-19.000 mícrons

Balança: Mícrons, PSI, mBars, Pascals, Torr, mTorr

Resolução: 0,5 mícrons (0-140 mícrons)

Faixa de temperatura de operação: -17°C a 65°C (0°F a 150°F)

Sobrepressão: 800 psi (5,5 MPa) máx.

Figura 110 – Exemplo de vacuômetro digital (Testo 552i)



Fonte: Testo.

Ponta de prova de vácuo sem fio para medir o vácuo do sistema por meio de uma única porta de serviço. O aparelho conecta-se automaticamente aos manifolds digitais Testo 550s e 557s .

Figura 111 – Exemplo de conjunto de ferramentas de serviço antifaíscas para o circuito de refrigeração inflamável



Fonte: Emarei.

Ferramentas manuais antifaíscas. Mais comumente usadas em AVAC-R. As ferramentas são forjadas em cobre-berílio ou liga de bronze-alumínio e atendem aos padrões exigidos.

O cobre-berílio é antifaísca, mas fisicamente duro e não magnético; é usado na fabricação de ferramentas que podem ser usadas com segurança em ambientes onde há vapores e gases explosivos, como os fluidos refrigerantes A2L e A3. As ferramentas de cobre-berílio atendem aos requisitos da diretiva ATEX para uso nos grupos I, IIA, IIB e IIC.

Conjuntos *manifold* para fluidos refrigerantes

Figura 112 – Exemplo de conjunto *manifold* do R-744 com duas válvulas > subrítico / transcrítico



Fonte: Mastercool.

Conjunto *manifold* tipo válvula pistão de duas vias para o fluido refrigerante R-744.

Manômetros selecionáveis para -1 a 100 bar ou 0 a 160 bar.

Manómetros cheios de óleo, classe 1.0, 70 mm. Unidades em PSI/MPa.

Corpo sólido em alumínio extrudido. Botões grandes e fáceis de segurar 1/4" SAE

Mangueiras trançadas de aço para CO_2.

Conjunto acondicionados em maleta de transporte de plástico.

Figura 113 – Exemplo de *manifold* eletrônico de quatro vias para até 90 fluidos refrigerantes incluindo o R-744 subcrítico (Testo 557s)



Fonte: Testo.

Conjunto *manifold* digital com bloco de quatro vias.

Faixa de medição de -1 a 60 bar HD/ND: -100...6.000 kPa / -0,1...6 MPa / -1...60 bar (rel)

Sobrecarga 6,5 MPa (65 bar)

Temperatura –50 °C a 150 °C

Pressão: 2 x sensores de pressão

Temperatura: 2 x NTC

Vácuo: por meio de ponta de prova externa

Até quatro pontas de prova inteligentes via conexão Bluetooth.

Figura 114 – Exemplo de conjunto *manifold*



Fonte: Wigam.

Conjunto *manifold* de quatro vias com indicação de medição em bar e design anti-vibração (conexões de 3x1/4" e 1x3/8" SAE).

Disponível também com conexões de 3 x 5/16" SAE para os fluidos refrigerantes R-290, R-410A e R-32.

Equipamentos para manuseio de fluidos refrigerantes em AVAC-R

Figura 115 – Exemplo de bomba de vácuo



Fonte: Robinair.

Bomba de vácuo de dois estágios de palheta rotativa incluindo fluidos refrigerantes A3 com linha de ventilação.

5 cfm (142 l/m) @60 Hz

4,1 cfm (116 l/m) @50 Hz

Vácuo final: 15 mícrons (2 Pa)

Entrada de potência: 350 W

Conexões: 1/4" e 3/8" SAE Óleo: 480 ml

Dim.: 348 x 140 x 272 mm

Peso: 11,2 kg.

Figura 116 – Exemplo de analisador de fluido refrigerante



Fonte: MSA-Bacharach Legend HFC.

Compatível com 10 idiomas para operações globais.

Fluidos refrigerantes analisados (exibe % de pureza): R-22, R-32, R-134a, R-404A, R-407C, R-410A, hidrocarbonetos (HC) e ar.

Fluidos refrigerantes identificados (não exibe % de pureza): R-12, R-1234yf, R-408A, R-409A, R-417A, R-421A, R-421B, R-422A, R-422B, R-422C e R-427A.

Figura 117 – Exemplo de recolhedora (RDA HC-3)



Fonte: RDA.

Para fluidos refrigerantes A2/A2L/A3, como R-290, R-600a, R-32, R-1234yz e R-1234yf.

Própria também para o recolhimento de fluidos refrigerantes A1, incluindo o R-410A, mas excluindo o R-744).

Armazenamento interno de 0,3 kg de fluido refrigerante e separador de óleo.

Figura 118 – Exemplo de recolhedora (Wigam EASYREC-3EX)



Fonte: Wigam.

Para fluidos refrigerantes A2/A2L/A3, como R-290, R-600a, R-32, R-1234yz e R-1234yf. Própria também para o recolhimento de fluidos refrigerantes A1, incluindo o R-410A, mas excluindo o R-744).

Figura 119 – Exemplo de ventilador à prova de explosão (Wigam)



Fonte: Wigam.

Ventilador para a área de trabalho com capacidade de 1.500 m³/h.

Cabo de conexão de alimentação de pelo menos 5 m, conexão fixa.

Figura 120 – Exemplo de ventilador à prova de explosão (RDA)



Fonte: RDA.

Ventilador para a área de trabalho com capacidade de 700 a 4.250 m³/h.

Cabo de conexão de alimentação de pelo menos 5 m, conexão fixa.

Figura 121 – Exemplo de balança eletrônica



Fonte: REFCO.

Balança eletrônica com precisão de +/- 0,5 %, até 110 kg.

Figura 122 – Exemplo de cilindro de recolhimento de fluido refrigerantes recarregável



Fonte: Mastercool.

Cilindro de recolhimento DOT 4BA400 de 30 lb disponível em diversos tamanhos (por exemplo: 30, 50, 100, 1.000 lb).

Figura 123 – Exemplo de cilindro de recolhimento para fluidos refrigerantes inflamáveis



Fonte: Wigam.

Para uso com fluidos refrigerantes A2L e A3. O cilindro deve observar os regulamentos nacionais de transporte de produtos perigosos (ADR). Pressão mínima de trabalho de 42 bar (HCs) e 48 bar para o R-32.

Figura 124 – Exemplo de cilindro de R-744 em aço de válvula dupla



Fonte: Westfalen.

Os cilindros de gás comprimido de fluido refrigerante R-744 de válvula dupla estão disponíveis em vários tamanhos. Para sistemas maiores, por exemplo, estão disponíveis garrafas de 33 litros com uma válvula dupla para extração do fluido refrigerante na fase líquida ou gasosa.

Figura 125 – Exemplo de cilindro de R-744 com válvula de extração para líquido (tubo pescador)



Fonte: BOC.

Cilindro de fluido refrigerante R-744 com válvula de extração para líquido (tubo pescador).

Volume do cilindro 50 litros

Carga de fluido refrigerante 37,5 kg.

Figura 126 – Exemplo de cilindro de R-744 recarregável com válvula dupla para líquido e vapor



Fonte: Beijer Ref / Carbotainer.

Cilindro de carbono de válvula dupla para uma pressão de trabalho de 200 bar. O baixo peso dos cilindros em fibra de carbono permite otimizar a utilização e o transporte de dióxido de carbono (R-744) em dois tamanhos (15 e 37,5 litros).

Figura 127 – Exemplo de mangueiras de transferência de fluido refrigerante com registro bola



Fonte: ITE-Tools.

Conjunto de mangueiras de transferência de fluido refrigerante (3 x ¼" e 1 x 3/8" SAE) para uso com HFCs e HCs.

Comprimento mínimo de 90 cm.

Pressão mínima de trabalho de 52 bar.

Pressão mínima de ruptura de 275 bar.

Temperatura operacional em torno de -30°C a 120°C

Figura 128 – Exemplo de conjunto de mangueiras de alta pressão



Fonte: Refco.

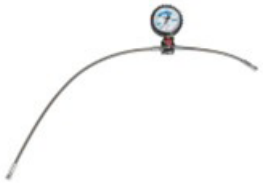
Mangueira de alta pressão para aplicações de R-744 transcrítico e subcrítico. Conexões 1/4 SAE em ambos os lados.

Mangueira resistente de alta pressão.

Pressão de trabalho até pressão de trabalho estática de 160 bar.

Encaixes crimpados com intertravamento, de acordo com a norma ABNT NBR ISO 4413.

Figura 129 – Exemplo de kit de teste do sistema para o R-744



Fonte: Wigam.

Kit de teste do R-744, medidor com mangueira e conexões ¼" SAE.

Pressão de trabalho de 0-200 bar com indicador de arraste.

Figura 130 – Exemplo de mangueira de carga do R-744



Fonte: Javac.

Mangueira para carga do R-744 na fase líquida e gasosa em sistemas transcríticos.

Pressão máxima de entrada: 300 bar.

Mangueira de alta pressão com cabo anti chicoteamento de 2m.

Rosca fêmea SAE de ¼", para ligação direta ao sistema.

Válvula de esfera de corte para conexão direta ao cilindro de CO_2.

Figura 131 – Exemplo de adaptador de latão



Fonte: Wigam.

Rosca fêmea 1/4" SAE x macho 5/16" SAE.

Rosca fêmea 5/16" SAE x macho 1/4" SAE.

Com adaptador/depressor do núcleo da válvula Schrader.

Figura 132 – Exemplo de válvula de acesso ao circuito de refrigeração



Fonte: Wigam.

Válvula de acesso para aplicações de AVAC-R de ¼" ou 5/16" SAE (vácuo, recolhimento de fluido refrigerante). Conexão fácil aos sistemas/unidades de HC, válvulas de passagem e mangueira do fluido refrigerante; estanqueidade eficiente e sem vazamento do fluido refrigerante durante a conexão da mangueira e da válvula (válvula Schrader).

Figura 133 – Exemplo de ferramenta de extração do núcleo da válvula Schrader



Fonte: Wigam.

Ferramenta de extração do núcleo da válvula Schrader usada para retirar ou substituir um núcleo do tipo "Schrader" sem recolher nem liberar o fluido refrigerante para a atmosfera (1/4" ou 5/16" SAE). Para adicionar ou recolher fluido refrigerante de modo mais eficiente e rápido. Melhores resultados durante o processo de vácuo. Fabricação totalmente em latão.

Figura 134 – Exemplo de detector eletrônico de gás projetado para as características dos fluidos refrigerantes HC, HCFC e HFC



Fonte: Vulkan Lokring.

Sensibilidade de vazamento de fluido refrigerante (R-134a) de 1 grama/ano.

Figura 135 – Exemplo de vazamento de referência fixo para conexões no cilindro do fluido refrigerante



Fonte: HTP UK.

Vazamento de referência fixo para a maioria dos fluidos refrigerantes (HC, HFC, HCFC) com taxa de vazamento em torno de 5 g/ano (0,18 oz/ano).

Figura 136 – Ferramenta de verificação da sensibilidade do R-744



Fonte: HTP UK.

Figura 137 – Exemplo de detector eletrônico de gás projetado para uso com fluidos refrigerantes HC e amônia (Inficon Gas-Mate)



Fonte: Inficon.

Fonte de alimentação: Duas baterias alcalinas de tamanho D (1,5 V) incluídas (use a Duracell® MN1300 para manter a aprovação de intrinsicamente seguro).

A unidade básica inclui: sensor, duas baterias alcalinas de tamanho D, caixa de transporte em plástico rígido.

Sensibilidade: 5 ppm: metano, R-290 (propano), R-600 (isobutano) e hidrogênio.

Certificações: Intrinsicamente seguro para Classe I, Divisão I, Grupos A-D, T4 e II 3G Ex nA nL IIC T4 X conforme listagem do MET Laboratories #E112145.

Figura 138 – Exemplo de detector de gás para uso com gás marcador



Fonte: Vulkan Lokring

Para uso com a mistura de gás marcador de 95% N_2 e 5% H_2. Para detecção de vazamentos < 1g/a.

Figura 139 – Exemplo de detector eletrônico de gás R-744



Fonte: Inficon.

Detector (instrumento de detecção de vazamento) do fluido refrigerante dióxido de carbono (R-744) com sensibilidade mínima de 5 gramas por ano. Célula de detecção de absorção de infravermelho com alta seletividade para dióxido de carbono, o circuito do instrumento equaliza o CO_2 presente na atmosfera.

Figura 140 – Exemplo de detector de gás portátil



Fonte: Crowcon.

Monitor pessoal de um único gás usado como EPI para

1. C_3H_8 - 0-100% LII.

ou

2. CO_2 - 0 a 5 Vol. %

Cada um inclui bateria e estação de carregamento (110V/230V).

Figura 141 – Exemplo de testador de tensão de dois polos



Fonte: Benning.

Testador de tensão analógico com indicador de tensão operado por solenoide (iluminado) próprio para engenharia elétrica, industrial, manutenção, serviço (solução de problemas). Tensão de 12 V - 1.000 V AC / DC (LED / bobina móvel).

Figura 142 – Alicate amperímetro digital



Fonte: Fluke.

Medição de ampères, tensão e resistência sem contato. Visor de LCD e função de espera para facilitar a leitura.

Figura 143 - Exemplo de testador de resistência do isolamento



Fonte: Fluke.

Testador portátil de isolamento para testes de isolamento elétrico de 0,01 MΩ a 2,0 GΩ.

Figura 144 – Exemplo de termômetro digital para alimentos



Fonte: Testo.

Termômetro digital para alimentos compatível com APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle) e EN 13485 para verificação da temperatura dos produtos.

Figura 145 – Exemplo de termômetro eletrônico



Fonte: Wigam.

Termômetro eletrônico equipado com duas pontas de prova.

Figura 146 – Exemplo de termômetro eletrônico





Fonte: Testo.

Datalogger para medir temperatura e umidade.

Registro de dados incluindo o *software* ComSoft Basic.

Faixa de medição de temperatura de -20°C a 70°C; umidade 0 - 100% UR.

Equipamentos de teste de pressão

Figura 147 – Exemplo de regulador de pressão de N_2 e/ou CO_2



Fonte: Uniweld.

Regulador de pressão com diafragma projetado em pistão de latão para a aplicação do gás específico e com alta pressão de trabalho.

Figura 148 – Exemplo de dispositivo de



Fonte: Uniweld.

Dispositivo de regulagem de nitrogênio (N_2) para a purga do nitrogênio durante o *flushing* (limpeza) do sistema e brasagem com gás inerte de tubos de cobre em sistemas de refrigeração. Dispositivo com indicador de fluxo, etiqueta de calibração e válvula ajustável de pressão para controlar o baixo fluxo de gás nitrogênio.

A purga permite 10 L/min.

A brasagem permite 2 L/min.

Figura 149 – Exemplo de dispositivo de teste de pressão de nitrogênio



Fonte: Wigam.

Conjunto *manifold* de teste de pressão com OFDN (teste de resistência).

Dispositivo com setores definidos de teste de pressão para fluidos refrigerantes variados. Com parafuso de calibração e marcador de posição (indicador de arraste).

Ferramentas de controle de ESD

Figura 150 – Exemplo de pulseira de aterramento



Fonte: BJZ GmbH.

Kit de aterramento com pulseira ajustável e fio de bobina para afastar a eletricidade estática ESD do corpo para trabalhos com fluidos refrigerantes inflamáveis na Zona 2.

Figura 151 – Exemplo de fio de bobina de aterramento com garra jacaré



Fonte: BJZ GmbH.

Para conexão com plugue de aterramento para afastar a eletricidade estática ESD do corpo para trabalhos com fluidos refrigerantes inflamáveis na Zona 2.

Figura 152 – Exemplo de plugue de aterramento



Fonte: BJZ GmbH.

Plugue e caixas para aterramento ESG fácil e barato usando o fio terra da rede elétrica para afastar a eletricidade estática ESD do corpo para trabalhos com fluidos refrigerantes inflamáveis na Zona 2.

O plugue deve atender às normas nacionais de plugue da rede elétrica.

5.10 Transporte de fluidos refrigerantes

Alguns fluidos refrigerantes são transportados e armazenados no estado líquido em temperatura ambiente normal dentro de tambores, barris ou outros cilindros padrão (por exemplo, R-11 e R-141b). Outros fluidos refrigerantes normalmente usados ficam em estado gasoso à pressão atmosférica e em temperatura ambiente normal. Eles são, portanto, transportados e armazenados como gases liquefeitos e comprimidos dentro de cilindros de gás destinados a essa finalidade, conhecidos como vasos de pressão.

Eles estão sujeitos às regras de transporte de produtos perigosos e às regras de segurança de carga em geral (veja também a seção sobre o transporte de cilindros de gás em ambientes externos).

Segurança geral dos cilindros de gases liquefeitos e pressurizados

Como eles representam um perigo específico à saúde pública e à segurança ocupacional, os vasos de pressão estão sujeitos à regulamentação nacional na maioria dos países, no que diz respeito à sua fabricação, transporte, manuseio e manutenção.

5.10.1 Tipos de cilindro

Os fluidos refrigerantes estão disponíveis em dois tipos de recipientes de transporte (também chamados de cilindros):

1. Descartáveis, "cilindros não reutilizáveis", fabricados para serem usados uma única vez; e
2. Retornáveis, "recarregáveis", para serem reutilizados, com maior durabilidade e resistência.

Os cilindros de recolhimento, usados apenas para o recolhimento de fluidos refrigerantes, são tecnicamente a mesma coisa que os cilindros recarregáveis.

Os critérios de projeto para os cilindros de fluido refrigerante são especificados para duas regiões diferentes de uso, mas eles de fato estão em uso no mundo todo.

Para a Europa:

- Acordo europeu sobre o transporte internacional de mercadorias perigosas por rodovia (ADR) com várias seções específicas; ex.: P200 (instruções de embalagem para cilindros, tubos, tambores de pressão e conjuntos de cilindros). Comissão econômica para o comitê europeu de transporte terrestre (última versão publicada em 1o de janeiro de 2017);
- EN 13322-1 Cilindros de gás transportáveis – Cilindro de gás de aço soldado recarregável; Projeto e fabricação – Parte 1: Aço carbono; e
- Diretiva europeia 2010/35, de 16 de junho de 2010, sobre equipamentos sob pressão transportáveis (TPED).

Para os EUA e Canadá:

- Regulamento federal do equivalente ao Ministério dos Transportes dos EUA (DOT); e
- Norma AHRI (Instituto de Ar Condicionado, Aquecimento e Refrigeração).

A diretriz "M-2020" do AHRI sobre acessórios e pontos de acesso de serviço exclusivos para uso de fluido refrigerante inflamável (AHRI, 2020) estabelece recomendações de boas práticas para o projeto e a aplicação de acessórios exclusivos para todos os recipientes que contêm fluidos refrigerantes, como cilindros de fluidos refrigerantes e tanques usados para serviço e comissionamento, e pontos

de acesso de serviço para equipamentos de ar condicionado e refrigeração comercial, como chillers e equipamentos unitários. A finalidade da diretriz é evitar que os equipamentos destinados a fluidos refrigerantes não inflamáveis sejam contaminados com fluidos refrigerantes inflamáveis e vice-versa. A diretriz se aplica a todos os pontos de serviço para uso com fluidos refrigerantes de classe A2L, B2L, A2 e A3, conforme as classificações listadas na norma ANSI/ASHRAE 34 / ABNT NBR 16666.

5.10.1.1 Cilindros de fluido refrigerante descartáveis

Os cilindros descartáveis são comumente usados em muitas partes do mundo. A recarga desses cilindros é estritamente proibida. Projetados para uso único, eles não estão sujeitos aos padrões mais rigorosos de fabricação dos cilindros recarregáveis. Por conseguinte, eles podem não ter a durabilidade dos cilindros recarregáveis, e o desempenho deles depois de várias recargas é desconhecido, o que representa um potencial risco de segurança.

Figura 153 – Manipulação (recarga) proibida de cilindro DOT39 (carga de líquido e gás)



Os cilindros descartáveis não devem ser recarregados. A compra e o uso de adaptadores vendidos para viabilizar a recarga desses cilindros criam um potencial risco de incêndio, explosão, lesão grave e danos à propriedade.

Fonte: HEAT GmbH.

Os cilindros descartáveis estão proibidos na UE e em cilindros com destino à UE, porque eles estão associados a danos ambientais provocados por resíduos de fluidos refrigerantes. Proibições parecidas também estão em vigor no Canadá, na Índia e na Austrália. No Brasil a ABNT NBR 17145 se aplica para o transporte, armazenamento, manuseio e descarte de cilindros descartáveis.

Figura 154 – Poluição ambiental com cilindro descartável para fluido refrigerante "esvaziado" DOT39



Fonte: HEAT GmbH.

5.10.1.2 **Detalhes técnicos para cilindros descartáveis**

Os tamanhos regulares para cilindros descartáveis para uso geral de fluidos refrigerantes são por diâmetro: 7,5" (190,5 mm), 9" (228,6 mm), 9,5" (241,3 mm) e 12" (304,8 mm). As pressões de serviço vão até 400 psig (27,6 bars), dependendo do tipo. Como esses cilindros estão proibidos na UE, eles são fabricados conforme a norma DOT 39 dos EUA (Especificações para cilindros sob pressão transportáveis não recarregáveis de aço soldado).

O projeto e a fabricação seguem o ADR ou DOT.

Figura 155 – Exemplo de cilindro de HC R-290 DOT 39 com a marcação adequada



Fonte: HEAT GmbH, cilindro por OZ-CHILL.

O cilindro DOT 39 não tem emenda, é soldado ou brasado, com pressão de serviço que não ultrapassa 80% da pressão de teste (pressão de teste significa a pressão à qual um tanque é submetido para determinar sua integridade de pressão).

Limitação de tamanho: A capacidade máxima de água não pode ultrapassar:

(I) 55 libras (1.526 polegadas cúbicas) para uma pressão de serviço de 500 psig ou menos; e

(II) 10 libras (277 polegadas cúbicas) para uma pressão de serviço acima de 500 psig.

Os cilindros DOT não passam por tratamento de calor no processo de fabricação e no uso regular; eles são pressionados até o limite máximo da capacidade!

É possível identificar um cilindro DOT 39 pela etiqueta, que inclui:

1. DOT-39;
2. NRC (cilindro não recarregável);
3. Pressão de serviço;
4. Pressão de teste;
5. Número de registro (M****) do fabricante;
6. Número do lote;
7. Data de fabricação, se o número do lote não especificar a data; e
8. A declaração a seguir: Para cilindros fabricados a partir de 1º de outubro de 1996: "A lei federal proíbe o transporte em caso de recarga – multa de até USD 500.000 e cinco anos de prisão (49 U.S.C. 5124)".

5.10.1.3 **Cilindros descartáveis que viram sucata**

Quando um cilindro "vazio" vira sucata, ele costuma conter ainda resíduos de fluido refrigerante. Isso representa uma ameaça para o meio ambiente.

Cilindros de fluido refrigerante descartáveis:

- Devem ser completamente esvaziados antes de serem descartados como sucata. O recolhimento do fluido refrigerante residual pode ser necessário; e
- Devem ser posteriormente marcados como vazios e depois descartados.

⚠ Os cilindros que contêm fluido refrigerante residual não devem ser deixados ao ar livre, onde o cilindro acaba enferrujando. Um cilindro abandonado vai se deteriorando e poderia explodir.

5.10.1.4 **Recolhimento de conteúdo e descarte/reciclagem adequados de cilindros de fluido refrigerante descartáveis (fluidos refrigerantes inflamáveis)**

Por motivos práticos, de segurança e ambientais, é exigido que os conteúdos sejam recolhidos e que os cilindros de fluido refrigerante sejam devidamente reciclados. A Diretriz "Q" do AHRI, de 2016, sobre recolhimento de conteúdo e reciclagem apropriada de cilindros de fluido refrigerante (AHRI, 2016) fornece recomendações técnicas e descrições para cilindros usados tanto para fluidos refrigerantes inflamáveis quanto não inflamáveis.

A seguir, confirma informações importantes para o recolhimento de fluido refrigerante e o descarte de cilindros "vazios" inflamáveis DOT-39 (não recarregáveis) e sua preparação técnica para descarte/reciclagem. Geralmente, é responsabilidade do usuário final verificar se qualquer conteúdo residual do fluido refrigerante foi recolhido do cilindro.

Observação: Se o cilindro descartável contiver uma pequena quantidade (na pressão atmosférica) de fluido refrigerante hidrocarboneto, o conteúdo residual também poderá ser descarregado no ambiente usando-se uma bomba de vácuo (área externa segura).

As ferramentas manuais antifaíscas são forjadas em cobre-berílio ou liga de bronze-alumínio e atendem aos padrões exigidos.

O cobre-berílio é antifaísca, mas fisicamente duro e não magnético. Ele é utilizado na fabricação de ferramentas que podem ser usadas, com segurança, em ambientes onde há vapores e gases explosivos, como os fluidos refrigerantes A2L e A3. As ferramentas de cobre-berílio atendem às demandas da diretiva ATEX para uso nos grupos I, IIA, IIB e IIC.

5.10.1.5 **Cilindros de fluido refrigerante recarregáveis**

Nos Estados Unidos, no Canadá, na Austrália e, em alguns casos, na Índia, o fornecimento de fluidos refrigerantes para o mercado de AVAC-R é feito usando cilindros de fluidos refrigerantes recarregáveis. Esses vasos de pressão são projetados e fabricados de acordo com as normas mencionadas no início desse capítulo.

Detalhes técnicos para cilindros recarregáveis

A resistência exigida do cilindro é regulada conforme o ADR (P200) de acordo com o tipo de gás transportado. A Tabela 55 indica alguns exemplos de exigências de substâncias e cilindros, e indica informações importantes sobre os cilindros e os conteúdos que deveriam ser incluídos na etiqueta. Esses parâmetros podem ser conferidos pela polícia ou por fornecedores para ver se os cilindros ainda são próprios para uso.

O ADR categoriza a embalagem de acordo com o tipo. P200 serve para cilindros, tubos, tambores de pressão e conjuntos de cilindros.

Observação: A carga máxima para cilindros de recolhimento de fluido refrigerante (mistura de fluido refrigerante e óleo) está especificada na norma ABNT NBR ISO 5149-4. As pressões de teste são aplicáveis conforme indicado.

Tabela 55 – Instruções de embalagem do ADR P200 e exemplos de especificações de cilindros recarregáveis

Nº ONU:	Nome da substância	Código de classificação de perigo	Pressão de teste para cilindros		Período de teste (anos)	Massa máxima de conteúdo permitida por capacidade em litro (substâncias virgens)
			MPa	bar		
1018	R-22 – HCFC	2A	2,7	27	10	1,03
3337	R-404A – HFC	2A	3,6	36	10	0,82
1013	R-744 – Dióxido de carbono	2A	19 19	190 250	10	0,68 0,76
1005	R-717 – Amônia	2TC	2,9	29	5	0,54
1077	R-1270 – Propileno	2F	2,7	27	10	0,43
1969	R-600a – Isobutano	2F	1	10	10	0,49
1978	R-290 – Propano	2F	2,3	23	10	0,43
3252	R-32 – HFC	2F	4,8	48	10	0,78

Fonte: ADR 2017.

Por causa das diversas pressões de teste listadas de acordo com o ADR P200 (instruções de embalagem), os fabricantes de cilindros e fornecedores de fluidos refrigerantes podem escolher intervalos específicos de variação para o fornecimento de fluidos refrigerantes, para limitar a variedade de cilindros usados. A Tabela 56 mostra um exemplo de especificações detalhadas de um fabricante.

Tabela 56 – Exemplo de tamanhos comuns e especificações para cilindros de fluidos refrigerantes recarregáveis

Capacidade de água / litro	12,5	27,2	52,0	61,0
Altura (mm)	519	594	1.118	1.300
Diâmetro (mm)	229	300	267	267
Tara (kg)	8,0	14,7	29,5	32,4
Pressão de teste (bars)	≥ 23– 48	≥ 23– 48	≥ 23– 48	≥ 23– 48
Normas EN 133221-1 / EN 14638-3 / TPED	X	X	X	X

Fonte: GWG Gasflaschenwerk Germany, Gruenhein GmbH.

Além dos cilindros mencionados anteriormente, estão disponíveis outros tamanhos e recursos de projeto condizentes com as normas e os regulamentos. Em geral, os cilindros são feitos de aço e possuem válvulas com "inserção antienchimento" (dispositivos de pressão residual) ou uma válvula de combinação, com portas separadas para retirada e enchimento de fluido refrigerante. Dependendo da válvula instalada, há também um dispositivo de alívio de pressão. Os cilindros menores têm que ser colocados de cabeça para baixo para a retirada do fluido refrigerante. Os cilindros maiores (por causa do peso) vêm equipados com duas portas extras para a retirada do fluido refrigerante na fase líquida e na fase gasosa. Para cilindros equipados com uma válvula de duas portas, a válvula vem com um tubo de imersão para manter a retirada do fluido refrigerante líquido e gasoso na posição em pé.

Em geral, o cilindro DOT 39 vem com um colar de metal em torno da parte superior para proteger a válvula contra danos mecânicos. Os cilindros DOT 39 não devem ser usados como cilindros de recolhimento.

⚠ Normalmente, os cilindros de fluido refrigerante recarregáveis para fluidos refrigerantes virgens recebem um dispositivo de pressão residual (RPD) para garantir que o fluido refrigerante usado ou qualquer outra substância não seja reintroduzido no cilindro. Esses cilindros não podem ser usados como cilindros de recolhimento!

5.10.1.6 **Cilindros de recolhimento de fluidos refrigerantes**

Os cilindros de recolhimento são projetados especialmente para a extração de fluidos refrigerantes (e óleo) de sistemas de refrigeração. Os requisitos específicos estão determinados nas seguintes normas:

- EN 378 – Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Segurança e requisitos ambientais – Parte 4: Operação, manutenção, reparos e regeneração;
- ISO 5149-4 Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Segurança e requisitos ambientais – Parte 4: Operação, manutenção, reparos e regeneração.

Essas normas orientam que o fluido refrigerante só deve ser transferido para um cilindro adequado para o fluido refrigerante específico envolvido. O cilindro deve ter a etiqueta para aquele fluido refrigerante, com: número do fluido refrigerante, nome da(s) substância(s) química(s), perigos e avisos. A cor do cilindro deve estar de acordo com os regulamentos nacionais.

5.10.1.7 **Acessórios do cilindro**

Os acessórios usados em cilindros de fluido refrigerante, tanto em cilindros de fluidos refrigerantes A2L, B2L, A2 e A3 carregáveis quanto não carregáveis, como os cilindros DOT-39/TC-39M não carregáveis e os cilindros DOT/TC carregáveis, e cilindros com licença especial, devem ser do tipo descrito na Tabela 57.

Tabela 57 – Acessórios para cilindros e tanques de fluido refrigerante

Tipo de cilindro do fluido refrigerante, peso líquido do produto (W), lb	Classificação do fluido refrigerante	
	A2L	A2/A3
W < 2	CGA 164	Consulte o fabricante do fluido refrigerante
2 ≤ W < 50	CGA 164	CGA 510
50 ≤ W < 240	CGA 670	CGA 510
240 ≤ W < 1.000	CGA 670	Consulte o fabricante do fluido refrigerante

Fonte: AHRI (2020) CGA: Normas da Associação de gás comprimido.

- Para acessórios que não têm uma classificação de pressão definida, recomenda-se usar uma pressão mínima de serviço equivalente à pressão de vapor saturado do fluido refrigerante a 55 °C;
- Para cilindros com menos de 450 g de fluido refrigerante de classe A2/A3 com acessórios não listados na tabela, as conexões devem ser classificadas por cores e devem ter uma etiqueta indicando que são altamente inflamáveis;
- Cilindros que contêm gases de fluido refrigerante B2L (ex.: R-717) devem ter acessórios únicos, além dos listados na tabela. A norma V-1 da CGA deve ser consultada para recomendações de acessórios específicas para o tipo de gás; e
- As marcações em recipientes e cilindros devem seguir as Diretrizes N (2017) e K (2015) do AHRI.

Equipamentos

Foram lançados acessórios com "rosca esquerda" para fluidos refrigerantes A2/A3. Entretanto, os acessórios para fluidos refrigerantes A2L (ex.: R-32, R-123yf, R-1234ze) permanecem com "rosca direita". A Tabela 58 descreve descreve os acessórios para os equipamentos.

Algumas normas americanas (UL 484, UL 471, UL 60335-2-40, UL 60335-2-89, ou ASHRAE 15) podem ter requisitos específicos para os equipamentos descritos. Por exemplo: pode haver uma exigência para que acessórios tenham determinada cor, tenham bucha colorida, ou para que a etiqueta seja vermelha (ex. Pantone Matching System PMS Nº 185). Pode haver exigência quanto à posição dos acessórios, para eles não ficarem a certa distância de componentes de compressão ou de alta energia. Em determinadas situações, pode ser que os acessórios de serviços nem sejam permitidos. A norma UL relevante deve ser consultada para tais exigências.

Observação: Para aparelhos de ar condicionado do tipo janela e terminais de ar condicionado embalados, consulte as regras da SNAP (Significant New Alternatives Policy, criada pelos Estados Unidos), de 15 de agosto de 2015 e o Título 40 do CFR, Parte 82, Subparte G, Apêndice R.

Os equipamentos que contêm gases de fluido refrigerante B2L (ex.: R-717) devem ter acessórios únicos, além dos listados na Tabela 58. A norma V-1 da CGA e a norma 2-2014 do IIAR (Instituto Internacional de Refrigeração com Amônia) devem ser consultadas para recomendações de acessórios específicos para o tipo de gás.

Equipamentos comerciais grandes, que usam acessórios de serviço para fluido refrigerante diferente das conexões flangeadas SAE de 45°, incluindo vedação facial ou acessórios de conexão com pressão, devem ser analisados conforme as recomendações do fabricante.

Tabela 58 – Acessórios/portas de serviço para equipamentos

Acessórios atuais para equipamentos com fluido refrigerante de classe A1	Acessórios recomendados para A2L	Acessórios recomendados para A2/A3
3/16 em rosca direita com conexão flangeada SAE 3/8-24	3/16 em rosca direita com conexão flangeada SAE 3/8-24	3/16 em rosca **esquerda** com conexão flangeada SAE 3/8-24
1/4 em rosca direita com conexão flangeada SAE 7/16-20	1/4 em rosca direita com conexão flangeada SAE 7/16-20	1/4 em rosca **esquerda** com conexão flangeada SAE 7/16-20
5/16 em rosca direita com conexão flangeada SAE 1/2-20	5/16 em rosca direita com conexão flangeada SAE 1/2-20	5/16 em rosca **esquerda** com conexão flangeada SAE 1/2-20
3/8 em rosca direita com conexão flangeada SAE 3/16-24	3/8 em rosca direita com conexão flangeada SAE 3/16-24	3/8 em rosca **esquerda** com conexão flangeada SAE 3/16-24
1/2 em rosca direita com conexão flangeada SAE 5/16-20	1/2 em rosca direita com conexão flangeada SAE 5/16-20	1/2 em rosca **esquerda** com conexão flangeada SAE 5/16-20
3/4 em rosca direita com conexão flangeada SAE 1/2-16	3/4 em rosca direita com conexão flangeada SAE 1/2-16	3/4 em rosca **esquerda** com conexão flangeada SAE 1/2-16

Atenção:
A conexão flangeada SAE é de 45°, conforme a norma SAE J513.

Fonte: AHRI (2020).

5.10.2 Cilindros para uso de dióxido de carbono (R-744)

Figura 156 – Cilindro de aço R-744 genérico com válvula de porta dupla



Fonte: Westfalen.

Os cilindros de gás comprimido de R-744 estão disponíveis em vários tamanhos. Para sistemas maiores, por exemplo, estão disponíveis cilindros de 33 litros com válvula de conexão dupla.
Esta válvula permite a retirada inicial do gás para levar o sistema a uma pressão acima do ponto triplo (por exemplo, 10 bar). O dióxido de carbono pode então ser preenchido como um líquido. Isto evita de forma confiável a formação de gelo seco.

⚠ Deve-se notar que algumas válvulas de porta dupla estão equipadas com uma válvula de retenção. Estes cilindros de gás pressurizado equipados com válvula de retenção **não são adequados** para reabastecimento.

Figura 157 – Cilindro R-744 recarregável com válvula de porta dupla para líquido e vapor



Fonte: Beijer Ref / Carbotainer.

Cilindro de carbono para uma pressão de trabalho de 200 bar. O baixo peso dos cilindros de fibra de carbono permite otimizar a utilização e o transporte do dióxido de carbono (R-744) em dois tamanhos (15 e 37,5 litros).

5.10.3 **Cilindros para uso de hidrocarbonetos**

Figura 158 – Exemplo de cilindro recarregável para fluidos refrigerantes inflamáveis



Fonte: HEAT GmbH.

Cilindros recarregáveis para fluidos refrigerantes inflamáveis (neste caso, o R290 – propano) têm roscas esquerdas para o adaptador da mangueira de carga de fluido refrigerante (veja Figura 158 e Figura159.
Dependendo do fornecedor de fluido refrigerante inflamável, o cilindro do fornecedor pode ter um código de cores específico (ex.: colar vermelho, botijão cinza).

- Volume do cilindro: 26 litros;
- Carga do cilindro: 10 kg R290;
- Pressão de teste: 33 bars;
- Tara: 14,2 kg;
- Válvula com duas portas;
- Válvula de segurança;
- Tubo de imersão.

Figura 159 – Tampa de proteção da válvula do cilindro (esquerda) e adaptador do cilindro para conexão da mangueira de carga com a marcação entalhada (gás inflamável) (direita)





Fonte: HEAT GmbH.

Adaptador do cilindro:
Conexão fêmea W21,8-14 DIN 477;
Conexão macho ¼" SAE (7/16" UNF).
O adaptador com entalhe indica uso de fluidos refrigerantes inflamáveis.

Para a instalação ou reparo de aparelhos domésticos e comerciais de pequeno porte (refrigeradores, *freezers*, máquinas automáticas de venda, refrigeradores de bebidas e aparelhos de ar condicionado do tipo split) que funcionam com fluidos refrigerantes hidrocarbonetos, podem ser usados os cilindros pequenos, tanto os recarregáveis quanto os descartáveis (veja abaixo).

Os cilindros têm que ser colocados de cabeça para baixo para a extração do fluido refrigerante líquido e precisam de um suporte de carga de cilindro de fluido refrigerante para uso seguro e preciso.

Figura 160 – Cartucho de fluido refrigerante HC recarregável e suporte de carga – carga de fluido refrigerante de cerca de 370 gramas



Fonte: Vulkan.

Exemplo de cilindro recarregável (Figura 160):

Projeto e fabricação conforme o ADR ou DOT.

Capacidade = 1 litro

Quantidade de carga: R-290 = cerca de 370 gramas

Conexão da mangueira de carga = 1/4" SAE (7/16" UNF)

Figura 161 – Cilindro de fluido refrigerante descartável (tonéis/cartuchos) e suporte de carga para HC



Fonte: Vulkan.

Exemplo de cilindros descartáveis (Figura 161).

Capacidade = 0,75 litro

Quantidade de carga: R-600a = cerca de 420 gramas

Os cilindros descartáveis servem apenas para uso com fluido refrigerante virgem!



Armazene os cilindros para gases inflamáveis em uma área fresca, seca, bem ventilada e protegida da luz solar direta.

5.10.4 Código de cores e identificação de cilindros industriais mais comuns com gases comprimidos

Os cilindros que contêm gases sob pressão são classificados por cores e rotulados, de modo que seja fácil detectar o conteúdo deles e possíveis riscos associados.

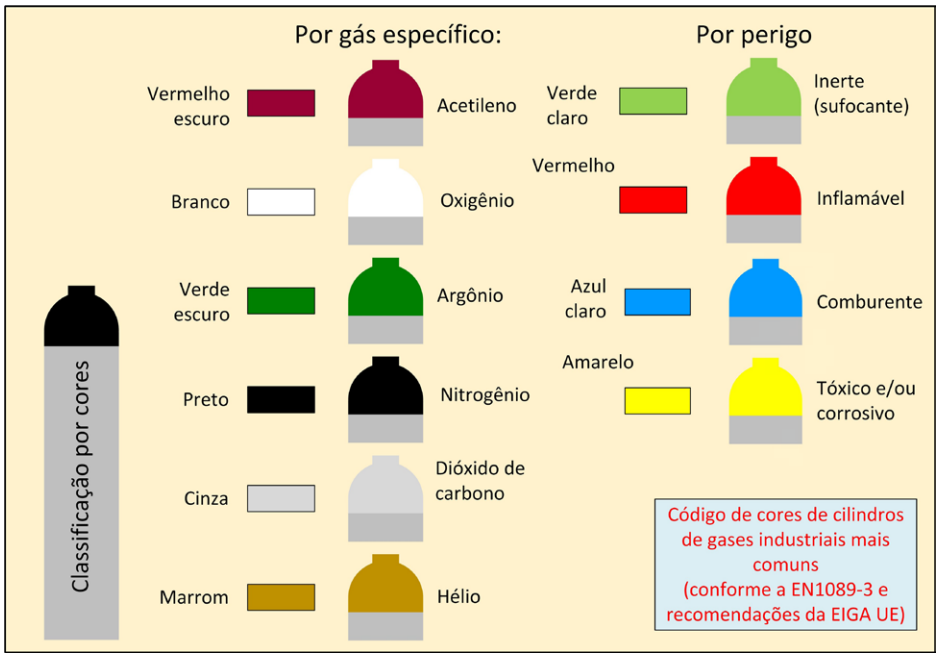
5.10.4.1 Código de cores seguindo a EN 1089-3

A Figura 162 mostra o código de cores dos cilindros de gás de acordo com a norma europeia EN 1089-3, que é bem estabelecida e usada em muitos países. O código de cores já pode ser reconhecido a partir de certa distância. O código de cores é aplicado somente na lateral do botijão e indica as propriedades do gás (tóxico, inflamável, comburente ou inerte). A marcação do gás é feita na etiqueta de produtos perigosos presa na lateral dos cilindros, conforme explicado no próximo capítulo.

A cor do cilindro determina o tipo de gás (Acordo da Associação Europeia de Gases Industriais):

- Gases industriais: cinza ou mesma cor da lateral, mas não branco;
- Gases especiais: não especificado;
- Gases médicos / para inalação: branco;
- Os cilindros contendo ar para respirar usados por brigadas de incêndio e equipes de resgate costumam ter uma cor amarela ou vermelha vibrante para chamar atenção.

Figura 162 – Codificação de cores de cilindros de gases industriais comuns de acordo com a EN1089-3



Fonte: HEAT GmbH, com base na EN 1089-3.

5.10.4.2 Código de cores do cilindro de fluido refrigerante descartável DOT39 de acordo com a Diretriz N do AHRI 2017

O Título 49 do Código de Regulamentos Federais (CFR) dos EUA sobre transporte perigoso, e o Título 29 do CFR sobre segurança e saúde ocupacional exigem que todos os recipientes que contêm materiais perigosos, incluindo tambores e cilindros com fluidos refrigerantes, sejam devidamente rotulados para identificar o conteúdo com clareza. Essas etiquetas e marcações feitas nos cilindros devem sempre ser usadas como a principal maneira de identificar o tipo de fluido refrigerante em um cilindro.

Anteriormente, cada fluido refrigerante tinha recebido uma cor na Diretriz N do AHRI e os cilindros foram pintados de acordo (AHRI, 2017). À medida que cada vez mais fluidos refrigerantes estão sendo aprovados para uso, a diretriz teve que ser renovada para evitar erros de identificação de cilindros com cores parecidas. A diretriz antiga pôde ser aplicada até o final de 2019, sem necessidade de pintar novamente o estoque mais antigo.

- Todos os cilindros para fluidos refrigerantes virgens devem ser pintados de cinza claro (RAL 7044 correspondente a PMS 413);
- Uma etiqueta precisa indicar o fluido refrigerante contido lá dentro. As atribuições de cores usadas anteriormente vão continuar para etiquetas e caixas de produtos; e

Consulte a AHRI (2017) para ver a atribuição de cores para cilindros de fluidos refrigerantes em www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/Guidelines/AHRI_Guideline_N_2017.pdf

O aplicativo para smartphone "*WhatGas*?", recentemente atualizado pelo programa OzonAction do *PNUMA*, oferece informações úteis a esse respeito. Basta procurar "*WhatGas*?" na Google Store ou na Apple Store.

[8] EN 1089-3: Cilindros de gás transportáveis – Identificação do cilindro de gás (exceto GLP). Código de cores.

- Uma faixa vermelha na lateral ou parte superior do cilindro serve para designar compostos inflamáveis, ou misturas que poderiam se tornar inflamáveis em caso de algum vazamento.

As cores de cilindros para fluidos refrigerantes recolhidos ou reciclados estão cobertas na Diretriz K do AHRI (AHRI, 2015).

Figura 163 – Código de cores dos cilindros de acordo com a Diretriz N do AHRI



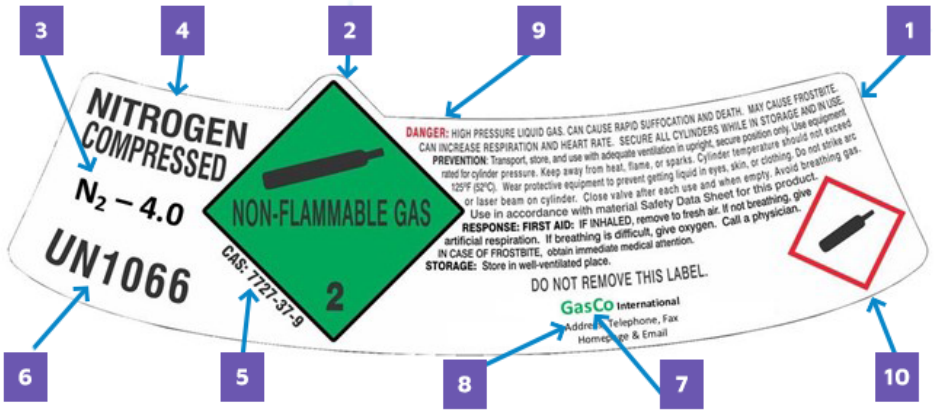
Fonte: Bacharach.

5.10.5 **A etiqueta de produtos perigosos e os códigos de registro internacionais**

A Figura 164 mostra um exemplo de etiqueta de produtos perigosos. A Figura 165 mostra uma etiqueta para o R-290. No caso de gases especiais, as informações para atender às exigências de leis de transporte (DOT / ADN / ADR-RID) e à Portaria sobre Substâncias Perigosas também podem ser separadas em diversas etiquetas adesivas se não houver espaço suficiente para colocar tudo junto.

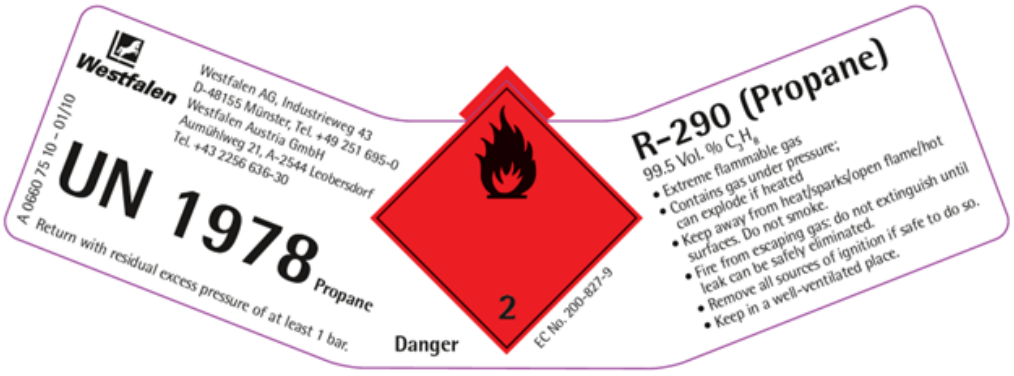
Figura 164 – Exemplo de etiqueta de produto perigoso (gás industrial técnico). O formato e o design da etiqueta mostrada pode variar de acordo com o produtor do gás. O texto e os símbolos estão em conformidade com os requisitos legais.

1	Declarações de perigo e precaução (sentenças H e P de acordo com o GHS)	6	Número da ONU – identificação da substância
2	Etiqueta de perigo de acordo com ADR/RID – DOT	7	Informações do produtor de gás
3	Ex.: composição de mistura de gás ou qualidade	8	Nome e informações de endereço do produtor
4	Nome comercial do gás	9	Palavra de sinalização
5	CAS da designação internacional	10	GHS – Sistema Globalmente Harmonizado



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 165 – Exemplo de etiqueta de produtos perigosos para R-290 (propano)



Fonte: HEAT GmbH.

A Figura 166 mostra a marcação inadequada de cilindros, o que pode ser perigoso para a pessoa que manuseia o gás.

Figura 166 – Exemplos de marcação inadequada e perigosa de cilindro (N_2 esquerda / O_2 direita)



Fonte: HEAT GmbH.

Há vários códigos de registro internacionais aplicáveis a qualquer substância sujeita a transporte.

Os **números da ONU** (números da Organização das Nações Unidas) são números de quatro dígitos que identificam artigos e materiais perigosos (como explosivos, líquidos inflamáveis para sólidos comburentes ou líquidos tóxicos, etc.) na estrutura dos transportes internacionais. Algumas substâncias perigosas têm seus próprios números da ONU (por exemplo, o acetileno é UN 1001), mas alguns grupos de produtos químicos ou produtos com propriedades similares recebem um número da ONU em comum (por exemplo, líquidos inflamáveis, não especificados de outra forma, são UN 1993). Um produto químico em estado sólido pode receber um número da ONU diferente do que na fase líquida, se suas propriedades perigosas forem significativamente diferentes; substâncias com níveis diferentes de pureza (ou concentração na solução) também podem receber números da ONU diferentes.

Os números da ONU vão de UN 0004 a cerca de UN 3534 (UN 0001 – UN 0003 não existem mais) e são atribuídos pelo Comitê de Peritos em Transporte de Produtos Perigosos da Organização das Nações Unidas. Eles são publicados como

parte de suas Recomendações para o Transporte de Produtos Perigosos, também conhecidas como *Orange Book* (Livro Laranja). Essas recomendações são adotadas pela organização regulatória responsável pelos diferentes meios de transporte. Não há números da ONU alocados para substâncias não perigosas. Elas simplesmente não têm um número da ONU.

O **número CAS** (também chamado de número de registro no CAS, sendo que CAS = Chemical Abstracts Service) é uma norma de designação internacional para substâncias químicas. Há um número CAS único para cada substância química registrada no banco de dados do CAS. Os números CAS consistem em três números separados por dois hifens. O primeiro número pode conter até sete dígitos; o segundo número, dois dígitos. Esses números são codificados com uma soma de verificação – que é o terceiro número – e, assim, sua plausibilidade pode ser relativamente fácil de checar. Os números CAS são definidos em ordem ascendente e não apresentam ordem interna.

Todos os dias, cerca de 12.000 novas substâncias são registradas. Em junho de 2015, a marca dos 100 milhões foi ultrapassada.

O **número EC** (nº EG) é atribuído de forma similar ao número CAS de uma substância perigosa. A lista de substâncias é gerenciada pela Comunidade Europeia.

O número EC pode ser encontrado para:

- Substâncias antigas ou novas na lista de substâncias no Anexo I da regulamentação da União Europeia 1272/2008/EC;
- Substâncias antigas da EEC (European Economic Community ou Comunidade Econômica Europeia) na atual lista EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances ou Inventário Europeu de Substâncias Químicas Comerciais Existentes), se elas não estiverem na lista de substâncias; e
- Substâncias novas na lista ELINCS (European List of Notified Chemical Substances ou Lista Europeia das Substâncias Químicas Notificadas) se elas não estiverem na lista de substâncias.

5.10.6 Reguladores de pressão para cilindros

Os reguladores de pressão de gás são:

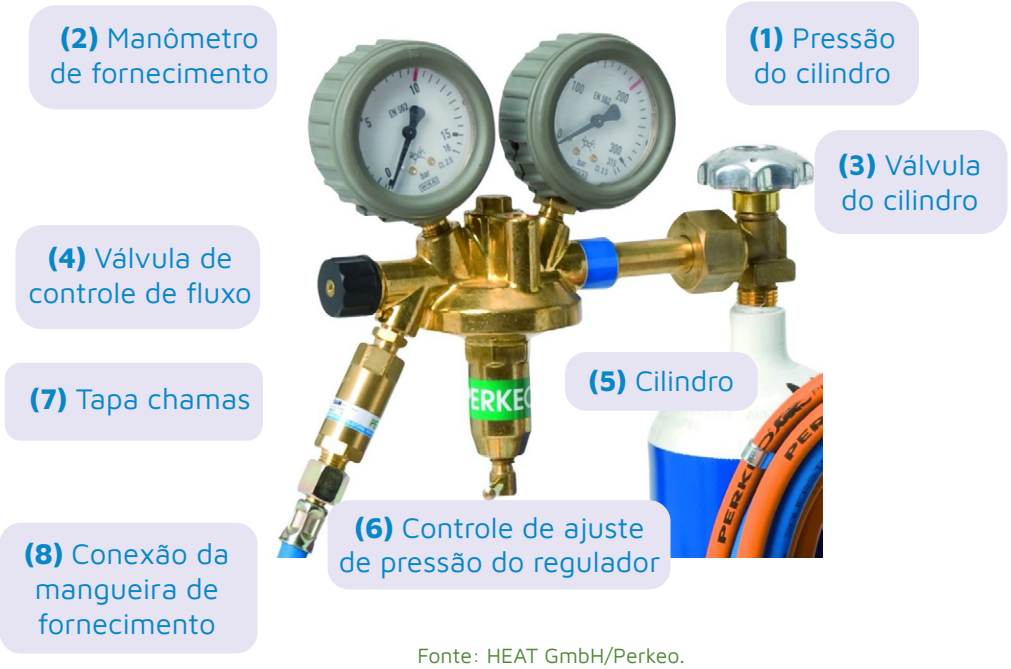
- Usados para reduzir a pressão alta de um cilindro de gás comprimido até uma pressão segura e apropriada;
- Projetados para uso com um gás específico, dentro de intervalos de pressão prescritos; e
- Feitos para se encaixar no cilindro específico pela válvula do cilindro, cuja saída de válvula é especificamente rosqueada para receber o respectivo regulador de pressão comercialmente disponível. Os cilindros têm um entalhe que os identifica, ou uma linha com uma inscrição em torno da circunferência.



As válvulas do cilindro não devem ser removidas ou adulteradas em nenhum momento, pois isso compromete a segurança do cilindro.

Os principais componentes de um conjunto típico de cilindro de gás e regulador de pressão são mostrados na Figura 167.

Figura 167 – Conjunto típico de cilindro de gás comprimido e regulador de pressão (O_2)



Fonte: HEAT GmbH/Perkeo.

Sempre use o regulador apropriado para o gás contido no cilindro, já que ele foi projetado para fornecer a taxa de fluxo correta para aquele gás específico. O uso do regulador errado pode provocar a reação de alguns gases com os materiais dentro do regulador. Por exemplo: os materiais usados em alguns reguladores não foram projetados para uso com oxigênio e poderiam provocar ignição, causando um incêndio ou explosão (veja a Figura 168).

Figura 168 – Conexão de mangueira de transferência proibida com adaptador criado pelo usuário para um cilindro de gás comprimido (aqui, N_2) mostrada na imagem à direita; conexão proibida sem regulador de pressão (N_2) mostrada na imagem à esquerda



Fonte: HEAT GmbH.



Perigo! Nunca faça a conexão de cilindros de gás comprimido sem usar um regulador de pressão apropriado.
O uso de cilindros de gás comprimido sem a conexão de um regulador de pressão confiável pode provocar acidentes fatais que resultam em lesões pessoais, danos ao sistema de refrigeração e outros danos à propriedade!

Figura 169 – Carcaça de compressor destruída, uso falso de nitrogênio seco sem oxigênio para testes de pressão sem regulador de pressão



Fonte: HEAT GmbH.

Confira abaixo as orientações para o uso seguro dos reguladores de pressão de gás.

Preparação:

1. Proteja a válvula do cilindro com a tampa do cilindro se ele não estiver em uso;
2. Confira se a válvula de controle de pressão do regulador está liberada (isto é, fechada) antes de conectá-la aos cilindros;
3. Se o regulador estiver com defeito ou se o manômetro estiver quebrado, substitua-os imediatamente;
4. Se a mangueira ou o tubo apresentarem sinais de deterioração, substitua-os imediatamente; e
5. Mantenha o equipamento limpo. Particularmente os reguladores de oxigênio devem estar em uma área limpa quando não forem usados.

Durante o uso:

1. Não fique entre o regulador e a saída de válvula quando for conectar o regulador ao cilindro;
2. Pressurize os reguladores lentamente e confira se as saídas de válvulas e os reguladores estão apontados para longe do pessoal quando as válvulas do cilindro forem abertas;
3. Abra completamente as válvulas durante o uso do cilindro para melhorar a vedação interna e ajudar a evitar vazamento na gaxeta;
4. Nunca force demais quando tentar abrir as válvulas;
5. Nunca permita que chamas ou fontes de calor concentradas entrem em contato com o cilindro de gás; e
6. Nunca aperte o equipamento enquanto ele estiver sob pressão.

Após o uso:

1. Remova toda a pressão dos reguladores quando não estiverem em uso (abrindo as válvulas do equipamento dali em diante após os reguladores serem fechados);
2. Feche as válvulas dos cilindros de gás quando não estiverem em uso; e
3. Nunca use chama quando for testar vazamento.

5.10.7 Teste de vazamentos e falhas em cilindros e conexões de gás

1. Prepare uma solução com espuma de sabão ou use fluido comercial de detecção de vazamento. A solução tem que ser compatível com o gás do sistema (porque alguns fluidos são incompatíveis com o oxigênio, já que os resíduos deles podem provocar ignição espontânea);
2. Pressurize o sistema;
3. Aplique a solução a todas as conexões (ex.: válvula do cilindro, conexões do regulador ou outras conexões) e verifique se há formação de bolhas. Se aparecerem bolhas ou espuma no fluido de detecção de vazamentos durante o teste, será um indicador de vazamento;
4. Despressurize o equipamento e verifique as conexões onde houve formação de bolhas;
5. Teste novamente (etapas 2 e 3);
6. Se não houver formação de bolhas, é porque não há vazamento no sistema e ele pode ser usado; e
7. Se não for possível consertar o vazamento, o sistema não deverá ser usado.

Os vazamentos podem aparecer em qualquer parte de um sistema de gás, mas aparecem particularmente nas juntas. É importante que todos os equipamentos sejam verificados regularmente e que todos os reparos necessários sejam feitos antes do uso. Estabeleça a rotina de sempre verificar se há vazamentos, quando um cilindro de gás comprimido for um conjunto integrado ao equipamento do local de trabalho.

5.10.8 Composição de um conjunto típico de cilindro de gás comprimido e regulador de pressão

A seguir, as peças típicas de um conjunto de cilindro de gás e regulador de pressão são mostradas e descritas em mais detalhes.

5.10.8.1 Saídas de válvulas

Por questão de segurança, gases inflamáveis e gases não inflamáveis têm as saídas de válvulas do cilindro rosqueadas na mão oposta. Isso evita a conexão do regulador errado nas saídas de válvulas de cilindro.

Gases não inflamáveis:

As saídas de válvulas para gases não inflamáveis são apertadas na ROSCA DIREITA (sentido horário para apertar). Todos os cilindros que contêm gases não inflamáveis / não tóxicos possuem roscas direitas convencionais. Eles podem ser

identificados pela conexão de parafuso liso com o regulador (Figura 170). Os gases não inflamáveis podem ser comburentes, como o oxigênio, ou não inflamáveis e não tóxicos, como o nitrogênio, o argônio e o ar.

Figura 170 – Não inflamável: Rosca direita – Comum



Fonte: HEAT GmbH.

Gases inflamáveis

As saídas de válvulas para gases inflamáveis são apertadas na ROSCA ESQUERDA (sentido anti-horário para apertar). Elas podem ser identificadas pela aparência entalhada (Figura 171). Todos os cilindros que contêm gases inflamáveis como o acetileno, o hidrogênio, o propano (incluindo cilindros de fluidos refrigerantes de HC reutilizáveis) e misturas contendo gás combustível têm roscas esquerdas.

Figura 171 – Inflamável: Rosca esquerda – Entalhada



Fonte: HEAT GmbH.

Nunca use fita de Teflon sobre os acessórios de conexões de gás comprimido (rosca lisa) em que a selagem seja feita por contato de metal com metal. O uso de fita de Teflon faz com que as roscas se esgarcem e fiquem fracas, aumentando a probabilidade de vazamentos. Pedaços pequenos de fita também podem ficar alojados no mecanismo da válvula, podendo causar falhas na válvula.

5.10.8.2 **Tapa-chamas para brasagem, solda e corte**

O tapa-chamas é um importante dispositivo de segurança para ser usado em gases combustíveis, para evitar retornos de chamas e requeimas (veja da Figura 172 à Figura 174). Isso é especialmente importante durante aplicações de brasagem, solda ou corte usando gases combustíveis, em que acidentes podem

acontecer devido a materiais defeituosos e pressões de gás incorretas, causadas principalmente por falta de treinamento ou uso incorreto dos equipamentos.

A instalação dos tapa-chamas é essencial para todos os procedimentos de brasagem, solda ou corte. Os requisitos de projeto dos tapa chamas estão descritos nas normas EN 730, ISO 13577-2 e ISO 5175.

Requeimas

Durante a requeima, a chama volta para a tocha de brasagem (solda) com um estalo. A chama se extingue, ou se reacende na abertura do bocal. Com a requeima contínua, a chama continua a se deslocar pela tocha e, frequentemente, chega ao ponto em que o gás combustível e o oxigênio se misturam, especificamente dentro da alça. Um estalo alto é seguido por um som de assovio.

Retornos de chama

Uma mistura de gás em uma das mangueiras em combinação com uma requeima na ignição do queimador pode causar um retorno de chama. A mistura de gás resulta do fluxo reverso de gás, por exemplo, quando um gás com pressão maior flui para uma mangueira com uma pressão menor.

Em um retorno de chama, ela ricocheteia através da alça para uma das mangueiras. Com o dobro da velocidade do som, a chama passa pela mangueira. Nesse ponto, não é mais possível que humanos reajam adequadamente.

Se ocorrer um retorno de chama em uma aplicação, os efeitos serão muito perigosos! As mangueiras podem estourar, pode pegar fogo no redutor de pressão ou, no pior cenário, um cilindro de gás comprimido ou tanque de gás pode explodir.

O nível de segurança requerido é conseguido quando um dispositivo de segurança é usado na alça e no regulador de pressão. É importante que tanto o gás combustível quanto as linhas de oxigênio estejam protegidas separadamente. Os tapa-chamas devem ser trocados regularmente.

Figura 172 – Conexão do tapa-chamas à alça da tocha com cilindro individual



Fonte: Perkeo.

Figura 173 – Conexão do tapa-chamas entre mangueiras de gás de cilindros individuais



Fonte: Perkeo.

Figura 174 – Tapa-chamas de gás natural, somente para uso com tochas de baixa pressão (tochas injetoras)



Fonte: Perkeo.

Hoje em dia, os tapa-chamas têm, pelo menos, três recursos de segurança:

1. Proteção contra retorno de gás: um possível retorno do gás e, assim, a formação de uma mistura indesejada de gases, é evitada por uma válvula de retorno de gás acionada por mola. A formação de uma mistura altamente explosiva de gases é impossível. Um filtro protege a mecânica fina contra contaminações. No núcleo do tapa-chamas, há um cilindro oco com um elemento de bloqueio de chama com filtro sinterizado. Isso é essencial para interromper o retorno da chama;
2. Barreira contra chamas: o mecanismo funciona por causa da estrutura altamente porosa do material. As chamas se espalham pelas ramificações finas do corpo sinterizado, perdendo sua energia e seu calor. Assim, todos os retornos de chama são extintos em frações de segundo; e
3. Válvula de corte controlada por temperatura: antes de a válvula atingir uma temperatura crítica, um corpo de plástico integrado derrete e aciona uma válvula acionada por mola. O suprimento de gás é interrompido imediatamente. A temperatura de ignição crítica não é atingida. A requeima é interrompida sem consequências.

5.10.9 Dispositivos de alívio de pressão (veja também o Capítulo 8.8)

A maioria dos cilindros vem com um dispositivo de alívio. Em uma situação em que o excesso de pressão ocorra dentro de um cilindro de gás comprimido, esse dispositivo serve para descarregar completamente o conteúdo do cilindro ou apenas a pressão em excesso; e fecha-se novamente após uma pressão específica ter sido atingida. Normalmente, a descarga é acompanhada por um som agudo.

Há três tipos de dispositivos de alívio de pressão mais comuns:

- **Disco de ruptura:** os discos de ruptura são fusíveis de pressão que protegem um cilindro ou sistema de gás comprimido contra danos causados pela pressão, quebrando uma membrana descartável. No caso de excesso de pressão, essa válvula se rompe, deixando uma passagem aberta para o gás escapar completamente. Os discos de ruptura são um tipo de ponto de quebra predeterminado.

  Por exemplo: os cilindros de dióxido de carbono (CO_2) são equipados com um disco de ruptura que funciona a 207 bars aproximadamente e fica na válvula do cilindro.
- Os **plugues fusíveis** são feitos para se derreterem, liberando o conteúdo do cilindro completamente. Um plugue fusível é um cilindro de metal (tipicamente, bronze, latão ou bronze duro) com um orifício soldado cônico. A temperatura de fusão da solda determina a temperatura de acionamento. O plugue fusível também representa um ponto de quebra (pressão e temperatura) predeterminado.

  Exemplo: os cilindros de acetileno são equipados com plugues fusíveis que se derretem a 100 °C aproximadamente.
- As **válvulas de alívio de pressão** servem para aliviar o excesso de pressão e se fecham novamente após fazerem isso. Todos os cilindros de propano ou GLP devem, por lei, ser equipados com válvulas de alívio de pressão, pois essas válvulas são umas das mais importantes e vitais para cilindros contendo gases inflamáveis.

  Exemplo: os cilindros de GLP podem ser equipados com válvulas de alívio de pressão que funcionem a 26 bar aproximadamente.

5.10.10 Cilindros em uso

Ao se usarem gases comprimidos, são obrigatórios EPIs padrão de local de trabalho ou laboratório, incluindo proteções para os olhos e uniformes de trabalho. Consulte a FDS para ver detalhes sobre o manuseio seguro do material. Também pode ser obrigatório usar luvas, dependendo dos perigos físicos ou químicos do gás. Além disso, ao mover ou transportar um cilindro de gás, é necessário usar sapatos com biqueira.



Ao trabalhar com gases inflamáveis (fluidos refrigerantes, acetileno, hidrogênio, GLP), use apenas roupas de algodão. Evite fibras sintéticas, pois elas geram faíscas de eletricidade estática que podem fazer com que os gases inflamáveis peguem fogo.

5.10.10.1 **Manuseio e uso de cilindros de gás**

- Seja cauteloso ao manusear cilindros de gás comprimido, pois:
- Os cilindros são pesados e difíceis de movimentar;
- O manuseio inadequado pode resultar em distensões, estiramentos, quedas, machucados ou fraturas; e
- Outros perigos, como incêndios, explosões, queimaduras químicas, envenenamento e queimaduras de frio podem ocorrer se os gases acidentalmente escaparem do cilindro devido ao manuseio inadequado.

Os cilindros de gás comprimido devem ser manuseados somente por pessoas que conheçam os riscos e sejam treinadas nas técnicas adequadas de manuseio.

5.10.10.2 **Preparação da estação de trabalho**

- Prenda os cilindros em uma parede, rack para cilindros ou uma bancada apropriada, em pé, usando uma correia ou cinta (cabos não são aceitáveis) entre o centro e a lateral do cilindro;
- Assegure-se de que os cilindros no local de trabalho estejam equipados com um regulador de pressão feito para o gás específico e com a pressão máxima do cilindro marcada;
- Nunca use adaptadores feitos pelo usuário ou force conexões entre a válvula do cilindro e o equipamento de manuseio do gás;
- Não aplique lubrificantes, fitas ou compostos para juntas a válvulas, acessórios ou roscas do regulador do cilindro, a menos que isso seja especificado pelo fabricante;
- Assegure-se de que o sistema do regulador esteja equipado com dois manômetros mostrando a pressão do cilindro e a pressão de saída;
- Se o cilindro de origem estiver fora do local de trabalho: instale um regulador e um manômetro de estação no ponto de uso para mostrar a pressão de saída; e
- Assegure-se de que os cilindros tenham uma válvula de bloqueio manual.

Os cilindros, quando em uso, devem ser conectados a sistemas de fornecimento de gás projetados por um profissional qualificado.

Um cilindro de gás comprimido será considerado "em uso" se estiver:

- Conectado por meio de um regulador para fornecer o gás; e
- Conectado a um *manifold* usado para fornecer gás ou líquido;
- Um único cilindro preso a um cilindro conectado ao sistema de fornecimento de gás, que serve como o cilindro reserva desse sistema.

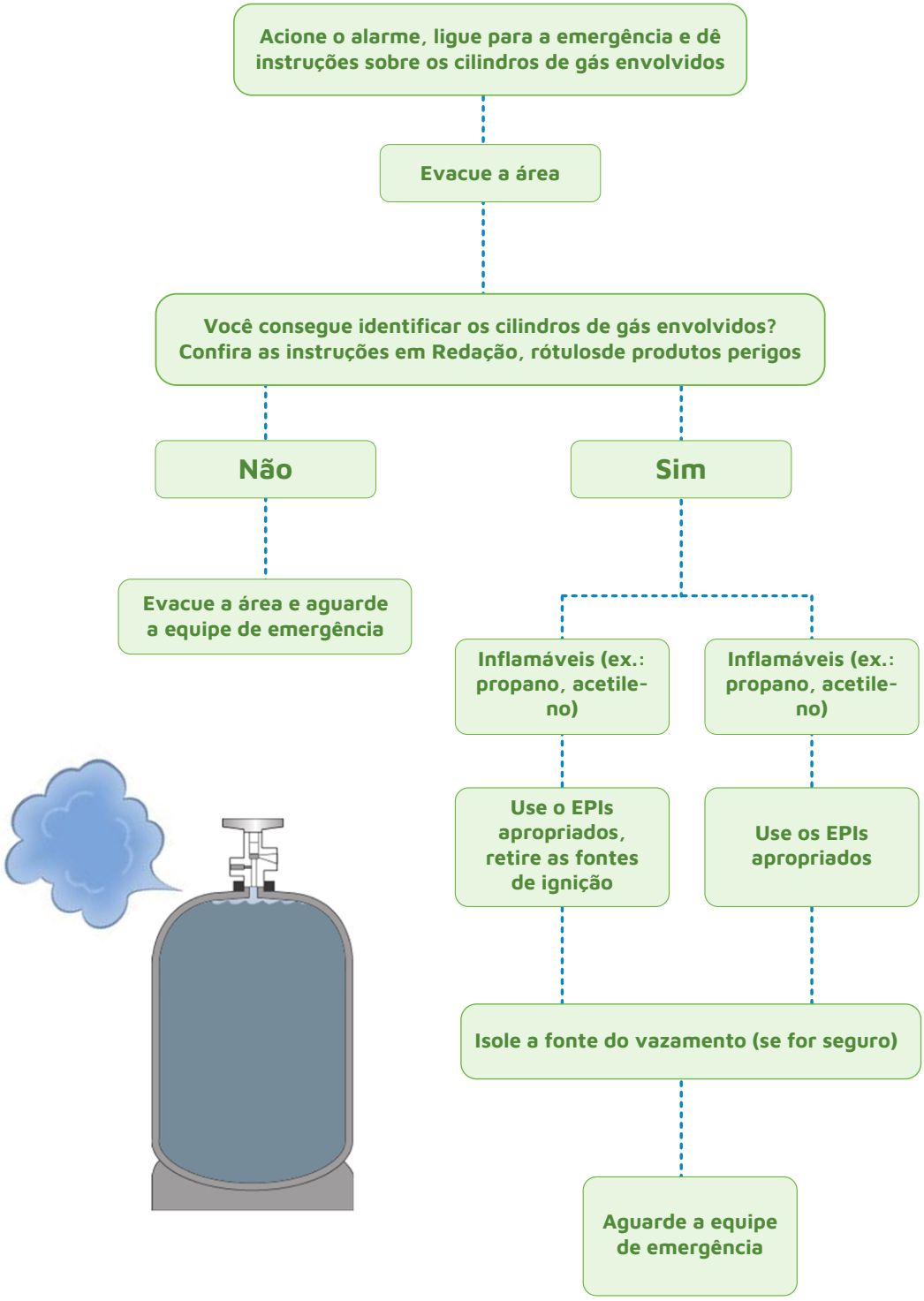


Os cilindros que não estiverem em uso não devem ser armazenados na área de trabalho.

5.10.10.3 **Incidentes perigosos**

Se houver gás escapando dos cilindros, siga as instruções da Figura 175.

Figura 175 – Procedimentos de emergência / Incidentes envolvendo escapes de gás dos cilindros



Fonte: HEAT GmbH.

5.10.11 **Armazenamento de cilindros**

Os cilindros de gás comprimido podem ser armazenados em locais externos ou internos.

Detalhes completos sobre o armazenamento seguro de cilindros de gás comprimido podem ser encontrados nos regulamentos e normas nacionais vigentes.

5.10.11.1 **Perigos e precauções**

Perigo: há risco de incêndio e explosão no armazenamento de cilindros de gás comprimido.

Precauções gerais para áreas de armazenamento

- As áreas de armazenamento devem ser claramente identificadas por sinalização visual com os nomes dos gases armazenados;
- Os prédios ou áreas de armazenamento devem ser resistentes ao fogo, bem ventilados, secos, afastados de fontes de ignição ou de calor excessivo e de causas de corrosão (ex.: excesso de água, ácidos, sal, substâncias químicas ou vapores químicos como os oriundos de processos industriais);
- Diferentes categorias de gás não podem ficar armazenadas juntas (veja Tabela 59);
- Os cilindros cheios devem ficar separados dos cilindros vazios e devem ser identificados com clareza.
- Um extintor de incêndio deve ficar disponível com facilidade; e
- As áreas de armazenamento devem ser protegidas contra adulteração cometida por pessoal não autorizado. É proibido o acesso de pessoas não autorizadas ao depósito. Sinalização com informações correspondentes deve ser afixada na entrada do depósito.

Cilindros:

- Armazene os cilindros de gás comprimido em pé sempre que possível. Em caso de armazenamento horizontal, providencie para que os botijões não rolem;
- ⚠ Exceção: os cilindros de gás liquefeito devem ficar armazenados em geral em pé.
- Proteja os cilindros de gás comprimido contra quedas e rolamentos;
- Proteja as válvulas com tampas e, se necessário, trave as porcas de fixação; e
- Não é permitido transferir os gases comprimidos em depósitos de um cilindro para outro.

Os cilindros de gás comprimido incompatíveis devem ser separados durante o armazenamento, de acordo com a Tabela 59, e devem seguir as regras de armazenamento em ambientes internos e externos.

Os requisitos gerais de separação são:

- Os gases inflamáveis devem ser armazenados longe dos gases comburentes;
- Os gases inertes podem ser armazenados com gases inflamáveis ou comburentes; e
- Os gases hidrocarboneto devem ficar localizados a pelo menos dois metros de qualquer gás comprimido inflamável; e a pelo menos seis metros de cilindros com líquido inflamável, combustível, comburente, corrosivo ou tóxico.

Tabela 59 – Compatibilidade de gases para armazenamento

Categoria	Inflamáveis	Inertes	Tóxicos	Corrosivos	Comburentes
Inflamáveis		Compatíveis	Incompatíveis – não armazene junto!	Incompatíveis – não armazene junto!	Incompatíveis – não armazene junto!
Inertes	Compatíveis		Compatíveis	Compatíveis	Compatíveis
Tóxicos	Incompatíveis – não armazene junto!	Compatíveis		Incompatíveis – armazene a dois metros de distância!	Incompatíveis – armazene a dois metros de distância!
Corrosivos	Incompatíveis – não armazene junto!	Compatíveis	Incompatíveis – armazene a dois metros de distância!		Incompatíveis – armazene a dois metros de distância!
Comburentes	Incompatíveis – não armazene junto!	Compatíveis	Incompatíveis – armazene a dois metros de distância!	Incompatíveis – armazene a dois metros de distância!	

Fonte: Rolf Huehren.

5.10.11.2 **Armazenamento interno de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos**

A Figura 176 ilustra onde é proibido o armazenamento interno de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos.

Figura 176 – Proibido para armazenamento interno



Fonte: Rolf Huehren.

*Exceção: O armazenamento abaixo do nível do solo é permitido se o piso do depósito não estiver a mais que 1,5 metro abaixo do nível do solo e se a sala contar com ventilação natural, se a seção cruzada da ventilação total for ≥ 10% do espaço do piso e não mais que 50 cilindros cheios de gás liquefeito estiverem armazenados.

5.10.11.3 **Depósitos internos**

A lista a seguir traz uma compilação das exigências para depósitos internos:

- Os tetos, divisórias e paredes externas de depósitos devem ser pelo menos retardantes de incêndio. Os pisos devem ser feitos de material retardante de chamas;
- Os telhados devem ser resistentes a faíscas voadoras e a calor radiante;
- Depósitos adjacentes a uma rota de transporte público devem ser construídos desse lado com uma parede sem portas com altura de até 2,00 m, sem janelas que possam ser abertas nem outras aberturas;
- Os depósitos devem ficar separados de salas adjacentes por portas corta-fogo com sistema de fechamento automático;
- Nos depósitos, não pode haver fossos, canais, ralos nem aberturas para limpeza de chaminé;
- Os depósitos devem ser bem ventilados. A ventilação natural é suficiente se houver aberturas diretas de fornecimento e exaustão de ar, com uma seção cruzada mínima de 1/100 da área de piso da sala diretamente para o ambiente externo; e
- Os depósitos devem ser bem iluminados.

Condições de armazenamento

- Providencie aberturas de ventilação organizadas na diagonal na sala;
- Não armazene cilindros de gás comprimido junto com material inflamável como madeira e papel;
- Assegure a posição estável dos cilindros com nivelamento em piso sólido;
- Não armazene cilindros de gás cheios perto de fontes de calor; e
- A distância dos cilindros de gás comprimido até os radiadores deve ser de pelo menos 0,50 metros.

Gases inflamáveis

- Os depósitos para cilindros de gás comprimido com gases inflamáveis devem apresentar pelo menos uma saída para o exterior;
- Em depósitos para gases inflamáveis, podem ser usados apenas sistemas e equipamentos elétricos com projeto à prova de explosão;
- Os cilindros de gás comprimido com gases inflamáveis devem ser rodeados por uma área protegida. Não pode haver fontes de ignição dentro da área protegida. Deve haver uma sinalização de aviso claramente visível e legível. Para salas com área de piso < 20 m^2, a sala inteira é uma área protegida; e
- Os cilindros com gás comprimido e liquefeito contendo gases inflamáveis (acetileno, GLP, fluido refrigerante) e gases comburentes (oxigênio) podem ser armazenados juntos se:
  - A quantidade total não ultrapassar 150 cilindros de gás comprimido;
  - For mantido um espaço de pelo menos 2,0 m entre diferentes categorias de

armazenamento (inflamáveis mais pesados, inflamáveis mais leves, comburentes, tóxicos, etc.).

Os depósitos precisam ser marcados de forma apropriada. A Figura 177 mostra exemplos que poderiam ser afixados no depósito/na porta do depósito:

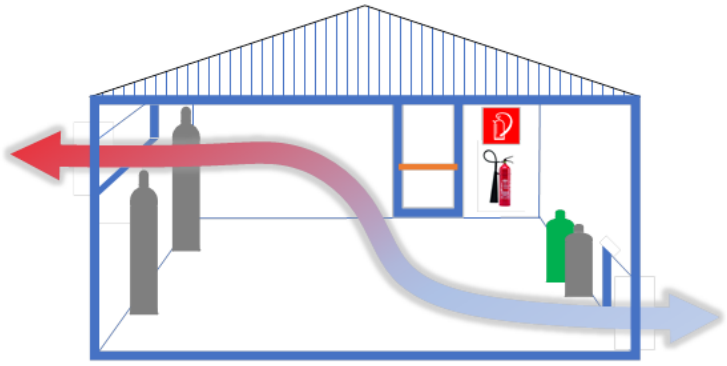
Figura 177 – Exemplo de marcações apropriadas para depósitos internos



Fonte: Rolf Huehren.

A ventilação da área de armazenamento é importante, conforme mostrado na Figura 178.

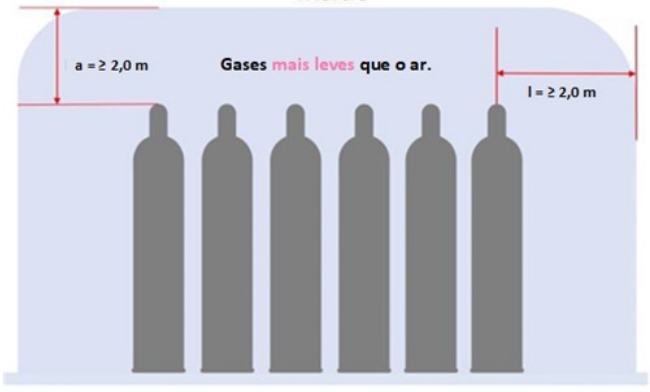
Figura 178 – Organização de uma sala de armazenamento interno e o projeto de ventilação cruzada (diagonal)



Fonte: HEAT GmbH.

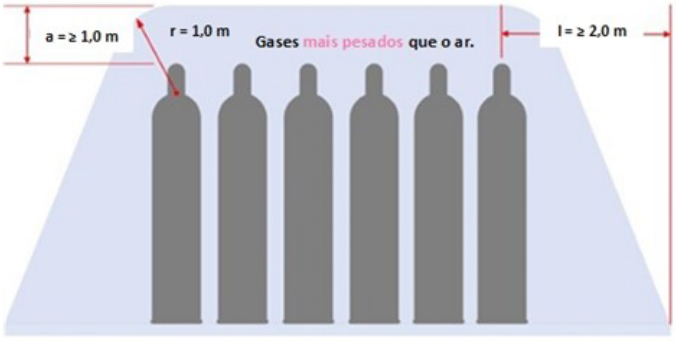
As dimensões das áreas protegidas para cilindros de gases inflamáveis comprimidos e liquefeitos para armazenamento dentro de construções são mostradas na Figura 179 e na Figura 180.

Figura 179 – Área protegida interna para gases mais leves que o ar



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 180 – Área protegida interna para gases mais pesados que o ar



Fonte: HEAT GmbH.

5.10.11.4 **Armazenamento externo de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos**

A Figura 181 ilustra onde é proibido o armazenamento externo de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos.

Figura 181 – Proibido para armazenamento externo



Fonte: Rolf Huehren.

5.10.11.5 **Depósitos externos**

A lista a seguir traz uma compilação das exigências para depósitos externos:

Configuração de depósito externo:

- Os depósitos em áreas externas não fechadas devem ter uma cerca;
- Uma distância segura ≥ 5,00 m em relação a instalações e equipamentos

adjacentes deve ser observada se houver algum perigo como, por exemplo, emanação de calor perigoso; e
- A área de proteção não deve se estender até propriedades vizinhas e áreas de tráfego público.

Gases inflamáveis
- Para cilindros de gás comprimido com gases inflamáveis, a área protegida não deve conter fontes de ignição, fossos, canais, ralos ou escadas de acesso ao porão; e
- Os cilindros de armazenamento com gases inflamáveis ou agudamente tóxicos de Categorias 1 ou 2 adjacentes à rota de transporte público devem ficar separados no lado adjacente à rota de tráfego com uma parede sem portas.

Condições de armazenamento
- A área de proteção pode ter no máximo dois lados limitados com material não inflamável com paredes protetoras de pelo menos 2,00 m de altura, sem abertura; e
- Proteja os cilindros de gás liquefeito pressurizados contra a luz solar direta.

Os depósitos precisam ser marcados de forma apropriada. Os sinais a seguir são exemplos que poderiam ser afixados no depósito/na porta do depósito:

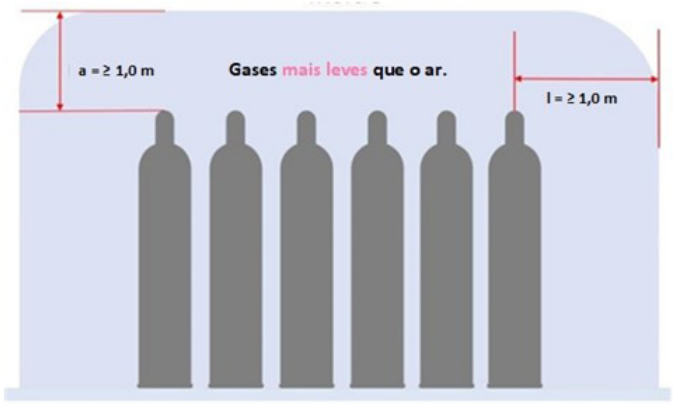
Figura 182 – Exemplo de marcações apropriadas para depósitos externos



Fonte: Rolf Huehren.

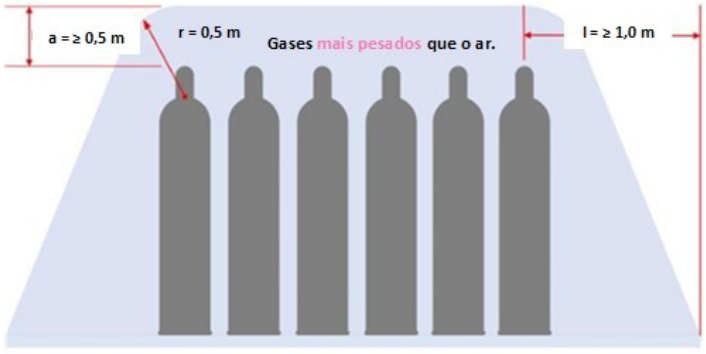
As dimensões das áreas protegidas para cilindros de gases inflamáveis comprimidos e liquefeitos para armazenamento externo são mostradas na Figura 183 e na Figura 184.

Figura 183 – Área protegida externa para gases mais leves que o ar



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 184 – Área protegida externa para gases mais pesados que o ar



Fonte: HEAT GmbH.

5.10.12 **Transporte**

Durante o transporte de cilindros de gás pressurizado, existe risco de incêndio e explosão.



Precauções

- Os cilindros de gás comprimido devem apresentar o rótulo de acordo com as regras do GHS;
- Não movimente o cilindro com o regulador conectado a ele;
- Proteja as tampas do cilindro durante o transporte;
- Mantenha a tampa do cilindro no lugar até que o cilindro esteja protegido e pronto para uso; e
- Durante o manuseio de cilindros de gás, os equipamentos de segurança apropriados, tais como extintores de incêndio adequados, luvas e óculos de proteção, etc. devem estar prontos para o uso.

5.10.12.1 **Transporte de cilindros de gás em ambientes internos**

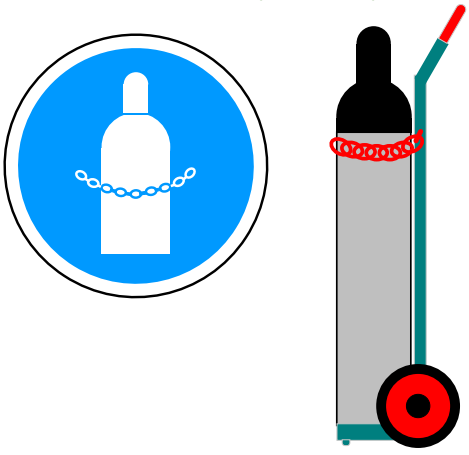
Respeite as precauções, apresentadas no quadro a seguir, para evitar lesões causadas pelo manuseio impróprio de cilindros de gás comprimido quando for transportar cilindros de uma área de armazenamento para uma oficina ou área de trabalho.



Precauções

- Participe de treinamento e obtenha as informações apropriadas antes de usar um cilindro de gás;
- Proteja os cilindros de gás comprimido contra impacto:
  - Não jogue os cilindros, nem os deixe cair;
  - Não bata um cilindro contra o outro;
  - Não arraste nem carregue cilindros sem equipamentos de proteção;
  - Não role os cilindros pelo chão.
- Nunca erga os cilindros pela tampa;
- Use um carrinho de mão adequado projetado para o transporte de cilindros e proteja o(s) cilindro(s) com uma correia ou cinta (veja Figura 185); e
- O transporte de cilindros de gás pressurizado com guindaste magnético é proibido.

Figura 185 – Carrinho de mão para transporte de cilindro com uma correia



Fonte: Rolf Huehren.

5.10.12.2 **Transporte de cilindros de gás em ambientes externos**

Todos os cilindros pressurizados representam um perigo de "explosão". A explosão de gás em carro de serviço (furgão, carro de passageiros, van ou trailer) acarreta consequências devastadoras.

Os cilindros de gás comprimido devem ser, especificamente, protegidos durante o transporte.

É importante que haja uma distribuição uniforme da carga. Proteja a carga do carro de serviço contra rolamento, cuidando do posicionamento dos cilindros, providenciando calços ou amarrando os cilindros. É importante que haja uma distribuição uniforme da carga.

Especificamente, se os cilindros de gás começarem a rolar sem proteção, pode ocorrer vazamento na válvula e isso cria misturas explosivas no ar. Gases tóxicos, narcóticos ou asfixiantes também podem fazer com que o motorista fique inconsciente enquanto dirige.

Motos e bicicletas não são veículos adequados para o transporte de cilindros de gás pressurizado (veja Figura 186).

Figura 186 – Distribuição de carga inadequada e perigosa em carro de serviço (esquerda) e transporte inadequado de cilindros de gás comprimido em motocicleta (direita)



Fonte: HEAT GmbH.

Outros exemplos clássicos de produtos perigosos em veículos de serviço são latas de spray, tonéis de gasolina, tonéis de combustível de reserva, diluentes, etc. No verão, a exposição ao sol pode fazer a temperatura dentro do veículo chegar aos 60 °C, criando um risco de explosão que não deve ser subestimado!

Muitos recipientes de plástico tornam-se porosos, com o passar dos anos, permitindo que a gasolina se evapore e que vapores de gasolina se espalhem no compartimento de carga ou no interior do veículo.

Figura 187 – Transporte inadequado de cilindros de gás não presos dentro de uma van, levando a um acidente



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 188 – Acidente com cilindro de gás inflamável não preso



Fonte: HEAT GmbH.

Respeite as precauções, apresentadas no quadro a seguir, quando for transportar cilindros em veículos de serviço.

- Use um veículo com ventilação suficiente:
- Os furgões devem ter pelo menos duas aberturas de pelo menos 100 cm² cada, uma na área do piso e uma na altura do teto, que não devem ficar cobertas nem vedadas. As aberturas devem passar por inspeção regular;
- Em uma van, abra a janela lateral / teto deslizante ou ajuste o ventilador para ar externo em nível mais alto;
- Por questão de segurança no caso de cargas em geral, os carros de passeio não são adequados para o transporte de cilindros de gás comprimido, exceto se for possível prender os cilindros de modo seguro. Portanto, o transporte de cilindros de gás comprimido em carros de passeio deve ocorrer apenas ocasionalmente, por um curto período. Quando transportar cilindros no porta-malas, a tampa traseira deve ficar em uma posição entreaberta, e a descarga deve ser feita imediatamente após o transporte;
- A temperatura no compartimento do carro/veículo não deve ultrapassar 60°C.
- Antes de carregar, verifique com cuidado se todas as válvulas dos cilindros estão fechadas e se os dispositivos de proteção das válvulas (colares de proteção e tampas de proteção) estão instalados corretamente. Nunca transporte cilindros de gás comprimido com regulador de pressão conectado ou outros acessórios;
- Se necessário, prenda bem a vedação na parte lateral da válvula;
- Teste para ver se não há possíveis vazamentos de gás (por exemplo, usando spray de detecção de vazamento);
- Proteja os cilindros de gás adequadamente contra escorregões, rolamentos e quedas; nunca "jogue os cilindros no porta-malas rapidinho":
- Use uma van equipada com os suportes necessários para o transporte de cilindros de gás comprimido;
- Se necessário, transporte os cilindros de gás comprimido horizontalmente na direção longitudinal do veículo ou perto de uma parede; proteja-os contra rolamento, cuidando do posicionamento dos cilindros, providenciando calços ou amarrando os cilindros. É importante que haja uma distribuição uniforme da carga;
- Também é possível transportar cilindros de gás comprimido com segurança usando paletes de madeira invertidos. Confira se os cilindros de gás comprimido estão amarrados aos paletes de madeira com firmeza. O próprio palete de madeira também deve ser amarrado com cintas de fixação em pontos adequados na carroceria ou no piso do veículo;
- Só transporte cilindros de gás comprimido em pé se eles estiverem devidamente protegidos contra queda (ex.: uso de suportes na lateral ou extremidade da parede);
- O transporte de cilindros de gás em pé em trailer é permitido, desde que seja garantida a proteção adequada da carga, bem como o ponto de equilíbrio e a carga vertical aplicada pelo trailer.
- Verifique se um extintor de incêndio adequado de acordo com a norma europeia EN 3 (ex.: extintor de pó, quantidade mínima de 2 kg) está facilmente acessível no veículo (recomendação: extintor de incêndio com quantidade mínima de 6 kg);
- Não deixe veículos com cilindros de gás pressurizado sem supervisão em rodovias públicas ou praças;
- É proibido fumar no veículo ou perto dele; e
- É proibido manusear fogo ou refletores.

Figura 189 – Segurança de carga ideal para cilindro de gás pressurizado (esquerda) e cilindro de propano seguro em pé (direita)



Fonte: Linde AG Munich.

Figura 190 – Carro de serviço padrão equipado de forma padrão com rack de colocação de cilindro de fluido refrigerante



Fonte: Tom's Camperland, Phoenix, EUA.

5.10.12.3 **Ventilação durante o transporte**

A ventilação é de suma importância durante o transporte de produtos perigosos, para evitar o acúmulo em níveis perigosos durante o transporte. Em geral, os regulamentos falam de "ventilação suficiente", sem especificar os detalhes. O tamanho específico das aberturas de ventilação não pode ser definido com precisão para cada tipo de veículo, já que são diferentes as condições de cada modelo de veículo.

A entrada e a extração de ar são os dois sistemas de ventilação do carro de serviço. A decisão sobre qual dos dois sistemas deve ser escolhido depende dos valores específicos de gravidade dos gases transportados. Na maioria dos casos, é transportada uma mistura de gases, solventes e outros produtos perigosos que exigem ventilação. Portanto, a transportadora responsável pelo carro e o moto-

rista devem decidir em cada caso como operar o sistema específico de ventilação necessária (estão disponíveis componentes do sistema para função dupla).

Exemplo

A folha de informações "Cilindros de gás comprimido em veículos fechados", da Associação de Soldagem da Alemanha (DVS 0211), contém as recomendações do Ministério Federal do Transporte da Alemanha. Esse folheto define duas entradas de ar com uma seção cruzada livre de 100 cm^2 cada (uma no piso ou na parede inferior ou lateral, a outra perto do teto), que devem ficar em diagonal uma em relação à outra. A ventilação cruzada deve ser garantida.

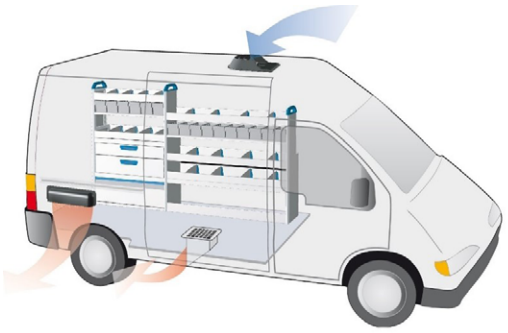
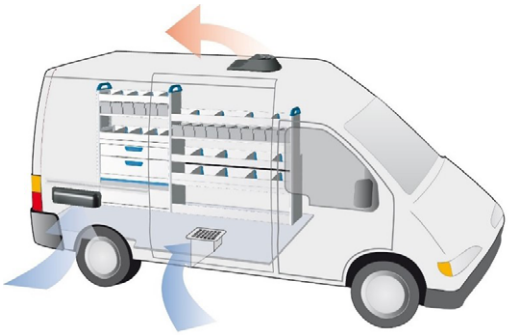
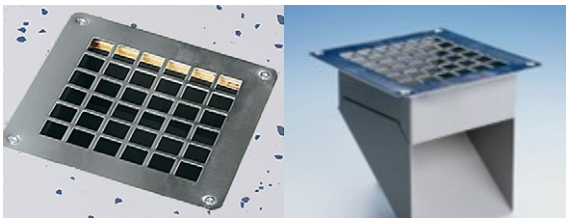
Exemplos de sistemas de entrada de ar e extração de ar para ventilação controlada no carro de serviço:	
Figura 191 – Sistema de entrada de ar  Fonte: Sortimo International GmbH, Alemanha.	A abertura no teto cria uma sobrepressão que empurra os gases pesados, como o R-290 (propano), o GLP e outros HCs, e a maioria dos fluidos refrigerantes de HCFC/HFC para fora, através da abertura inferior (e abertura lateral). A ventilação também é útil para dióxido de carbono (CO_2).
Figura 192 – Sistema de extração de ar  Fonte: Sortimo International GmbH, Alemanha.	Aqui, o ar fresco é chupado para dentro do compartimento através das aberturas no teto ou na lateral, devido à pressão negativa. Gases leves como o acetileno, a amônia e o nitrogênio podem ser ventilados para cima com facilidade. (Também é necessário fazer a ventilação para misturas de nitrogênio/hidrogênio.)
Figura 193 – Sistema de ventilação de teto com função dupla  Fonte: Sortimo International GmbH, Alemanha.	Ventilador de teto com função dupla, opcionalmente para extração e entrada de ar. Dimensões (LxCxA): 194 x 255 x 46 mm

Figura 194 – Sistema de ventilação de teto com função dupla



Fonte: Sortimo International GmbH, Alemanha.

Ventilação no chão feita de folha de aço galvanizado. Área de ventilação: aproximadamente 100 cm². Dimensões (LxCxA): 152 x 160 x 163 mm

Figura 195 – Aberturas de ventilação lateral



Fonte: Sortimo International GmbH, Alemanha.

Ventilação lateral e sistemas de exaustão feitos de plástico resistente a UV e a impactos. Dimensões (LxCxA): 443 x 144 x 39 mm

5.10.12.4 **Regulamentos sobre o transporte de fluidos refrigerantes**

Qualquer carro de serviço usado no trabalho diário para a instalação e reparos de aparelhos/sistemas de AVAC-R precisa transportar gases técnicos, incluindo:

- Uma série de fluidos refrigerantes;
- Gases para procedimentos de brasagem;
- Gases inflamáveis como acetileno e GLP para brasagem e solda;
- Oxigênio; e
- Nitrogênio.

As pessoas responsáveis (proprietários de empresas, especialistas em refrigeração) têm que considerar os requisitos regulatórios para o transporte de produtos perigosos. As regulamentações e normas nacionais devem ser revistas e aplicadas. Além disso, existem inúmeros requisitos regulatórios internacionais. Eles costumam ser incorporados às regulamentações nacionais.

Os seguintes requisitos regulatórios são relevantes:

- Acordo europeu sobre o transporte internacional de mercadorias perigosas por rodovia (ADR) com várias seções específicas; ex.: P200 (instruções de embalagem para cilindros, tubos, tambores de pressão e conjuntos de cilindros). Comissão econômica para o comitê europeu de transporte terrestre (última versão publicada em 1o de janeiro de 2017);
- Regulamento para transporte internacional de mercadorias perigosas por trilho (RID) em transporte ferroviário;
- Código marítimo internacional de produtos perigosos (IMDG) para navegação internacional;
- Instruções técnicas para o transporte seguro de artigos perigosos por via aérea (OACI-IT), publicadas pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI). Elas são assumidas pela Associação Internacional de Transporte Aé-

reo (IATA) com os Regulamentos de produtos perigosos da IATA (IATA-DGR);
- Regulamento federal do equivalente ao Ministério dos Transportes dos EUA (DOT);
- Norma AHRI (Instituto de Ar Condicionado, Aquecimento e Refrigeração);
- Os requisitos de marcação do DOT para as especificações de cilindros e tubos estão listados nos Regulamentos de materiais perigosos do Ministério dos Transportes dos EUA, no Título 49 do Código de Regulamentos Federais dos EUA (49 CFR);
- A especificação da Transport Canada (TC) estabelece que os cilindros e tubos devem ser projetados, manufaturados, testados inicialmente, inspecionados inicialmente e marcados conforme os requisitos estabelecidos na norma CSA B339 - "Cilindros, esferas e tubos para o transporte de produtos perigosos"; e
- No Brasil, o transporte rodoviário de cargas perigosas é regulamentado pela Lei n° 10.233, de 2001, e por resoluções da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). A regulamentação brasileira baseia-se nas recomendações internacionais emanadas pelo Comitê de Peritos no Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas, publicadas no Regulamento Modelo, conhecido como "*Orange Book*", atualizado periodicamente, bem como no Acordo Europeu para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos (ADR). Importante destacar que a referida regulamentação é atualizada periodicamente pelo órgão competente, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), tendo como base tanto as revisões ocorridas nos normativos internacionais, quanto as discussões com o setor regulado, que culminam em sugestões de aprimoramento das prescrições vigentes. A Resolução ANTT n° 6.016, de maio de 2023, é a mais recente atualização das regras sobre transporte rodoviário de produtos perigosos.

Além disso, o manuseio de produtos perigosos foi definido pela Organização das Nações Unidas (ONU) nos Regulamentos modelo da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (CEE-ONU), Divisão de Transportes. No entanto, várias normas evoluíram, e, desde o ano 2000, a ONU tem procurado padronizar os regulamentos como um sistema globalmente harmonizado de classificação e rotulagem de produtos químicos (GHS).

O Regulamento (CE) n° 1272/2008 sobre a classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas (Regulamento CLP) alinha a legislação da UE ao Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS).

No Brasil, a NR-26 e a Norma ABNT NBR 14725 são as regulamentações mais importantes relacionadas à aplicação do GHS, em território nacional. As obrigações da NR-26 para produtos químicos visam garantir que os/as trabalhadores/as estejam seguros ao lidar com substâncias químicas perigosas. Uma das principais obrigações da NR-26 para produtos químicos é a classificação de produtos químicos de acordo com o GHS. A ABNT NBR 14725 desempenha um papel fundamental ao fornecer os critérios para a classificação de produtos químicos de acordo com o GHS, bem como as instruções para elaboração da FDS e da etiqueta, que são documentos essenciais para a comunicação dos perigos associados aos produtos químicos. Os perigos decorrentes de produtos químicos são indicados por meio

de palavras de sinalização e pictogramas nas etiquetas, bem como nas fichas de segurança. A última atualização da norma ABNT NBR 14725 foi publicada em 2023, de acordo com a 7ª atualização do GHS.

5.10.12.5 **Unidades pré-carregadas contendo fluidos refrigerantes inflamáveis**

Transporte e armazenamento de aparelhos e unidades abastecidos com fluidos refrigerantes inflamáveis

Atente ao fato de que pode haver regulamentações de transporte adicionais para equipamentos contendo gás inflamável. O número máximo de equipamentos ou a configuração dos equipamentos com permissão para ser transportados junto será determinado pelas regulamentações de transporte aplicáveis.

O armazenamento dos aparelhos deverá estar de acordo com as regulamentações ou instruções aplicáveis, o que for mais restrito.

Armazenamento de equipamentos pré-carregados na embalagem (não vendidos)

A proteção da embalagem de armazenamento deve ser feita de tal forma que danos mecânicos ao equipamento dentro da embalagem não causem vazamento da carga de fluido refrigerante. O número máximo de equipamentos com permissão para serem armazenados juntos será determinado pelas regulamentações de armazenados aplicáveis. Em caso de dúvida, consulte o Corpo de Bombeiros.

06

AVALIAÇÃO DE RISCO

6 Avaliação de risco

As avaliações de risco são importantes na etapa de planejamento de equipamentos de AVAC-R, bem como para todo trabalho realizado, como instalação, manutenção, reparo ou descomissionamento. As avaliações de risco devem cobrir uma variedade de perigos diferentes e aplicáveis, como pressão em excesso, toxicidade, riscos ambientais e mecânicos, além da inflamabilidade. Elas podem ser feitas separada ou conjuntamente, dependendo das circunstâncias.

Antes de encomendar um sistema de refrigeração com fluido refrigerante inflamável, o futuro operador/usuário deve deixar bem claras as condições de instalação (com orientação do fabricante/fornecedor). Se necessário, requisitos estruturais especiais, legais e organizacionais, para a instalação segura do sistema, deverão ser considerados e implementados em nível nacional.

Para a implementação da instalação (incluindo requisitos de reparos e manutenção), a pessoa responsável designada pelo empregador executa uma avaliação sistemática dos perigos e cargas associadas ao trabalho do funcionário, preparando uma avaliação de risco (ou estrutura para avaliação de risco). Essa avaliação é essencial para se estabelecerem as medidas de segurança ocupacional desejadas, que sempre devem se basear em tecnologias de ponta.

Observação: Nas diretivas da UE, geralmente a entidade responsável é o "empregador" (incluindo profissionais autônomos).

O empregador deve considerar informações suficientes, nas instruções de operação, ao fazer a avaliação de risco; em particular, **é necessário observar os perigos residuais**. Além disso, pode-se estabelecer em contrato que o instalador/fabricante do sistema deve fornecer a análise de perigo/avaliação de risco para obter mais informações para a operação segura.

O instalador/fabricante é obrigado a indicar os riscos residuais da avaliação de risco interna do produto nas instruções operacionais, e passar as instruções de operação ao usuário ou operador. Nesse contexto, recomenda-se enfaticamente ao operador/usuário perguntar, preferencialmente ao fabricante ou ao instalador, se informações de medidas técnicas específicas para evitar riscos já foram consideradas no projeto e execução/fabricação do sistema de refrigeração.

É de responsabilidade do operador/usuário, onde aplicável, adotar medidas organizacionais complementares ou impor os requisitos ao ambiente de instalação.

As informações sobre as instruções operacionais também incluem o trabalho necessário de manutenção e reparos. O fabricante também deve criar uma lista detalhada de perigos relacionados à substância/equipamento.

Os perigos possíveis durante o uso de um sistema de refrigeração são:

- Pressão, por exemplo, no caso de falha dos vasos e tubos de pressão, corrosão;
- Ativação de dispositivos de segurança e instalação de tubulação de purga;
- Formação de uma atmosfera explosiva perigosa;
- Formação de uma atmosfera perigosa considerando a supressão do oxigênio (sufocamento);

- Perigo mecânico, como partes giratórias, partes móveis que amassam ou cortam;
- Superfícies quentes ou frias;
- Perigos elétricos;
- Liberações de substâncias;
- Defeitos;
- Ruídos anormais; e
- Vibrações.

Uma orientação geral para o operador nas instruções operacionais falando da "conformidade exigida com todos os requisitos legais" não é suficiente.

Quando o sistema de refrigeração tiver sido entregue e instalado, o fornecedor ou fabricante ou instalador deve fornecer o seguinte:

- Declaração de conformidade com regulamentações nacionais/internacionais para o aparelho ou sistema de refrigeração;
- Instruções operacionais do sistema de refrigeração. Pontos especialmente importantes são:
  - Especificações e explicações para o transporte do sistema;
  - Detalhes do sistema, descrição, estrutura, modos de operação;
  - Especificações e explicações para a instalação do sistema ou posicionamento do aparelho;
  - Riscos residuais da avaliação de risco;
  - Instruções de segurança, avisos de perigo, instruções de equipamentos de proteção individual;
  - Instruções operacionais;
  - Diagrama funcional, esquema do diagrama de tubulação e instrumentação (PID);
  - Esquemas da fiação e instrumentação elétrica, e engenharia de controle;
  - Se aplicável, uma lista de componentes e peças sobressalentes;
  - Instruções de manutenção e reparo; e
  - Sugestões/especificações do fabricante para requisitos de testes e manutenção.

O operador deve verificar se os documentos fornecidos estão completos.

Dentro do contexto de uma avaliação de risco, o empregador ou operador deve determinar quais perigos aparecem para funcionários ou terceiros durante a operação de um sistema que exige supervisão especial. Além disso, é necessário que o empregador ou operador garanta que os funcionários sejam instruídos.

A Tabela 60 mostra perigos comuns e os relaciona às atividades ocupacionais AVAC-R nas quais é mais provável que eles apareçam. Ela também identifica possíveis razões para os perigos, como falta de treinamento. Identificar a causa do perigo é importante para implementar medidas preventivas.

Tabela 60 – Perigos comuns relativos a perigos ocupacionais

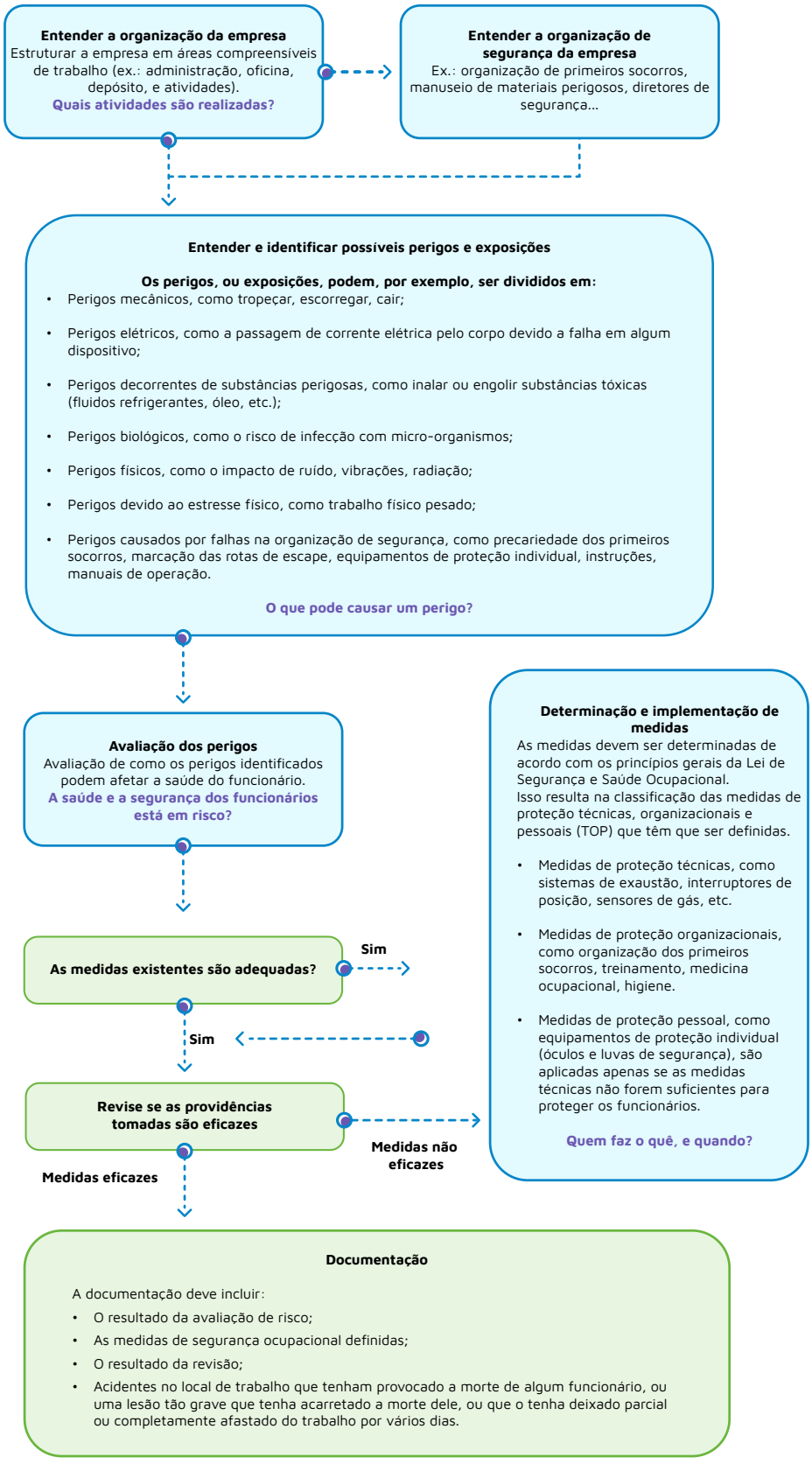
O que pode trazer um perigo, e como profissionais habilitados em AVAC-R são afetados?		
Perigos ou exposições	**Atividades ocupacionais com perigos associados**	**Possível razão / causa do perigo**
Perigos mecânicos	Trabalhos temporários em altura	Falta de treinamento, EPI, andaimes certificados e/ou sinalização. Superfícies instáveis para pisar. Uso de escadas inadequadas.
	Manuseio de cilindros pressurizados	Falta de treinamento, FDS, carrinhos adequados para o cilindro de gás, tampa protetora da válvula do cilindro, cinto de fixação, EPI e/ou sinalização.
	Brasagem	Falta de treinamento, FDS, tapa chamas e válvulas de verificação no equipamento de brasagem de oxiacetileno ou propano, e/ou EPI. Vazamentos em reguladores de pressão e mangueiras.
Perigos elétricos	Conexão e energização de quadros elétricos	Falta de treinamento, ferramentas de medição de energia, EPI, e/ou sinalização.
Substâncias perigosas	Manuseio de fluidos refrigerantes	Falta de treinamento, FDS, EPI, e/ou sinalização.
	Manuseio de óleos	
	Manuseio de agentes químicos de limpeza	
	Manuseio de tinta e solventes	
	Outros	
Perigos biológicos	Trabalhar em locais biologicamente contaminados	Falta de treinamento, FDS e EPI.
Perigos físicos	Trabalhar em ambientes poluídos	Falta de treinamento, FDS e EPI.
	Manuseio de ferramentas elétricas e manuais	
Esforço físico	Manuseio de componentes e elementos pesados	Falta de treinamento, auxílios mecânicos e EPI.
Organização de segurança	Trabalhos complementares (vigilância, limpeza e entregas)	Falta de treinamento, equipamento ergonômico de escritório, segurança e saúde ocupacional, e pausas a intervalos regulares.
	Trabalho administrativo	

Fonte: Rolf Huehren.

A base para uma avaliação de risco é, entre outras coisas, a ficha de dados de segurança (FDS) fornecida pelo fabricante da substância (por exemplo, fluido refrigerante) e sua classificação de acordo com a NR-26 e a ABNT NBR 14725, que deve estar disponível em todos os sistemas de refrigeração. Uma lista de perigos significativos consta na norma ABNT NBR ISO 5149-2.

A estrutura fornecida na Figura 196 explica a avaliação de risco e as medidas de acompanhamento a serem tomadas em qualquer contexto para avaliação de riscos e perigos.

Figura 196 – Matriz de avaliação de risco e medidas de acompanhamento



Fonte: Rolf Huehren.

6.1 **O que é mão de obra qualificada**

De acordo com a Portaria (alemã) de segurança industrial, mão de obra qualificada é alguém com conhecimento suficiente no campo da tecnologia de refrigeração com base em treinamento profissional e experiência, e que tenha familiaridade suficiente com as regulamentações estaduais e nacionais relevantes sobre saúde e segurança, regulamentações sobre prevenção de acidentes e regras amplamente conhecidas de tecnologia para ser capaz de avaliar a condição de trabalho seguro dos sistemas de refrigeração. São, por exemplo: profissionais especialistas em RAC ou outros com treinamento especial para essa finalidade.

No geral, os requisitos para o treinamento, competências e especialização das pessoas que mantém, verificam e operam sistemas de AVAC-R estão especificados na ISO 22712 e ABNT NBR 17131.

6.2 **Avaliação de risco de última hora (LMRA)**

Uma Avaliação de Risco de Última Hora (LMRA) é uma avaliação de risco conduzida no local imediatamente antes de o trabalho começar. Os termos Avaliação de Risco de Última Hora e a abreviação LMRA são largamente usados como sinônimos. O objetivo é identificar todos os (potenciais) perigos para segurança, saúde e ambiente no local de trabalho e atividades relacionadas ao trabalho específico para evitar acidentes. A avaliação deve ser feita diretamente antes de o trabalho começar no local. É recomendado conduzir sempre uma avaliação dessas, independentemente do tamanho da unidade a ser instalada, por exemplo, ar condicionado do tipo split ou câmara frigorífica.

Os seguintes perigos podem ser sujeitos à análise:

1. Perigos mecânicos;
2. Perigos elétricos;
3. Substâncias perigosas;
4. Materiais biológicos de trabalho;
5. Perigos térmicos;
6. Perigos devidos a impactos físicos; e
7. Perigos devidos às condições no ambiente de trabalho.

A LMRA deve ser realizada pelo próprio empregador ou por pessoas confiáveis e competentes que sejam envolvidas separadamente (por exemplo, para atividades de trabalho de complexidade ampla). O envolvimento do pessoal deve sempre ser por escrito e descrever exatamente que tarefas e competências são atribuídas.

Um modelo de LMRA consta no Anexo 1.

6.3 **Permissões de trabalho**

Tanto a permissão de trabalho geral (veja também o Anexo 2) quanto a avaliação de risco geral de trabalho (veja também o Anexo 3) são procedimentos críticos para garantir que o trabalho seja feito com segurança. Ambos os métodos envolvem

identificar perigos, determinar o risco e especificar as precauções necessárias. Permissões de trabalho são requisitos formais (e jurídicos) específicos do perigo e do trabalho real para definir a pessoa competente que vai realizar o trabalho como uma solicitação de desempenho claramente especificada. Ambos, empregado/a e empregador/a, devem assinar o formulário de permissão de trabalho. O documento tem que ser mantido nos arquivos de monitoramento.

Tipos de permissões de trabalho seguro:

- Permissão de trabalho a quente (veja Anexo 4);
- Permissão de trabalho a frio;
- Permissão de entrada em espaço confinado;
- Permissão de trabalho em altura;
- Permissão de isolamento elétrico seguro, trabalho com presença de eletricidade; e
- Permissões especiais.

Os processos de permissão de trabalho e avaliação de risco são complementares, e ambos são obrigatórios.

A permissão de trabalho geral é um documento importante que aborda todo o ciclo de vida de um trabalho, começando com o planejamento do trabalho, a solicitação da permissão inicial, a listagem de perigos esperados e a definição das precauções necessárias a serem tomadas. A permissão de trabalho geral permanece válida durante todo o trabalho até que o equipamento seja formalmente entregue pelo empregado e colocado em operação.

A permissão de trabalho geral verifica se todas as etapas nos procedimentos de definição foram seguidas corretamente.

As pessoas competentes responsáveis podem assinar o documento em diferentes estágios do ciclo de vida da permissão.

Um sistema de permissões de trabalho bem projetado ajuda também a guiar o usuário para seguir os procedimentos necessários para trabalhar em segurança. Ele também ajuda a aplicar as regras de segurança e atribuir uma responsabilidade clara entre instalação, operação e manutenção. Também deixa claros quais os isolamentos elétricos necessários e identifica todas as precauções necessárias para determinadas atividades de alto risco, como realizar trabalhos a quente em circuitos de refrigeração, entrar em espaços confinados ou trabalhar em altura. A permissão de trabalho geral também identifica e ajuda a controlar as interações do grupo de trabalho em que várias equipes são necessárias para trabalhar em áreas adjacentes ou em sistemas comuns.

6.4 Instruções de segurança anuais recorrentes para funcionários no setor de reparos de AVAC-R

Em muitos países, é obrigatório por lei que os funcionários de AVAC-R recebam instruções de segurança anuais recorrentes sobre fluidos refrigerantes e sistemas de refrigeração para segurança e prevenção de acidentes.

O empregador (proprietário/a da empresa de serviços) **deve instruir os profissionais qualificados antes de eles começarem a trabalhar pela primeira vez e, também, em intervalos apropriados, como pelo menos, uma vez por ano**, sobre os perigos envolvidos no manuseio de sistemas e equipamentos de refrigeração, as regulamentações de segurança, o que fazer em caso de acidente ou defeito e as providências a serem tomadas.

O empregador só pode contratar pessoas com seguro nas fábricas de refrigeração, equipamentos de refrigeração ou em salas de máquinas, se os profissionais segurados tiverem recebido orientação e tiverem condições de realizar suas tarefas com confiança.

Esses treinamentos constantes devem abordar os requisitos legais para a segurança ocupacional, a especialidade necessária para trabalhar em sistemas de refrigeração e as normas relevantes do setor.

- Outros tópicos do treinamento incluem
- Potenciais perigos dos fluidos refrigerantes e sistemas de refrigeração;
- Importância das fichas de dados de segurança;
- Requisitos para equipamentos de proteção individual, como detecção de gás e proteção respiratória;
- Medidas de primeiros socorros;
- Boas práticas de manuseio, armazenamento e transporte dos cilindros de fluido refrigerante;
- Proteção do circuito de refrigeração contra pressões operacionais excessivas e a inspeção e ajuste dos pressostatos;
- Manuseio seguro de fluidos refrigerantes;
- Segurança na ventilação, recolhimento e destinação final do fluido refrigerante; e
- Manuseio prático de recolhedoras e cilindros de fluidos refrigerantes.

No final do treinamento anual, deve ser emitido um certificado confirmando a participação dos profissionais no treinamento sobre manuseio de fluidos refrigerantes e operação de sistemas de refrigeração.

07

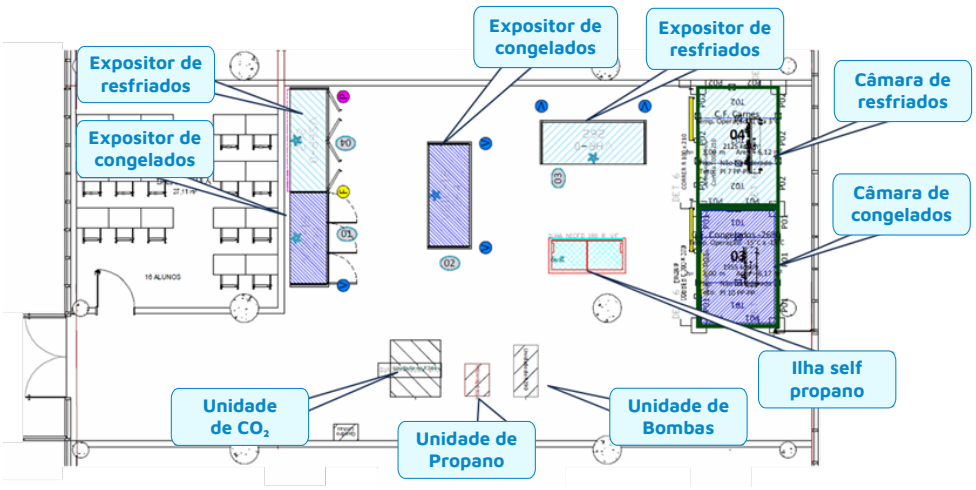
IDENTIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E COMPONENTES

7 Identificação de equipamentos e componentes

Máquinas de refrigeração instaladas remotamente, gabinetes expositores refrigerados e salas de armazenamento isoladas são sistemas destinados à exibição e armazenamento de produtos perecíveis para venda a processadores (por exemplo, restaurantes) e consumidores finais no varejo ou no atacado. Eles se destinam ao provisionamento em condições de temperatura apropriadas para a conservação de produtos alimentícios, como produzidos, dentro da data de validade estabelecida e indicada pelos produtores. Esses sistemas são parte integrante da cadeia de frio da área de cobertura.

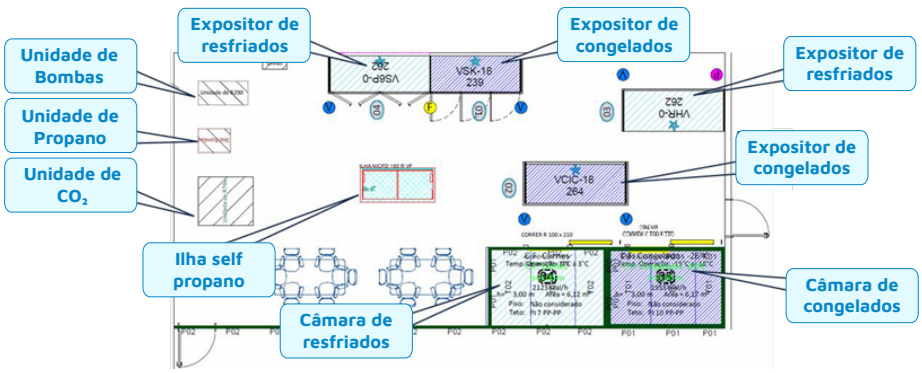
Os sistemas a seguir fazem parte dos pontos de resfriamento de temperatura média e de temperatura baixa do projeto demonstrativo de mini supermercado:

Figura 197 – Layout dos equipamentos no modelo mini supermercado da escola Senai-IST, no Rio de Janeiro-RJ



Fonte: Eletrofrio.

Figura 198 – Layout dos equipamentos no modelo mini supermercado da escola ETP, de Curitiba-PR



Fonte: Eletrofrio.

7.1 **Expositores e balcões**

1. Expositores verticais refrigerados para autosserviço, com portas para produtos refrigerados de 0 a 4 °C e unidade de refrigeração de média temperatura remota com fluido refrigerante secundário (mistura de polipropileno e água);
2. Balcão de atendimento horizontal refrigerado para produtos refrigerados de 0 a 4 °C e unidade de refrigeração de média temperatura remota com fluido refrigerante secundário (mistura de polipropileno e água);
3. Expositores verticais refrigerados para autosserviço com portas para produtos congelados a -18 °C e unidade de refrigeração de baixa temperatura remota com fluido refrigerante natural principal CO_2 (R-744);
4. Balcões de autosserviço refrigerados horizontais para autosserviço de produtos congelados a -18 °C e unidade de refrigeração de baixa temperatura remota com fluido refrigerante natural principal CO_2 (R-744); e
5. Expositores de autosserviço refrigerados horizontais alternáveis para produtos refrigerados/congelados (0 °C a -2 °C / -21 °C a -23 °C) com propano (R-290) como um sistema de unidade complementar.

7.2 **Câmaras de resfriados e câmaras de congelados**

1. Câmara de resfriados de média temperatura 0 °C a 4 °C com unidade de refrigeração remota e fluido refrigerante secundário (mistura de propileno e água); e
2. Câmara de congelados de baixa temperatura -20 °C com unidade de refrigeração remota e fluido refrigerante natural principal CO_2 (R-744).

Tabela 61 – Dimensões e medidas de câmaras de resfriados e de congelados

Dimensões e Medidas		
	Média temperatura (0 °C a 4 °C)	**Baixa temperatura (-20 °C)**
Recinto das células, comprimento x largura x altura em m	2,70 x 2,00 x 3,00	2,70 x 2,00 x 3,00
Porta, altura x largura em m	2,10 x 1,00	2,10 x 1,00
Cortina de tiras, altura x largura em m	2,10 x 1,00	2,10 x 1,00
Espessura do isolamento em mm	70	120
Piso isolado	sim	sim

Fonte: Eletrofrio.

7.3 **Visualização dos pontos de resfriamento de média temperatura**

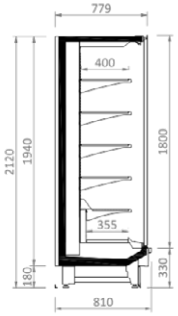
1. Expositores verticais refrigerados para autosserviço com portas para produtos refrigerados e unidade de refrigeração de média temperatura remota com fluido refrigerante secundário (mistura de polipropileno e água), conforme figuras a seguir.

Figura 199 – Representação gráfica do expositor VS6P-0, com 1x2,5m



Fonte: Eletrofrio.

Figura 200 – Dimensões do expositor VS6P-0



Fonte: Eletrofrio.

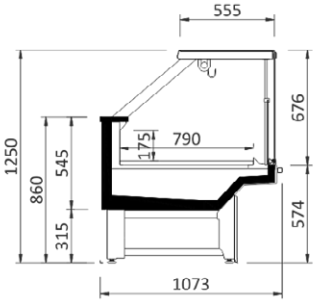
2. Balcão de atendimento horizontal para produtos refrigerados e unidade de refrigeração de média temperatura remota com fluido refrigerante secundário (mistura de polipropileno e água), conforme figuras a seguir.

Figura 201 – Representação gráfica do balcão VHR-0



Fonte: Eletrofrio.

Figura 202 – Dimensões do balcão VHR-0



Fonte: Eletrofrio.

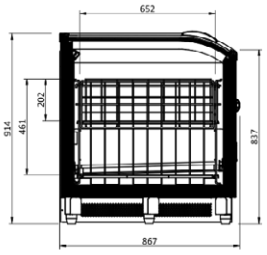
3. Expositor de autosserviço horizontal para produtos congelados de média e de baixa temperatura com propano (R-290) como um sistema de unidade complementar, conforme figuras a seguir.

Figura 203 – Representação gráfica do expositor NICF



Fonte: Eletrofrio.

Figura 204 – Dimensões do expositor NICF



Fonte: Eletrofrio.

4. Câmara de resfriados de média temperatura com unidade de refrigeração remota e fluido refrigerante secundário (mistura de propileno e água), conforme figura a seguir.

Figura 205 – Representação gráfica da câmara de resfriados EG300 354



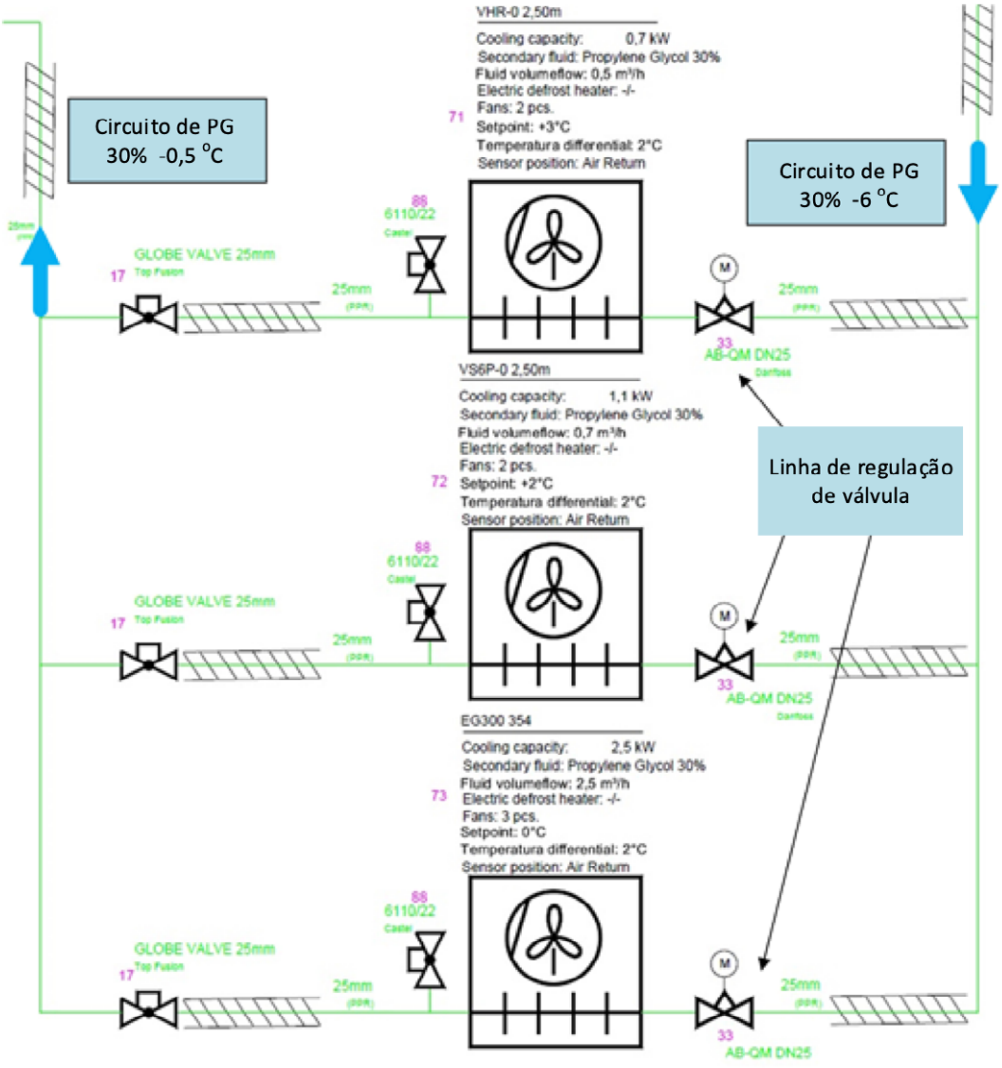
Fonte: Eletrofrio.

Dimensões:
Comprimento: 2.700 mm
Largura: 2.000 mm
Altura: 3.000 mm
Porta: 1.000 x 2.100 mm
Espessura do isolamento: 70 mm

7.4 Fluxo hidráulico do propilenoglicol nos pontos de resfriamento de média temperatura

Os trocadores de calor nos três pontos de resfriamento de média temperatura são operados por fluxo, através de uma mistura de salmoura do fluido refrigerante secundário na composição de 30/70% de propileno e água. O fluxo do propilenoglicol (PG) para a regulação da temperatura de cada ponto de resfriamento é mantido pelas válvulas de regulação da linha (ver Figura 206).

Figura 206 – Organização do PID nos pontos de resfriamento do sistema de loop de salmoura (sistema de média temperatura)



Fonte: Eletrofrio.

7.5 **Visualização dos pontos de resfriamento de baixa temperatura**

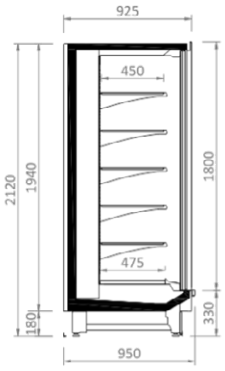
1. Expositor vertical para autosserviço, com portas para produtos congelados e unidade de refrigeração de baixa temperatura remota com fluido refrigerante natural principal CO_2 (R-744), conforme figuras a seguir.

Figura 207 – Representação gráfica do expositor VSK-18



Fonte: Eletrofrio.

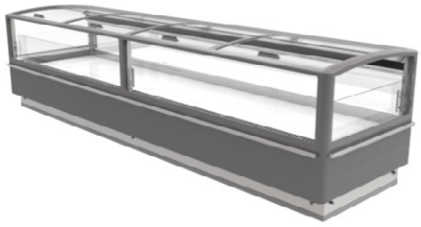
Figura 208 – Dimensões do expositor VSK-18



Fonte: Eletrofrio.

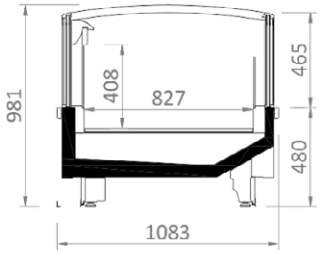
2. Balcão de autosserviço horizontal para produtos congelados e unidade de refrigeração de baixa temperatura remota com fluido refrigerante natural principal CO_2 (R-744), conforme figuras a seguir.

Figura 209 – Representação gráfica do balcão VCIC-18



Fonte: Eletrofrio.

Figura 210 – Dimensões do balcão VCIC-18



Fonte: Eletrofrio.

3. Câmara de congelados de baixa temperatura com unidade de refrigeração remota e fluido refrigerante natural principal CO_2 (R-744), conforme figura a seguir.

Figura 211 – Representação gráfica da câmara de congelados EG300 248



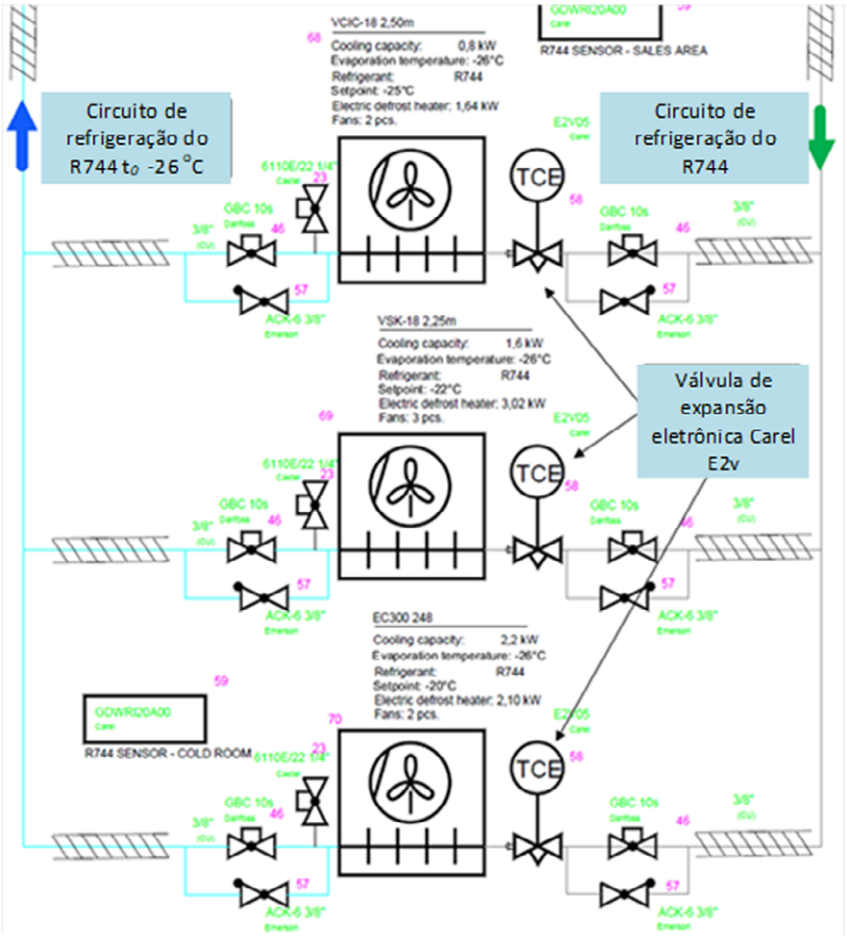
Fonte: Eletrofrio.

Dimensões:
Comprimento: 2.700 mm
Largura: 2.000 mm
Altura: 3.000 mm
Porta: 1.000 x 2.100 mm
Espessura do isolamento: 1.200 mm

7.6 **Circuito de refrigeração de expansão seca do R-744 para pontos de resfriamento de baixa temperatura**

Os trocadores de calor dos três pontos de resfriamento de baixa temperatura são operados por fluxo, através de um fluido refrigerante R-744 principal na temperatura de evaporação de -26 °C. Os trocadores de calor são equipados com válvulas de expansão eletrônicas CAREL E2v (ver Figura 212).

Figura 212 – Organização do PID nos pontos de resfriamento do sistema de expansão seca de baixa temperatura do R-744



Fonte: Eletrofrio.

7.7 **O sistema de refrigeração em cascata para R-744 e R-290**

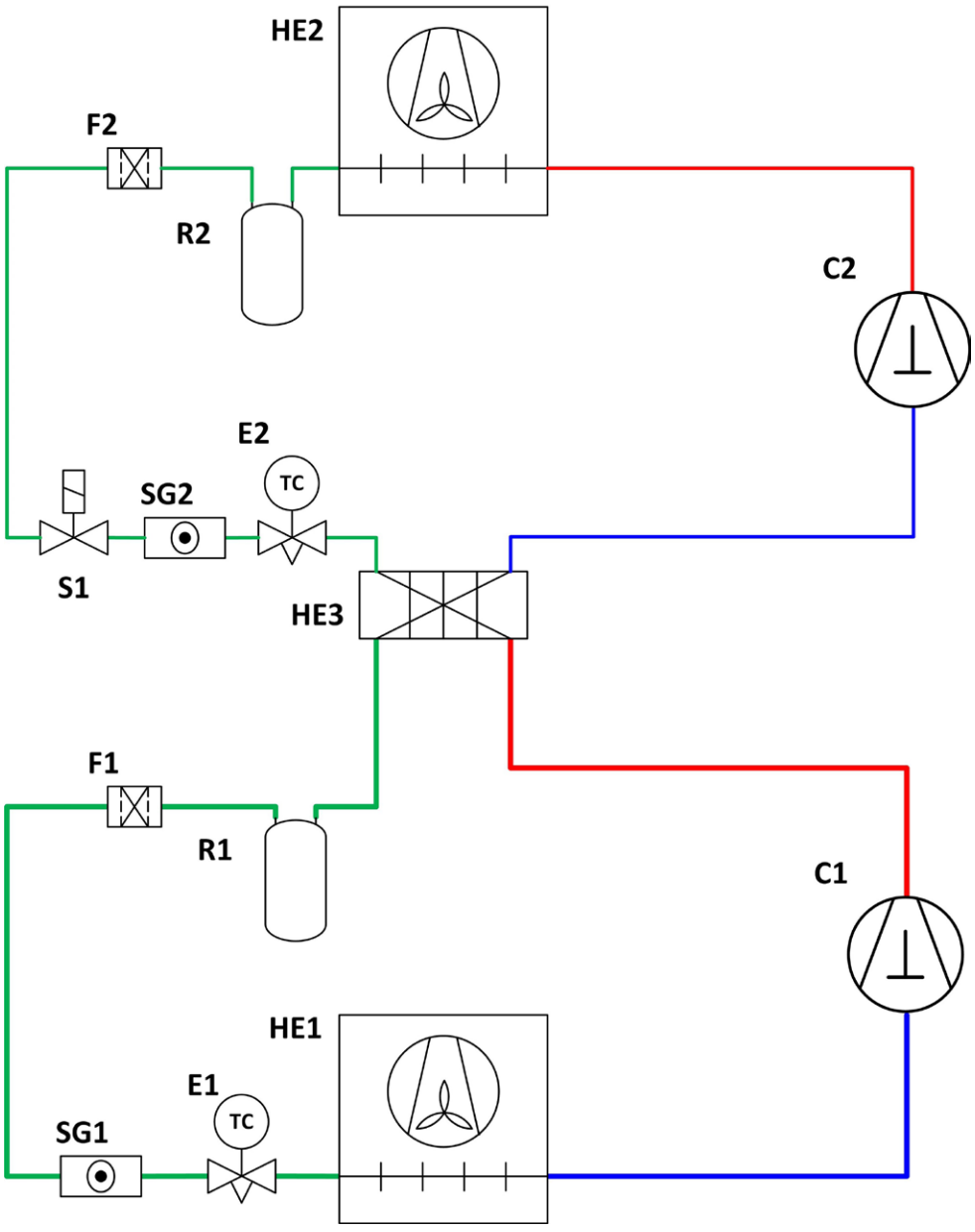
Um sistema em cascata genérico consiste em dois circuitos de refrigeração separados. Os estágios inferior e superior são conectados por um trocador de calor (trocador de calor em cascata). Nele, o calor de condensação do estágio inferior é transferido para o evaporador no estágio superior, que, por sua vez, transfere o calor para o ar ou água para refrigeração. O princípio do sistema em cascata é mostrado na Figura 213.

A solução permite uma combinação de fluidos refrigerantes com propriedades favoráveis para refrigeração no estágio superior e congelamento profundo no estágio inferior. Devido à alta pressão, o CO_2 é particularmente adequado a aplicações de baixa temperatura, no estágio de temperatura inferior, enquanto a amônia, o propano ou os HFCs são adequados para temperaturas moderadas (estágio superior).

Os sistemas de refrigeração em cascata geralmente são particularmente adequados para temperaturas de evaporação abaixo de -35 °C. A razão para isso é que as vantagens do compressor de CO_2 aumentam, conforme a temperatura de evaporação diminui.

Uma solução com CO_2, no estágio inferior, e amônia, no estágio superior, é uma típica solução industrial. Nos primeiros sistemas de refrigeração em cascata dos supermercados europeus, o estágio inferior de uma cascata consistia em um processo de CO_2. Geralmente, um HFC ficava no estágio superior, mas amônia ou hidrocarbonetos também são usados com benefícios ambientais.

Figura 213 – Sistema genérico de refrigeração em cascata



Continuação – Legenda da Figura 213 – Sistema genérico de refrigeração em cascata

C1	Compressor do R-744, estágio inferior da cascata
C2	Compressor do R-290, estágio superior da cascata
E1	Válvula de expansão termostática, estágio inferior, R-744
E2	Válvula de expansão termostática, estágio superior, R-290
F1	Filtro secador
F2	Filtro secador
HE1	Evaporador, estágio inferior, R-744
HE2	Condensador, estágio superior, R-290
HE3	Trocador de calor em cascata, evaporador R-290, condensador R-744
R1	Tanque de líquido, estágio inferior, R-744
R2	Tanque de líquido, estágio superior, R-290
S1	Válvula solenoide, estágio superior, R-290
SG1	Visor de líquido do fluido refrigerante com indicador de umidade, estágio inferior, R-744
SG2	Visor de líquido do fluido refrigerante com indicador de umidade, estágio superior, R-290

Fonte: Rolf Huehren.

7.8 **Sistema de resfriamento de emergência para CO_2** (unidade *backup*)

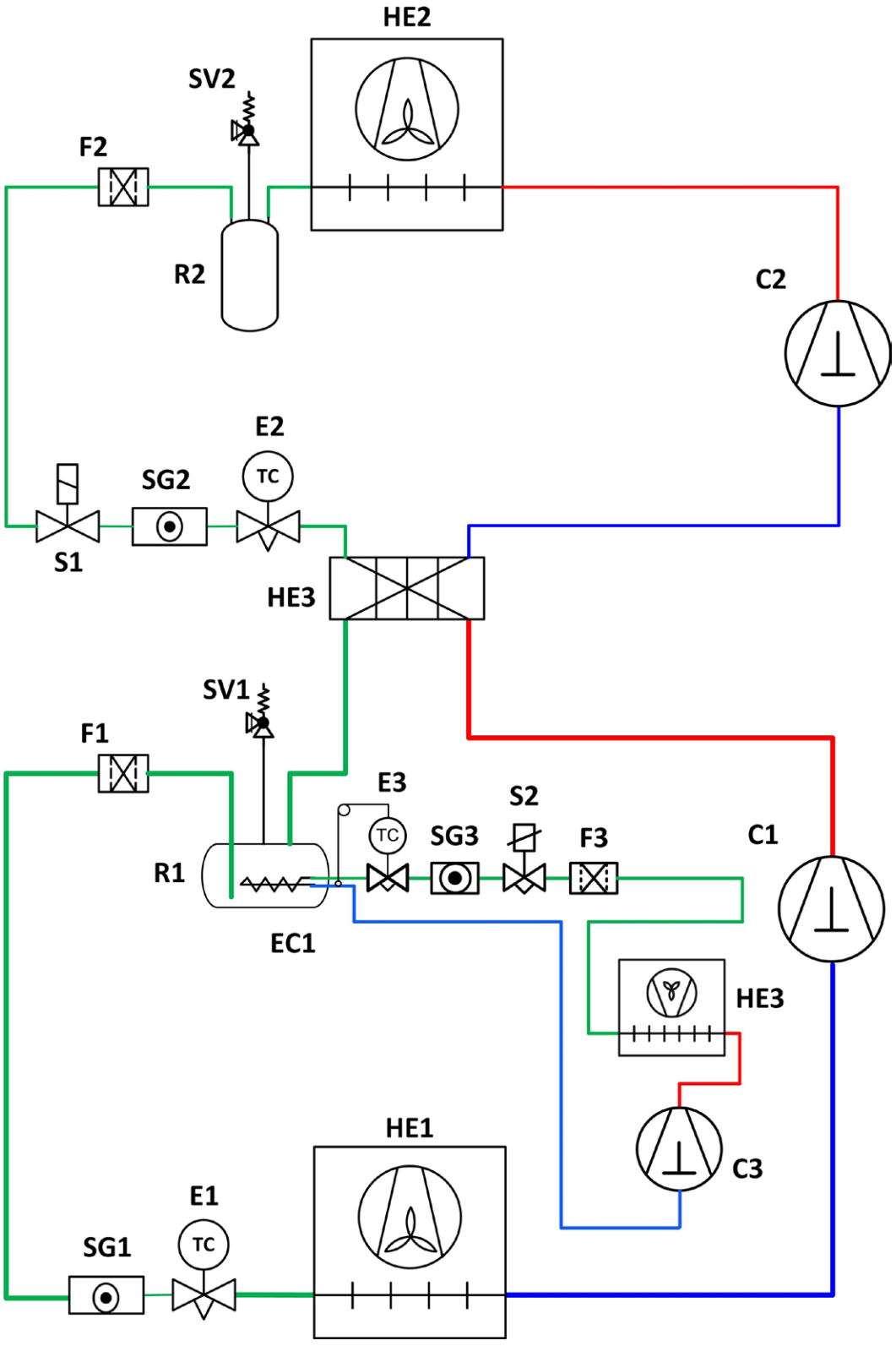
O nível de pressão em sistemas de refrigeração com CO_2 é significativamente maior do que em sistemas com outros fluidos refrigerantes, o que inicialmente traz desafios de segurança adicionais.

Quando um sistema contendo CO_2 líquido estiver em ociosidade, a pressão do sistema poderá ficar maior, em algumas condições, do que a pressão de operação ou trabalho permitida dos componentes ou peças do sistema ou do sistema inteiro, levando subsequentemente à ativação da válvula de alívio de pressão (PRV) e à descarga do fluido refrigerante.

Depois disso, a integridade da PRV precisa ser mantida por reparo ou substituição. Assim, será necessário resfriar o fluido refrigerante R-744 gasoso para diminuir a pressão durante a ociosidade, com um sistema de "resfriamento de emergência" em separado. O circuito do CO_2 é protegido pela chamada unidade *backup* de modo que a temperatura não suba além de, digamos, -25 °C, quando o sistema estiver em ociosidade. O ideal é que o sistema de resfriamento de emergência tenha uma fonte de alimentação independente.

A integração de um sistema de resfriamento de emergência (unidade *backup*) é mostrada na Figura 214.

Figura 214 – Sistema genérico de refrigeração em cascata com sistema de resfriamento de emergência



Continuação – Legenda da Figura 214 – Sistema genérico de refrigeração em cascata com sistema de resfriamento de emergência (unidade *backup*)

C1	Compressor do R-744, estágio inferior da cascata
C2	Compressor do R-290, estágio superior da cascata
C3	Compressor dos sistemas de resfriamento de emergência, R-290
E1	Válvula de expansão termostática, estágio inferior, R-744
E2	Válvula de expansão termostática, estágio superior, R-290
E3	Válvula de expansão termostática, sistema de resfriamento de emergência, R-290
EC1	Sistema de resfriamento de emergência, trocador de calor, R-290, também conhecido como "unidade backup"
F1	Filtro secador, estágio inferior, R-744
F2	Filtro secador, estágio superior, R-290
F3	Filtro secador, sistema de resfriamento de emergência, R-290
H1	Evaporador, estágio inferior, R-744
H2	Condensador, estágio superior, R-290
H3	Trocador de calor em cascata, evaporador do R-290, condensador do R-744
R1	Tanque de líquido, estágio inferior, R-744
R2	Tanque de líquido, estágio superior, R-290
S1	Válvula solenoide, estágio superior, R-290
S2	Válvula solenoide, sistema de resfriamento de emergência, R-290
SG1	Visor de líquido do fluido refrigerante com indicador de umidade, estágio inferior, R-744
SG2	Visor de líquido do fluido refrigerante com indicador de umidade, estágio superior, R-290
SV1	Válvula de segurança, estágio inferior, R-744 (PRV)
SV2	Válvula de segurança, estágio superior, R-290 (PRV)

Fonte: Rolf Huehren.

7.9 Descrição operacional da unidade EcoPack com propano

O sistema EcoPack da Eletrofrio é um *chiller* líquido que usa propano (R-290) como um fluido refrigerante natural para refrigeração de propilenoglicol (usado com condensador refrigerado a água, projetado para instalação interna).

Operando com o fluido refrigerante principal natural propano (R-290) e a solução de salmoura de fluido refrigerante secundário água/propilenoglicol (geralmente reconhecida como segura pelo regulamento europeu REACH), o sistema EcoPack serve para sistemas de refrigeração de média temperatura.

O sistema da unidade do R-290 é composto por:

- Compressor operado por inversor;
- Condensador do trocador de calor de placas soldadas e do trocador de calor *dry cooler;*

- Evaporador do trocador de calor de placas soldadas;
- Filtro secador do fluido refrigerante líquido;
- Visor de líquido do fluido refrigerante líquido;
- Válvula de expansão eletrônica; e
- Tubulação de cobre do fluido refrigerante.

O circuito do propano (R-290) fica em um componente da máquina separado dentro da unidade EcoPack, isolado do painel elétrico. Essa carcaça da máquina inclui um sensor de propano e um sistema de ventilação permanente utilizando um ventilador de exaustão externo para manter um fluxo de ar constante.

No caso de um vazamento de propano, o sistema de ventilação tenta reduzir a concentração de gás inflamável até um nível seguro que evite a ignição do fluido refrigerante. Mesmo em concentrações baixas, o sensor de propano detecta a presença do gás, iniciando estas ações do sistema de controle:

1. Acende um LED de alarme na porta do painel elétrico do equipamento;
2. Aciona um alarme no sistema de gerenciamento e monitoramento remoto; e
3. Desliga o equipamento, exceto pelos ventiladores de exaustão.

O sistema de ventilação é monitorado por um pressostato de diferencial. Uma falha no sistema de ventilação aciona alarmes de segurança, indicando uma emergência que exige intervenção da equipe de manutenção, acompanhados de sinais audiovisuais na porta do painel elétrico.

7.9.1 **Função operacional do sistema de refrigeração genérico**

O R-290 na forma gasosa, na linha de sucção, entra no compressor, em que é comprimido a pressão e temperatura altas e flui pela linha de descarga até o condensador da placa. Passando pelo condensador, o propano reduz sua pressão e temperatura e se liquefaz, trocando calor com uma solução de 10% de água e propilenoglicol (salmoura) da unidade *chiller*. Depois do condensador, o R-290 liquefeito passa pelo filtro secador e pelo visor de líquido antes de ser direcionado pela linha de líquido até a válvula de expansão eletrônica, que reduz a pressão e a temperatura do propano.

O fluido refrigerante evaporado passa pelo trocador de calor de placa (evaporador), em que absorve calor de uma solução de salmoura 30%, abaixando sua temperatura.

O fluido refrigerante R-290 é sugado do compressor, e o ciclo do fluido refrigerante se repete. A solução de salmoura resfriada é bombeada para os pontos de resfriamento das áreas refrigeradas e o trocador de calor em cascata, em que absorve o calor e volta com temperatura mais alta ao trocador de calor de placa do evaporador.

7.9.2 **Uma operação em separado**

Geralmente, o sistema de unidade de refrigeração EcoPack pode incluir uma ou mais unidades em paralelo, cada uma delas operando, independentemente, para atender à demanda de carga térmica por meio de um circuito de salmoura específico.

Todas as soluções de salmoura são transferidas por tubos de propileno copolí-

mero aleatório (PP-R). O tubo de PP-R é um tubo plástico altamente estabilizado pelo calor, de cor verde. O material atende aos requisitos dos sistemas de tubulação de plástico da ISO 15874 para instalações de salmoura, água quente e fria.

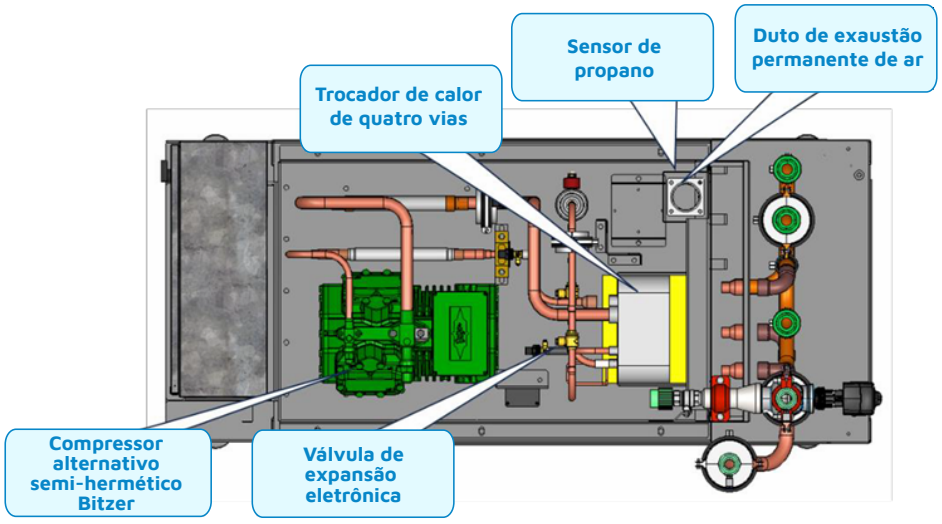
A carga de fluido refrigerante propano (R-290) para cada circuito de refrigeração EcoPack pode variar de 2 a 5 kg, dependendo da capacidade de refrigeração do equipamento.

As condições do projeto EcoPack são:

- Temperatura de evaporação -7 °C;
- Temperatura de condensação 47 °C;
- Temperatura de saída da solução de água/propilenoglicol -3 °C; e
- Temperatura ambiente até 40 °C.

O sistema da unidade EcoPack utiliza um controlador eletrônico para gerenciar sua operação, com base em parâmetros de projeto pré-estabelecidos, gerar dados técnicos para análises operacionais, e acionar alarmes. A comunicação *bluetooth* com a aplicação permite visualizar os valores operacionais e ajustar os parâmetros. A válvula de expansão eletrônica é integrada ao mesmo controlador.

Figura 215 – Sistema da unidade de refrigeração R-290 EcoPack



Fonte: Eletrofrio.

7.9.3 Skid de bombas, *dry cooler* e aquecimento da água

O skid de bombas abriga três bombas hidráulicas com funcionalidades distintas:

1. Bombeamento da solução de propilenoglicol e água a uma concentração de 30%;
2. Bombeamento da solução de propilenoglicol e água a uma concentração de 10%; e
3. Bombeamento de água pura.

O sistema de bombeamento (a) é composto pelo seguinte:

- Bomba do inversor de frequência para modulação do fluxo de massa da salmoura;
- Sensor de fluxo para evitar o congelamento da solução no evaporador e a sinalização de alarme;
- Tanque de expansão;

- Filtro de sucção;
- Pressostatos de descarga e sucção;
- Válvulas de bloqueio e ventilação; e
- Tubulação de PP-R.

Esse sistema direciona a salmoura (solução de água e propilenoglicol) para o evaporador de placa EcoPack, resfriada até uma temperatura de -3 °C, e depois divide o fluxo em duas seções:

1. A primeira é direcionada até os trocadores de calor aletados dos expositores refrigerados e câmaras frigoríficas; e
2. A segunda é responsável por condensar o fluido refrigerante R-744, em um trocador de calor de placa com brasagem contido no sistema da unidade UCPack LC CO_2.

Após absorver o calor dos espaços refrigerados e do R-744, a salmoura retorna à entrada de alimentação da bomba hidráulica. Em horários predefinidos, é necessário parar o fluxo da salmoura para os expositores e câmaras frigoríficas devido ao descongelamento programado do trocador de calor com ar forçado. Entretanto, o fluxo de salmoura que condensa o fluido refrigerante R-744 no sistema em cascata não pode ser interrompido. Interromper o fluxo pode causar um aumento na pressão de condensação do R-744, consequentemente abrindo as válvulas de segurança do circuito de refrigeração. Assim, uma válvula de três vias é incorporada ao circuito da salmoura. Durante os períodos de descongelamento, a válvula direciona o fluxo da salmoura que seria transferida para os pontos de resfriamento para a entrada da bomba, garantindo que a bomba hidráulica permaneça em operação sempre e que o fluxo para o condensador R-744 seja constante.

O sistema de bombeamento (b) é composto pelo seguinte:

- Bomba do inversor de frequência para modulação do fluxo de massa da salmoura;
- Sensor de fluxo para evitar o congelamento da solução no evaporador e a sinalização de alarme;
- Tanque de expansão;
- Filtro de sucção;
- Pressostatos de descarga e sucção;
- Válvulas de bloqueio e ventilação; e
- Tubulação de PP-R.

A função principal desse sistema é direcionar a salmoura para o trocador de calor da placa com brasagem para condensar o fluido refrigerante R-290.

O sistema de bombeamento (c) é composto pelo seguinte:

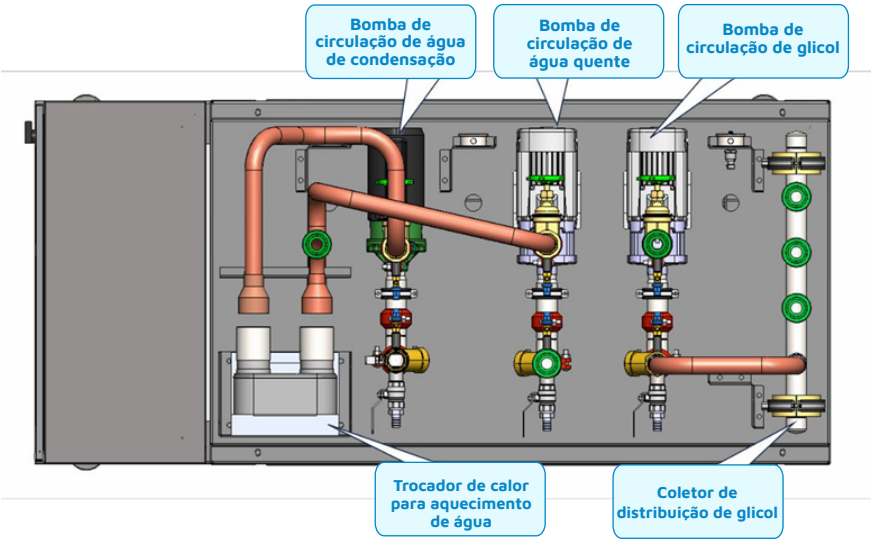
- Uma bomba hidráulica;
- Sensor de fluxo para evitar o congelamento da solução no evaporador e a sinalização de alarme;
- Tanque de expansão;
- Filtro de sucção;
- Pressostatos de descarga e sucção;
- Válvulas de bloqueio e ventilação; e
- Tubulação de PP-R.

Os sistemas de bombeamento (b) e (c) integram o trocador de calor de placas soldadas. A solução de salmoura da descarga do sistema (b) aquece a água do sistema (c), que, por sua vez, é armazenada no tanque de água do processo de recuperação de calor. O sistema de bombeamento (c) é ativado sempre que a temperatura da água dentro do tanque de água do processo cair abaixo de um ponto definido. O sistema (c) é unicamente responsável por circular a água, entre o tanque e o trocador de calor, com placa de recuperação de calor para manter a água no tanque na temperatura desejada. A água quente do tanque de recuperação de calor pode ser direcionada para os pontos de consumo; assim, há reabastecimento de água diretamente da tubulação de água para o tanque.

Após trocar calor com a água da recuperação de calor, a solução de salmoura do sistema (b) é bombeada para o *dry cooler*. O *dry cooler* é um trocador de calor aletado que refrigera a solução de salmoura circulando dentro do trocador de calor, por meio da ventilação forçada do ar ambiente por meio das aletas do *dry cooler*. Ele tem ventiladores eletrônicos que permitem variar a velocidade de rotação de acordo com a demanda da carga térmica. Finalmente, o propilenoglicol refrigerado é direcionado para o condensador de placa do R-290 (contido no sistema da unidade do EcoPack) em que absorve o calor e o devolve ao skid de bombas.

O skid de bombas usa um controlador eletrônico para gerenciar a operação do sistema (a), e outro controlador para os sistemas (b) e (c), para gerenciar a operação com base nos parâmetros de projeto pré-estabelecidos, bem como para gerar dados operacionais e sinais de alarme. A comunicação *bluetooth* é estabelecida com a aplicação, permitindo visualização da operação e modificação de parâmetros.

Figura 216 – Componentes principais do skid de bombas



Fonte: Eletrofrio.

7.10 Descrição operacional da unidade EcoPack com CO_2

O sistema da unidade subcrítica CO_2 é um sistema direto de expansão que utiliza o fluido refrigerante natural dióxido de carbono (R-744), com a condensação atingida utilizando-se uma solução de propilenoglicol resfriada. O circuito do R-744 serve os três pontos de resfriamento de baixa temperatura.

O sistema da unidade do R-744 é composto por:

- Compressor com inversor para capacidade de refrigeração modulada;
- Separador de óleo;
- Sistema eletrônico de gerenciamento do nível de óleo para o compressor;
- Condensador/trocador de calor de placas soldadas;
- Tanque de líquido com sensor de nível;
- Trocador de calor interno soldado, sub-resfriador/superaquecedor;
- Filtro secador;
- Visor de líquido do fluido refrigerante líquido;
- Válvulas de segurança;
- Válvulas de segurança secundárias (válvulas de verificação) que direcionam internamente qualquer R-744, que possa ficar preso devido ao fechamento inadequado da válvula e criar um excesso de pressão do fluido refrigerante;
- Válvulas esfera de bloqueio; e
- Tubulação de transferência do fluido refrigerante.

Dois sensores de gás para detecção do R-744 estão instalados:

1. Instalado no sistema da unidade UCPack LC CO_2 em si (carcaça da máquina) para detectar qualquer perda de fluido refrigerante;
2. Instalado dentro da câmara de congelados, para detectar concentrações perigosas de fluido refrigerante no caso de um vazamento. Esse detector de gás ativa alarmes audiovisuais para avisar do risco de asfixia trazido pela presença do gás do fluido refrigerante R-744 dentro da câmara de congelados.

Um sistema de ventilação permanente, na carcaça das máquinas e na área de trabalho, garante a renovação do ar e a exaustão de qualquer gás do fluido refrigerante R-744 que escape do equipamento.

Dentro do circuito de refrigeração subcrítico, o R-744 gasoso do trocador de calor interno e da linha de sucção entra no compressor, em que é comprimido a pressões e temperaturas altas e transferido para a linha de descarga. Ele passa pelo separador de óleo e chega até o condensador/trocador de calor de placas soldadas. No condensador, o R-744 reduz sua temperatura e pressão e se condensa trocando calor com uma solução de 30% propilenoglicol e água do skid de bombas. Após sair do condensador, o R-744 líquido entra no tanque de armazenamento do fluido refrigerante líquido para fornecer fluido refrigerante suficiente para o sistema com flutuação da capacidade de refrigeração. Saindo do tanque de líquido, o R-744 líquido é transferido para o trocador de calor de placas soldadas interno.

A finalidade principal desse trocador é fornecer sub-resfriamento ao fluido refrigerante líquido. Da mesma forma, o gás de sucção que vai para o compressor é superaquecido pelo trocador de calor interno. O fluido refrigerante líquido sub-resfriado passa pelo filtro secador e pelo visor de líquido, e é direcionado para a válvula de expansão eletrônica dos pontos de resfriamento (expositores e câmara de congelados). Dentro dos pontos de resfriamento, o R-744 líquido se expande antes das válvulas de expansão, evapora e se superaquece dentro do evaporador aletado, absorvendo o calor dos pontos de resfriamento, e volta até o compressor pela linha de sucção.

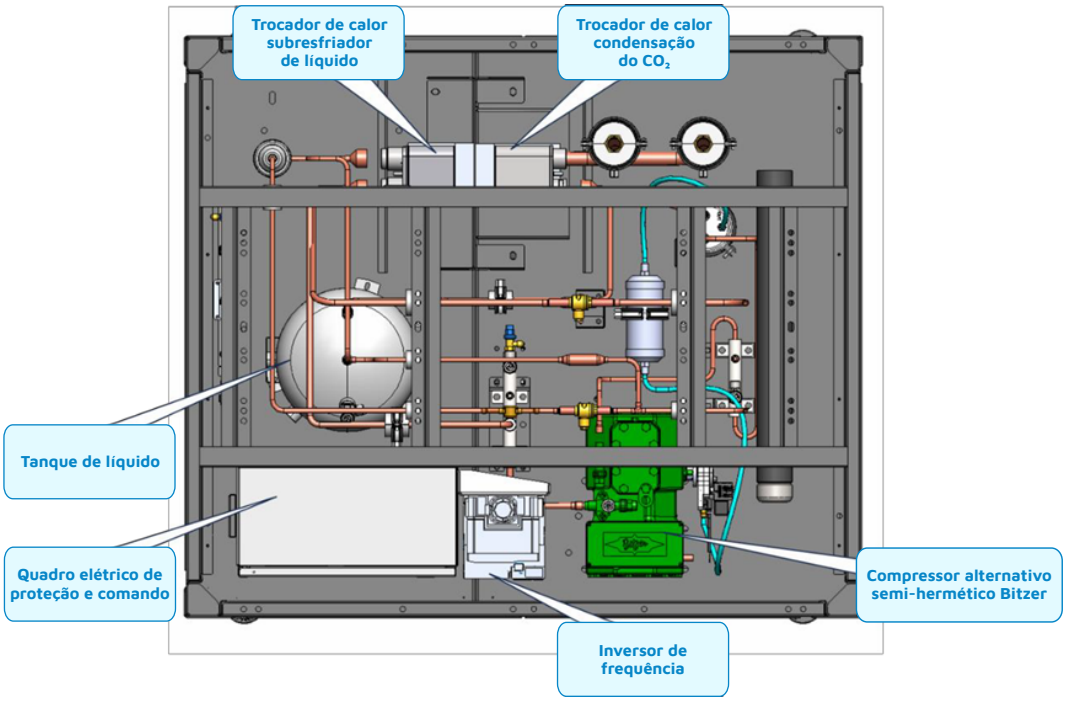
Os desligamentos do compressor podem ocorrer devido a uma gama de fatores (falha de alimentação, desligamento manual etc.). Quando ocorre um desligamento,

o fluido refrigerante R-744 na tubulação e no tanque de líquido é aquecido pela temperatura ambiente, levando a um aumento de pressão e à descarga das válvulas de segurança, resultando em perda do fluido refrigerante. Para evitar essa perda de fluido refrigerante, um sistema de resfriamento de emergência independente é ativado por um pressostato que indica excesso de pressão no circuito de refrigeração do R-744. Esse sistema de refrigeração de emergência opera com o fluido refrigerante natural propano (R-290) e resfria o fluido refrigerante R-744, dentro do tanque de líquido, por meio de uma bobina de tubulação (evaporador) instalada dentro dele.

As condições de projeto do UCPack LC CO_2 são:
Temperatura de evaporação -26 °C;
Temperatura de condensação +1 °C; e
Temperatura de saída da solução de água/propilenoglicol -3 °C.

O sistema da unidade R-744 utiliza um controlador eletrônico para gerenciar sua operação, com base em parâmetros de projeto pré-estabelecidos, gerar dados técnicos para análise de desempenho e acionar alarmes do sistema. A comunicação *bluetooth* com a aplicação permite visualizar os valores operacionais e ajustar os parâmetros.

Figura 217 – Sistema da unidade de refrigeração UCPack LC CO_2



Fonte: Eletrofrio.

08

COMPONENTES DOS CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO PRINCIPAL E AUXILIAR EM GERAL

8 Componentes principais e auxiliares do circuito de refrigeração

O sistema de refrigeração baseado no princípio de compressão do vapor requer quatro partes principais:

1. **Evaporador:**
Dispositivo que absorve calor, trocador de calor. O fluido refrigerante a baixa pressão (pressão de evaporação p_0) e baixa temperatura (temperatura de evaporação t_0) absorve calor do entorno por evaporação do fluido refrigerante.

2. **Compressor:**
Máquina de compressão que aumenta a pressão. Depois do aumento de pressão, o ponto de condensação fica acima da temperatura do ambiente para o qual o calor absorvido é liberado.

3. **Condensador:**
Dispositivo que libera calor, trocador de calor. O fluido refrigerante libera calor a alta pressão (pressão de condensação p_c) e a alta temperatura (temperatura de condensação t_c) condensando o fluido refrigerante.

4. **Dispositivo de expansão:**
Componente redutor de pressão. A pressão é reduzida à pressão de evaporação p_0. Parte do líquido anterior se evapora e a mistura de líquido e vapor esfria para a temperatura de evaporação t_0.

O sistema de refrigeração, portanto, tem a função de tirar o calor de um local e liberá-lo em outro.

Para tanto, ele precisa das quatro partes principais mencionadas anteriormente, nas quais ocorrem as mudanças necessárias de estado para que o ciclo do fluido refrigerante aconteça, bem como das tubulações de transferência de fluido refrigerante necessárias. Um tanque de fluido refrigerante geralmente também está presente. Dentro do circuito de refrigeração, circula o fluido refrigerante.

Além dos quatro componentes principais, peças auxiliares e elétricas adicionais estão disponíveis, dependendo da configuração do sistema de refrigeração (listado de A a D na Tabela 62).

Tabela 62 – Lista não exaustiva de componentes (como aplicáveis) de um circuito de refrigeração

A	Principais componentes	
1	Compressor	Linha de descarga
2	Lubrificante	
3	Condensador	Linha do condensado / linha de líquido
4	Resfriador de gás	Linha de descarga / linha de líquido

5	Evaporador	Linha de sucção
6	Válvula de expansão TXV, AXV, EXV	Linha de injeção
7	Tubo capilar	
8	Fluido refrigerante	
B	**Componentes auxiliares**	
1	Tanque de líquido (vertical/ horizontal)	
2	Trocador de calor (gás de sucção/líquido)	
3	Dessuperaquecedor	por ex.: recuperação de calor
4	Acumulador de líquido de sucção	
5	Coletor	
6	Amortecedor	
7	Amortecedor de vibração	
8	Filtro secador	
9	Filtro	
10	Visor de líquido com indicador de umidade	
11	Visor de líquido	
12	Separador de óleo	Tubo de retorno do óleo
13	Regulador de óleo	Tubo de retorno do óleo
14	Tanque de óleo	Tubo de retorno do óleo
15	Válvula de alívio de pressão PRV	Incluindo tubulação de purga
16	Dispositivo de alívio de pressão	Incluindo tubulação de purga
17	Válvula de alívio de pressão PRV	Incluindo tubulação de purga
18	Válvula de transição PRV	
19	Válvula de segurança secundária	
20	Plugue fusível	
21	Disco de ruptura	
22	Dispositivo de fechamento	
23	Válvula conjugada	
24	Válvulas de isolamento	
25	Válvula rotalock	
26	Válvula bloqueada	Também, em combinação com a PRV
27	Válvula de retenção	

28	Válvula Schrader	
29	Tampa da válvula	
30	Manômetro (alta/baixa/diferencial)	
31	Medidor de temperatura	
32	Junta	
33	Junta soldada	
34	Junta brasada	
35	Junta flangeada	
36	Junta alargada	
37	Isolamento	

C	Componentes elétricos	
1	Lâmpada indicadora e interruptor do painel de controle	
2	Interruptor de parada de emergência	Também, em combinação com a detecção de gás
3	Válvula solenoide	
4	Termostato	
5	Controle do ponto de resfriamento digital	
6	Interruptor de fluxo	
7	Compressor	
8	Compressor hermético	
9	Compressor semi-hermético (hermético acessível)	
10	Inversor	
11	Aquecedor do cárter do compressor	
12	Motor do ventilador do condensador	
13	Ventilador da casa de máquinas	Para classificação ATEX de fluidos refrigerantes inflamáveis
14	Controle do nível de líquido	
15	Motor do ventilador do evaporador	
16	Relés e contatores	
17	Terminal de desconexão	
18	Protetor de sobrecarga	
19	Dispositivo de proteção contra surtos do compressor	

20	Dispositivo limitador de temperatura	
21	Pressostato diferencial	Lubrificação do compressor, parada do compressor, redefinição automática ou manual
22	Pressostato de segurança para limitar a pressão	Interrompe a operação
23	Limitador de pressão (alta/baixa)	Limita a pressão, redefine automaticamente
24	Tipo de limitador de pressão aprovado (alta/baixa)	Limita a pressão, redefine automaticamente
25	Pressostato de corte de pressão homologado (alta/baixa)	Limita a pressão, redefine manualmente, sem ferramenta
26	Pressostato de corte de pressão de segurança homologado (alta/baixa)	Limita a pressão, redefine manualmente, somente com ferramenta
27	Sensores de temperatura	
28	Sensor de pressão	
29	Sensor de gás	Fixo (para consideração de inflamáveis Zona 2)
30	Detector de gás	Fixo (para consideração de inflamáveis Zona 2)
31	Termostato	
32	Temporizador de degelo	
33	Aquecedor de degelo	
34	Controlador de degelo sob demanda	
35	Aquecedor do dreno de condensado	
36	Aquecedor de ponto de orvalho	
37	Sensor de umidade	
38	Acionador	
39	Arnês de fiação	
40	Cabeamento	
41	Aterramento (equalização de potencial)	
42	Sistema de iluminação	

Continuação da Tabela 62 – Lista não exaustiva de componentes (como aplicáveis) de um circuito de refrigeração

D	Hidráulico	
1	*Dry cooler*	
2	Bomba de salmoura/água	
3	Armadilha de lodo	
4	Tanque de armazenamento	
5	Separador hidráulico	
6	Trocador de calor	
7	Válvula de retenção	
8	Válvula de controle de linha	
9	Válvula em três vias	
10	Válvula globo	
11	Filtro	
12	Vaso de expansão	
13	Unidade de retirada de ar	
14	Válvula de alívio de pressão	
15	Válvula de alívio de pressão (independentemente da contrapressão)	
16	Válvula de dreno	
17	Mistura de propilenoglicol/água	
18	Sistema Tichelmann	
19	Isolamento	
20	Recipiente de dreno	
21	Recuperação de calor	

Fonte: Rolf Huehren.

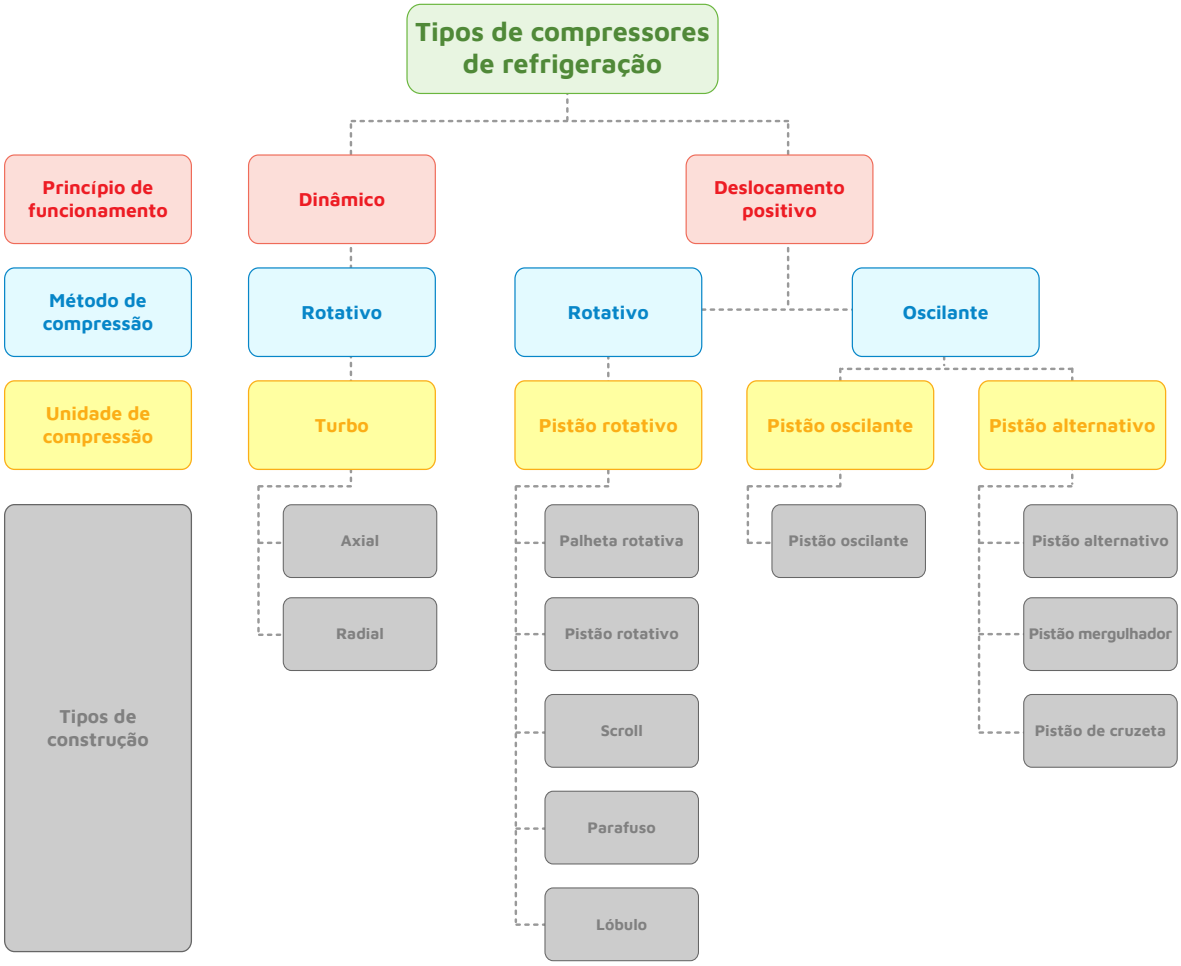
8.1 **Compressores**

No compressor, o fluido refrigerante em vapor é puxado em baixa pressão e comprimido até uma pressão maior. Há compressores com pistões alternativos (compressores alternativos) e outros com pistões rotativos. Esses últimos também são conhecidos como compressores rotativos. Em cada um dos casos, o gás do fluido refrigerante é deslocado da câmara do compressor por um componente sólido.

Em contraste com esses compressores de deslocamento, o aumento da pressão nos compressores de fluxo é conseguido pela aceleração de um rotor (turbo) e subsequente conversão da energia cinética em aumento de pressão.

A Figura 218 oferece uma visão geral dos vários tipos.

Figura 218 – Tipos de compressores



Fonte: Rolf Huehren.

O compressor alternativo com pistões alternativos é usado mais comumente em aplicações comerciais. Pequenos compressores alternativos herméticos também são encontrados em refrigeradores domésticos e pequenas unidades condensadoras; já compressores abertos muito grandes são usados em aplicações industriais. Compressores semiabertos são encontrados em aplicações comerciais e industriais.

Os compressores com pistões alternativos podem ser encontrados em tecnologias de aparelhos de ar condicionado, compressores do tipo scroll na refrigeração comercial, bem como no setor de aparelhos de ar condicionado. Compressores de parafuso podem ser encontrados em ambas as áreas.

Os turbocompressores são usados em *chillers* de água muito grandes.

A diferenciação entre compressores abertos e semiabertos, semi-herméticos e herméticos não tem relação com o tipo de compressor. Essa designação do tipo de construção refere-se apenas à relação entre o compressor e o motor de acionamento.

8.1.1 **Compressor aberto**

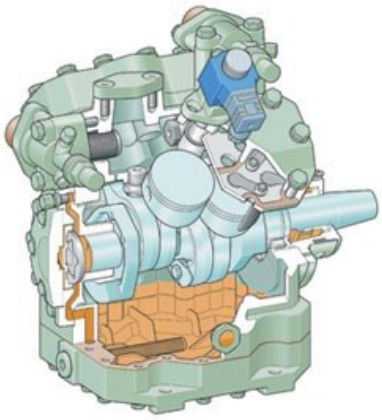
O compressor é acionado por um motor em separado. Assim, o eixo de manivela passa pelo cárter do compressor (= aberto). Ele forma uma saliência em uma das extremidades do compressor. O motor de acionamento deve ser conectado ali.

Figura 219 – Compressor alternativo de tipo aberto



Fonte: Bock.

Figura 220 – Vista em corte de compressor alternativo de tipo aberto



Fonte: Bitzer.

8.1.2 **Compressor semiaberto**

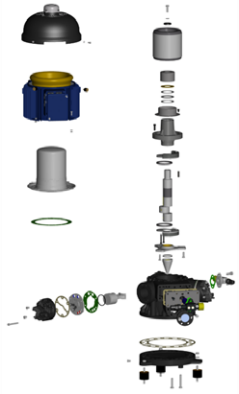
A parte elétrica do motor é separada das partes do compressor carregadas com fluido refrigerante por uma tampa de separação. Os cilindros estão organizados radialmente ao redor de um eixo de manivela vertical. Por meio do design especial da biela, todos os cilindros ficam em um nível, permitindo um funcionamento com pouca vibração. A troca de gás é controlada por válvulas lamelares automáticas. A engrenagem de acionamento é lubrificada por uma bomba de óleo centrífuga firmemente conectada ao eixo de manivela.

Figura 221 – Compressor alternativo de tipo aberto



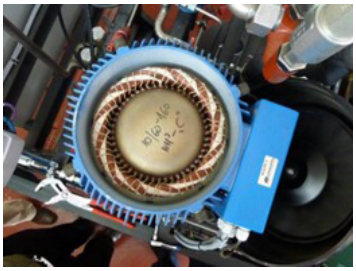
Fonte: Frigopol.

Figura 222 – Vista explodida do compressor semiaberto com tampa de separação



Fonte: Frigopol.

Figura 223 – Vista explodida do compressor semiaberto com tampa de separação

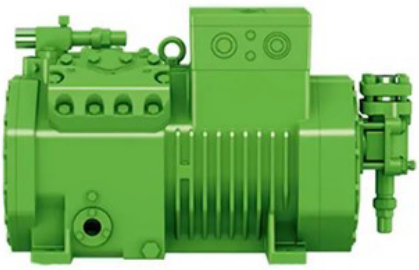


Fonte: Frigopol.

8.1.3 **Compressor semi-hermético**

O motor de acionamento (motor elétrico) e um compressor ficam em uma carcaça comum que pode ser desmontada. Isso permite reparos nos componentes mecânicos do compressor e no motor elétrico. O motor elétrico é refrigerado também pelo gás de sucção do fluido refrigerante.

Figura 224 – Compressor de pistão semi-hermético



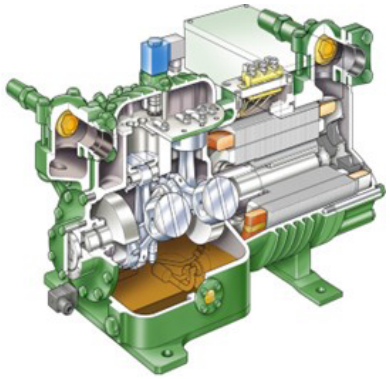
Fonte: Bitzer.

Figura 225 – Compressor de parafuso semi-hermético



Fonte: Bitzer.

Figura 226 – Compressor alternativo de pistão semi-hermético



Fonte: Bitzer.

Figura 227 – Compressor de parafuso semi-hermético



Fonte: Bitzer.

Figura 228 –Compressor de lóbulo para processo industrial



Fonte: Aerzen Series GQ.

Setores de refrigeração e gás de processo e o espectro amplo das tecnologias de soprador – máquinas que funcionam sozinhas, combinadas a máquinas ou contêineres, na terra ou no mar. Em muitas aplicações industriais chave.

Tipo de tecnologia:

- Sopradores de deslocamento positivo;
- Pressão diferencial (Δp)
- 150 a 1.500 mbar;
- Fluxo de volume de 910 a 104.000 m^3/h;
- Fluido e gases de processo;
- Transporte sem óleo; e
- Incluindo fluidos refrigerantes R-1270 e R-290.

8.1.4 **Compressor hermético**

O compressor e o motor elétrico ficam em uma carcaça soldada (encapsulamento), que só pode ser aberta destruindo-a. A unidade só pode ser substituída como um todo.
O motor de acionamento elétrico é refrigerado pelo gás de sucção.

Figura 229 – Compressor de pistão alternativo hermético (RAC comercial)



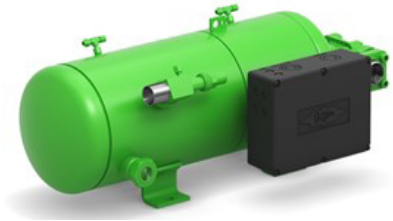
Fonte: Danfoss.

Figura 230 – Vista em corte de compressor de pistão alternativo hermético (RAC comercial)



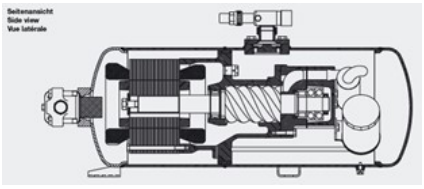
Fonte: Danfoss.

Figura 231 – Compressor de parafuso hermético



Fonte: Bitzer.

Figura 232 – Vista em corte de compressor de parafuso hermético



Fonte: Bitzer.

Figura 233 – Compressor de pistão alternativo hermético (refrigeração doméstica)



Fonte: SECOP GmbH.

Figura 234 – Partes individuais do compressor alternativo hermético



Fonte: SECOP GmbH.

Figura 235 – Compressor de pistão rotativo hermético



Fonte: AREA Cooling.

Figura 236 – Compressor de pistão rotativo hermético



Fonte: Tech-Lab.

Figura 237 – Compressor do tipo scroll hermético



Fonte: Copeland.

Figura 238 – Compressor do tipo scroll hermético (vista interna)

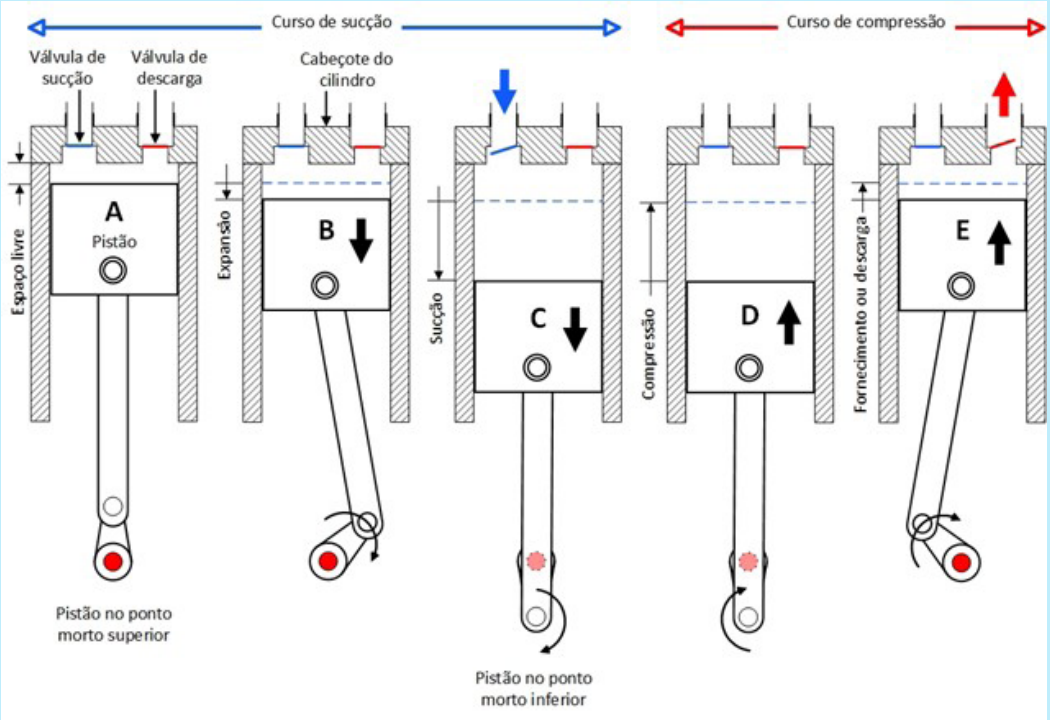


Fonte: Copeland .

8.1.5 **Função de compressores alternativos**

Compressores alternativos podem ter um só cilindro ou vários cilindros e vários cabeçotes de cilindros. A função de transporte de fluido refrigerante do compressor é mantida pelas características descritas na Figura 239.

Figura 239 – Sequências do processo de compressão e fornecimento de fluido refrigerante



Fonte: Rolf Huehren/HEAT GmbH.

- O pistão retrátil cria um vácuo no cilindro em comparação com a linha de sucção. Isso abre a válvula de entrada, e o fluido refrigerante flui para o cilindro com pressão baixa p_o (B e C).

- Assim que o pistão tiver passado do ponto morto inferior (o ponto mais baixo no qual ele muda o sentido do movimento), a pressão do cilindro começa a aumentar novamente por causa da compressão do fluido refrigerante (D).
- A válvula de entrada se fecha, o que faz com que nenhum fluido refrigerante seja sugado. Entretanto, a válvula de saída também permanece fechada, pois a pressão no lado de alta pressão (pressão de condensação pc) ainda é consideravelmente mais alta do que a pressão do cilindro (D).
- O processo a seguir é chamado de compressão.
- O fluido refrigerante é comprimido da pressão baixa (pressão de evaporação p_0) até a pressão alta (pressão de condensação p_c) na câmara completamente fechada do cilindro (E).
- Quando a pressão do cilindro tiver excedido levemente a pressão de condensação (pela pressão da mola da válvula mecânica), a válvula de saída vai se abrir, e os gases altamente pressurizados no cilindro serão descarregados (E).
- A válvula de entrada e a de saída (válvula de sucção e válvula de descarga) são, dessa forma, controladas pela diferença de pressão aplicada; elas não são controladas por força. Elas também são chamadas de válvula de palheta.
- Como as válvulas de sucção exigem um certo espaço abaixo da placa da válvula, isso é, o pistão precisa manter uma determinada distância de segurança da placa da válvula, e um pouco de gás pressurizado também fica no eixo da válvula de pressão da placa da válvula, o pistão não consegue empurrar todo o gás comprimido para fora.
- Uma parte do gás permanece no assim chamado espaço prejudicial ou espaço livre (A).
- Essa quantidade de gás residual se expande novamente quando o pistão tiver passado do seu ponto morto superior e se mover para baixo (B). O processo de entrada recomeça somente quando a pressão do cilindro tiver caído abaixo da pressão da entrada da linha de sucção.

A assim chamada reexpansão reduz o volume efetivo do cilindro e, dessa forma, o fluxo de deslocamento real do cilindro, que, assim, torna-se menor do que o fluxo de deslocamento do cilindro calculado a partir da geometria da câmara do cilindro. Essa proporção entre o fluxo de deslocamento real e o teórico é chamada de eficiência volumétrica λ ("lambda").

8.1.5.1 **Volume de deslocamento**

A equação a seguir representa o volume de deslocamento (cilindrada):

$$V_g = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times l_H \times z$$

A taxa de vazão do volume de deslocamento (cilindrada) pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\dot{V}_g = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times l_H \times z \times n$$

8.1.5.2 **Cálculo do volume de referência da eficiência volumétrica**

$$\lambda = 0{,}93 - 0{,}06\left(\frac{p_c}{p_0} - 1\right)$$

V_g	volume geométrico do deslocamento	em m^3
$\dot{V}_g$	taxa de vazão do deslocamento geométrico	m^3/s
d	diâmetro do cilindro	em m
l_H	comprimento do curso	em m
z	número de cilindros	-
λ	eficiência volumétrica	-
p_c	pressão de condensação	MPa (bar)
P_0	pressão de evaporação	MPa (bar)

As classificações de eficiência volumétrica (taxa de entrega) dos compressores de fluido refrigerante são importantes para avaliar a eficiência de um compressor e, na verdade, para todos os tipos de compressores de deslocamento. Elas indicam, como já explicado, quanto do volume teoricamente possível é realmente comprimido e fica disponível para o circuito de refrigeração. Os compressores de fluido refrigerante comuns têm graus diferentes de eficiência volumétrica dependendo do projeto, condições operacionais e fluido refrigerante. Além disso, os valores do grau de eficiência volumétrica variam bastante dependendo das condições operacionais, como pressão de evaporação, pressão de condensação, superaquecimento e sub-resfriamento do fluido refrigerante.

Os valores comuns de **λ** são:

Compressores de pistão:

- Taxa de entrega: **0,6 a 0,85**; e
- Dependendo do número de cilindros e da velocidade.

Compressores de parafuso:

- Taxa de entrega: **0,7 a 0,9**; e
- Muito eficientes, especialmente com o controle de carga variável e as pressões altas.

Compressores scroll:

- Taxa de entrega: **0,8 a 0,95**; e
- Particularmente comuns para capacidades de refrigeração pequena a média.

Compressores rotativos:

- Taxa de entrega: **0,6 a 0,8**; e
- Majoritariamente usados em sistemas de ar condicionado e bombas de calor.

Turbocompressores:

- Taxa de entrega: **0,75 a 0,9**; e
- Particularmente usados em sistemas de refrigeração grandes.

8.1.5.3 Limites operacionais do compressor

Compressores são máquinas que podem funcionar por muitos anos sem falhas em um sistema de refrigeração com um projeto adequado e construção profissional. Os requisitos básicos para isso são que eles não sejam operados além de seus limites, que recebam sempre uma quantidade suficiente de óleo lubrificante e que não haja substâncias estranhas, como sujeira ou umidade, no circuito de refrigeração e que eles nunca suguem fluido refrigerante.

Além da capacidade de refrigeração e do requisito de potência, os limites operacionais do compressor são de importância máxima para o projeto e construção do sistema de refrigeração.

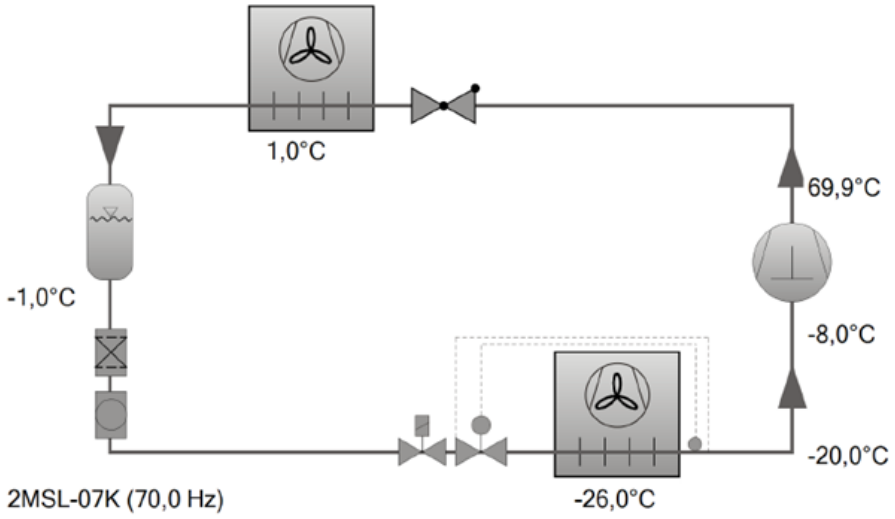
Os limites operacionais são as pressões operacionais máximas permitidas, tanto a alta, quanto a baixa, do circuito de refrigeração, bem como as velocidades máxima e mínima do compressor. Nas velocidades maiores, o compressor se superaquece; se a velocidade for muito baixa, os rolamentos não serão lubrificados o suficiente devido a uma taxa de vazão inadequada do óleo lubrificante.

Limites operacionais do compressor	Deixar de respeitar esses limites operacionais pode resultar em danos ao compressor e em valores de limitação defuncionamento que não são seguros!
Coqueifação do óleo lubrificante	A coqueifação aparecerá no óleo refrigerado quando as temperaturas operacionais forem altas. Se o coque grudar na placa da válvula, afetará o funcionamento normal da placa e, também, bloqueará o filtro e a válvula de expansão.

Os cálculos a seguir são baseados no *software* Bitzer v6.17.8:

Circuito de refrigeração em cascata do R-744 (baixa temperatura)

Figura 240 – Dados de projeto para o compressor em cascata do R-744 Bitzer (2MSL-07K – Operado por inversor)



Fonte: Bitzer.

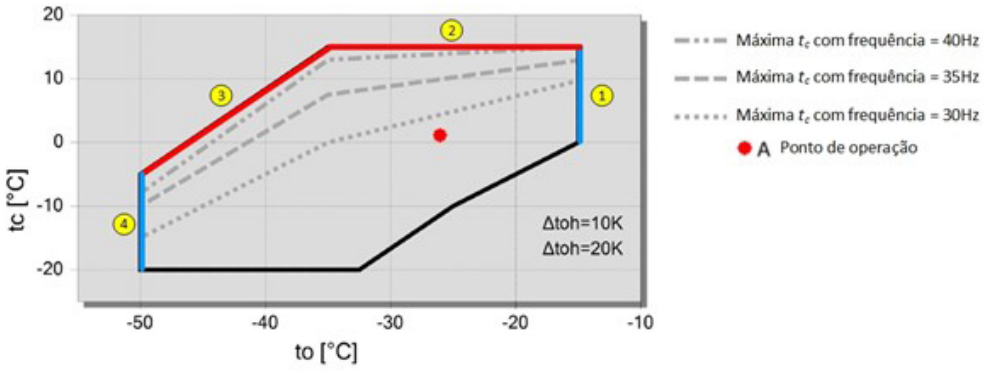
Tabela 63 –Parâmetros de projeto do sistema subcrítico do R-744 baixa temperatura (em cascata)

Parâmetro de projeto	Valores / modo
Modelo de compressor	MSL-07K (70 Hz)
Fluido refrigerante	R-744
Óleo lubrificante	2MSL-07K
Temperatura de referência	Ponto de orvalho
Temperatura de evaporação t_0	-26,00°C
Temperatura de condensação t_c	1,00°C
Sub-resfriamento líquido ΔT_{E1u}	2,00K
Superaquecimento total ΔT_{V1h}	18,00K
Modo de operação	subcrítico
Fonte de alimentação	Inversor 460 V – 3 - 60 Hz
Superaquecimento útil ΔT_{o2h}	6,00K

Fonte: Bitzer.

Ponto de operação do compressor e limites de aplicação do R-744 (baixa temperatura)

Figura 241 – Ponto de operação e limites de aplicação do compressor do R-744 (baixa temperatura)



Fonte: Bitzer.

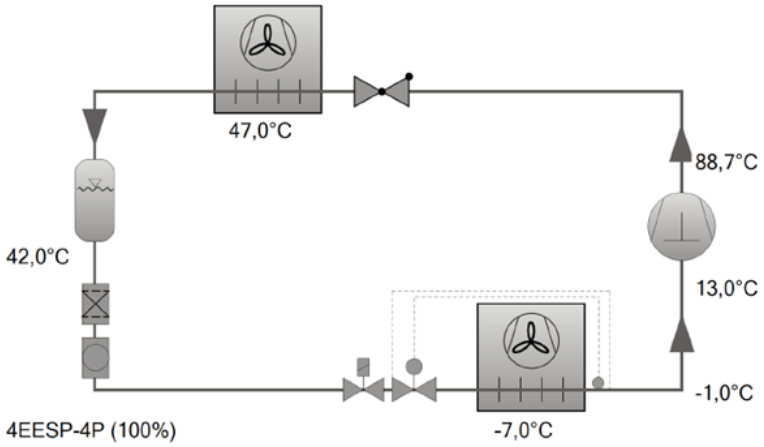
Interpretação dos limites operacionais calculados para o circuito em cascata do R-744 (baixa temperatura)

1. O compressor pode ser usado até uma temperatura de evaporação t_0 = -15 °C. Acima dessa temperatura, o motor entraria em condição de sobrecarga devido à alta densidade do gás (potência de acionamento alta). Além disso, a refrigeração não é factível nessa faixa de temperatura;
2. O compressor pode ser usado até uma temperatura de condensação t_c = 15 °C (com 70 Hz). Esse limite é imposto pela pressão operacional máxima permitida na alta pressão. As linhas pontilhadas indicam as temperaturas de condensação máximas com 40 Hz, 35 Hz e 30 Hz;
3. Na temperatura de vapor de sucção t_{V1h} acima de -15 °C acima da linha (3), o compressor não deverá ser operado;
4. O compressor está aprovado para operação até uma temperatura de evaporação t_0 = -50 °C.

Circuito de refrigeração em cascata do R-290 (média temperatura)

Escola Senai-RJ:

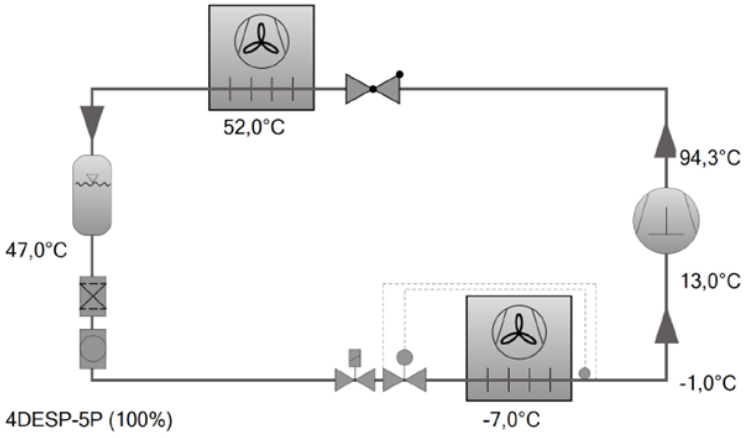
Figura 242 – Dados de projeto para compressor em cascata do R-290 média temperatura (estágio superior) Bitzer 4EESP-4P



Fonte: Bitzer.

Escola ETP Curitiba:

Figura 243 – Dados de projeto para compressor em cascata do R-290 média temperatura (estágio superior) Bitzer 4DESP-5P



Fonte: Bitzer.

Tabela 64 – Parâmetro de projeto do sistema de estágio superior subcrítico média temperatura (em cascata) para Senai-RJ e ETP

Parâmetro de projeto	Senai - RJ Valores / modo	ETP Valores / modo
Modelo de compressor	4EESP-4P	4DESP-5P
Fluido refrigerante	R-290	R-290
Óleo lubrificante	4EESP-4P	4EESP-4P
Temperatura de referência	Ponto de orvalho	Ponto de orvalho
Temperatura de evaporação t_0	-7,00°C	-7,00°C

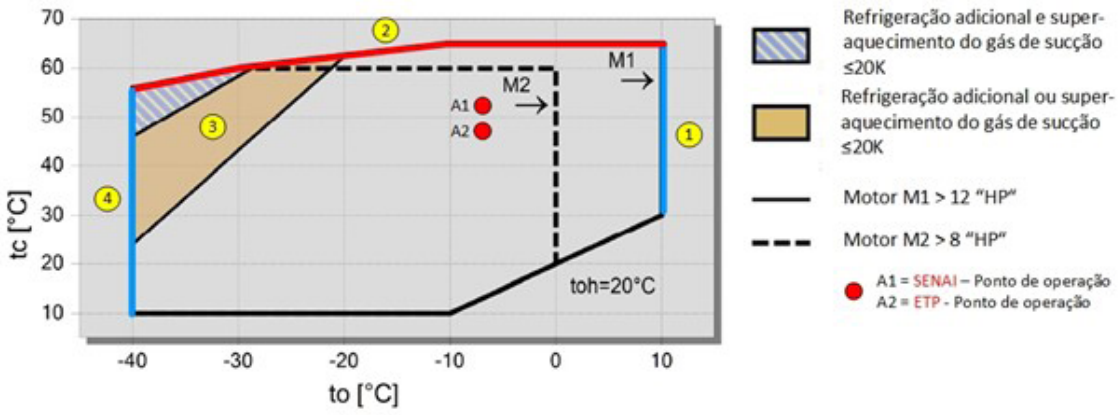
Continuação da Tabela 64 – Parâmetro de projeto do sistema de estágio superior subcrítico média temperatura (em cascata) para Senai-RJ e ETP

Temperatura de condensação t_c	47,00°C	52,00°C
Sub-resfriamento líquido ΔT_{E1u}	5,00K	5,00K
Superaquecimento total ΔT_{V1h}	20,00K	20,00K
Modo de operação	Automático	Automático
Fonte de alimentação	230 V – 3 - 60 Hz	230 V – 3 - 60 Hz
Superaquecimento útil ΔT_{o2h}	6,00K	6,00K

Fonte: Bitzer.

Ponto de operação do compressor e limites de aplicação do R-290 média temperatura

Figura 244 – Ponto de operação e limites de aplicação do compressor do R-290 média temperatura



Fonte: Bitzer.

Interpretação dos limites operacionais calculados para o circuito em cascata do R-290 média temperatura

1. O compressor pode ser usado até uma temperatura de evaporação t_0 = 10 °C, com motor de acionamento de 12 HP, ou até 0 °C, com motor de acionamento de 8 HP. Acima dessa temperatura, o motor entraria em condição de sobrecarga devido à alta densidade do gás (potência de acionamento alta). Além disso, a refrigeração não é factível nessa faixa de temperatura;
2. O compressor pode ser usado até uma temperatura de condensação t_c = 65 °C (a 100%) e a temperaturas de evaporação menores com temperaturas de condensação reduzidas. Esse limite é imposto pela pressão operacional máxima permitida na alta pressão e, em segundo lugar, pela temperatura crítica de gás quente t_{V2h}. Na câmara de compressão, é esperada uma temperatura de gás ainda maior, cerca de 20 a 30 K acima da medição feita no tubo de descarga do compressor. Provavelmente, haverá coqueifação. Além disso, as temperaturas altas nas juntas de pressão podem promover reações químicas na mistura de fluido refrigerante, lubrificante, água e sujeira. Temperaturas de gás muito quentes têm um efeito negativo na vida útil do compressor;
3. Na temperatura de vapor de sucção t_{V1h} acima de 0 °C (M2) ou 10 °C (M1) acima da linha (3), o compressor pode ser usado somente em conjunto com uma unidade de refrigeração adicional (e menos superaquecimento de gás

de sucção), pois, de outra forma, haverá perigo de coqueifação ou carga térmica excessiva do compressor; e

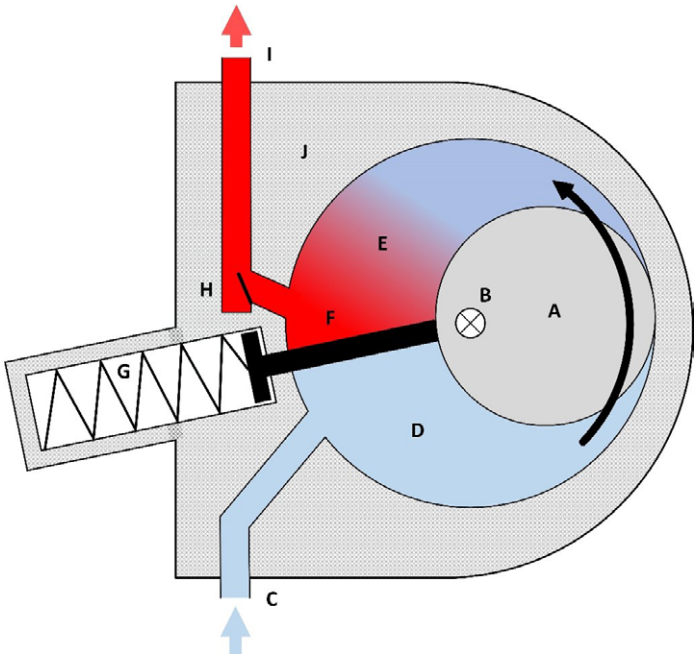
4. O compressor está aprovado para operação até uma temperatura de evaporação t_0 = -40 °C. Abaixo dessa temperatura, a temperatura do gás quente seria muito alta. Além disso, o fluxo do fluido refrigerante entregue teria um volume criticamente reduzido.

8.1.6 Compressor de pistão rotativo

No compressor de pistão rotativo, o pistão cilíndrico é passado por um excêntrico na parede do cilindro. Uma palheta deslizante fixa acionada por mola (lâmina) montada na carcaça divide a câmara de trabalho em uma câmara de sucção e uma de compressão (veja Figura 245).

Os compressores herméticos dos anos 1930 eram majoritariamente compressores de pistão rotativo. Depois, eles foram quase que totalmente substituídos por compressores alternativos devido à precisão alta de manufatura exigida. Somente nos últimos anos a produção aumentou novamente. Esse tipo de compressor encontrou, por exemplo, um campo extenso de aplicação na tecnologia de RAC, incluindo a aplicação do R-744 (CO_2). Mas, mesmo com as tecnologias de projeto e produção disponíveis hoje, esse tipo de compressor exige um nível muito alto de precisão na manufatura.

Figura 245 – Compressor de pistão rotativo



A	Pistão	**F**	Palheta (lâmina) fixa
B	Eixo de rotação	**G**	Mola de tensão
C	Porta de sucção	**H**	Válvula de palheta (proteção contra refluxo)
D	Espaço de trabalho – sucção (câmara)	**I**	Porta de descarga
E	Espaço de trabalho – compressão (câmara)	**J**	Carcaça

Fonte: Rolf Huehren/HEAT GmbH.

Um compressor rotativo consiste, essencialmente, em uma carcaça, o rotor montado excentricamente (A) e uma palheta deslizante (F), que fica dentro da carcaça junto a uma mola de tensão (G). A mola garante que a palheta deslizante (F) fique sempre pressionada contra o rotor.

O rotor gira no sentido anti-horário sobre seu eixo (B) e empurra o gás comprimido, que estava sendo comprimido pelo rolo excêntrico, para fora da linha de pressão (I) acima da válvula deslizante de separação. Ao mesmo tempo o gás sugado abaixo da válvula deslizante de separação (palheta), flui para o cilindro (C).

A palheta de separação se move para frente e para trás em sincronia com o rotor rotativo, selando o lado da sucção (D) do lado da descarga (E) a cada vez.

O fluxo do volume geométrico pode ser usado até quase 100%. Quase não há perdas por fricção na parede devido ao fluxo de compressão do vapor do fluido refrigerante, e o grau de eficiência volumétrica permanece aproximadamente o mesmo também com as mudanças nas condições operacionais. Devido ao simples equilíbrio da massa, esses compressores funcionam silenciosamente, mesmo a frequências rotacionais altas.

8.1.7 **Compressor do tipo scroll**

O compressor do tipo scroll hermético consiste em duas espirais involutas, uma fixa e outra que rola sobre ela. Dessa forma, uma série de câmaras de gás em forma de foice são formadas entre as duas espirais, que se movem de fora para dentro, enquanto seu volume diminui. Quando o centro das formas espirais é alcançado, o gás é descarregado por meio de uma abertura centralizada.

A compressão simultânea em vários bolsos resulta em um processo muito uniforme, quase contínuo. A superfície das duas espirais deve ser extremamente suave, e, somente após um determinado processo de amaciamento, tal compressor alcança sua capacidade total de compressão.

Esse projeto de compressor é menos sensível ao golpe de aríete (ou golpe de líquido) do que os compressores de pistão. Devido ao projeto em espiral e ao movimento das espirais, partículas do sistema também podem ser toleradas.

Há uma tendência clara nos compressores de fluido refrigerante de deixar de usar os compressores de pistão e passar a adotar os compressores do tipo scroll, como se vê na Figura 246.

As vantagens genéricas dos compressores do tipo scroll são óbvias:

- Menos partes móveis, o que resulta em menor necessidade de reparos;
- Projeto totalmente hermético, o que resulta em menos perdas de fluido refrigerante;
- Peso e tamanho significativamente menores, o que faz com que sejam mais fáceis de manusear na hora da substituição; e
- Menos emissões sonoras.

Os compressores do tipo scroll são relativamente resistentes ao golpe de aríete e funcionam com pouquíssima vibração.

O fato de que o gás é completamente empurrado para fora com compressão significa que não há reexpansão (não há espaço livre, como nos compressores de pistão) e a eficiência volumétrica é alta.

Uma válvula sem retorno é instalada na linha de descarga. Quando o compressor é desligado, o gás comprimido preso nas bolsas de gás se expande novamente e faz com que o scroll em movimento retroceda, e isso cria um ruído. Apesar de não ser algo prejudicial, o incômodo é reduzido nos modelos maiores com o uso de um dispositivo de freio. Para isso, há um rotor na base do tanque de óleo que causa o efeito de freio na rotação reversa devido à resistência do óleo.

Isso também promove a equalização da pressão entre os lados da pressão alta e da baixa, para que o compressor comece a funcionar descarregado.

A compressão do fluido refrigerante com compressores do tipo scroll acontece somente no sentido correto da rotação. O sentido da rotação não é importante para modelos de compressor monofásicos, que sempre começam e continuam a funcionar no sentido correto da rotação.

Para modelos de compressor trifásicos, o sentido da rotação dos scrolls depende do campo rotativo aplicado do motor. Se as três fases forem conectadas aleatoriamente, há uma chance de 50% de o compressor funcionar no campo rotativo errado. É importante fazer as anotações apropriadas após o comissionamento e deixar as instruções sobre o sentido correto da rotação em local adequado.

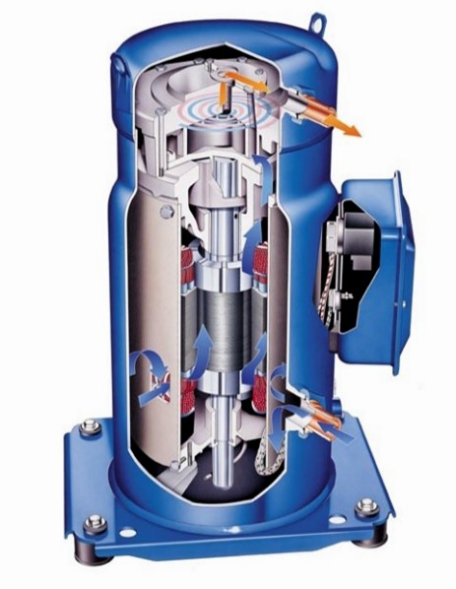
Para verificar o sentido correto da rotação, ao ligar o compressor, veja se a pressão de sucção cai e a pressão de descarga sobe.

Além disso, por causa da geometria dos compressores do tipo scroll, eles têm uma taxa fixa entre os fluxos de volume de fluido refrigerante de entrada e de saída e, assim, uma taxa de pressão incorporada.

Os compressores do tipo scroll para refrigeração profunda, assim, têm sua própria geometria de scroll. Durante a compressão, o fluido refrigerante é injetado, para que a temperatura de compressão final não seja muito alta.

Os compressores scroll estão disponíveis somente em projeto hermético.

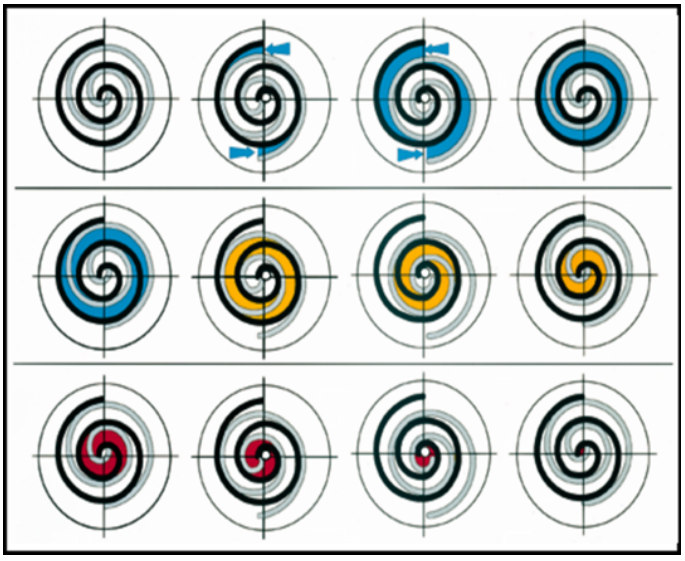
Figura 246 – Compressor de pistão rotativo



Fonte: Danfoss.

A Figura 247 descreve a sequência de sucção-compressão do fluido refrigerante em compressor do tipo scroll.

Figura 247 – Sequência de sucção-compressão do fluido refrigerante em compressor do tipo scroll



Fonte: Danfoss.

1. Enquanto a espiral móvel gira na espiral estacionária, o gás entra pelas aberturas na borda exterior (seta azul);
2. A válvula de entrada se fecha, e o gás fica sob baixa pressão na bolsa maior (área marcada em azul);
3. Conforme a espiral continua rodando, o gás é comprimido em bolsas cada vez menores (áreas marcadas em amarelo);
4. Quando o gás finalmente alcança a abertura central, ele já atingiu a pressão alta (marcada em vermelho); e
5. Durante a operação normal, todas as bolsas de gás ficam em estágios de compressão diferentes, todas as vezes, para que o processo de entrada/descarga seja contínuo.

8.1.8 Compressor de palhetas rotativas

Todos os compressores de palhetas rotativas funcionam de acordo com o princípio de deslocamento positivo, como os compressores alternativos. Nos compressores de pistão rotativo, o pistão cilíndrico gira ao redor de um eixo montado excentricamente sobre o eixo do cilindro, como mostrado na Figura 248.

O rotor (A) é montado excentricamente, mas contém várias válvulas deslizantes. As palhetas de separação (F) formam espaços entre elas, e o volume dos espaços muda conforme o rotor gira.

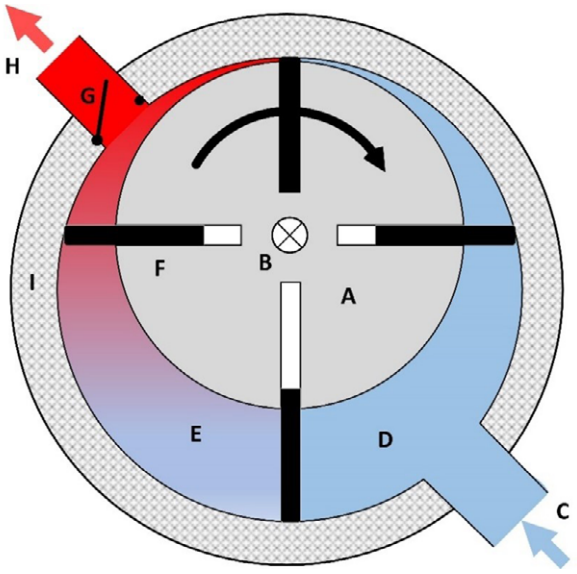
O volume da câmara aumenta no lado da sucção (C = porta de sucção, câmaras azuis (D)) até um valor máximo e diminui novamente no lado da pressão (câmaras vermelhas (E)) até que o gás comprimido seja descarregado através da porta de pressão (H).

As palhetas são colocadas em slots da palheta usinados e são acionadas por mola ou não, dependendo do projeto. No projeto sem acionamento por mola, as palhetas são forçadas para fora contra a parede do cilindro pela força centrífuga do rotor rotativo.

Os compressores de célula são usados como compressores de reforço nos estágios de baixa pressão dos sistemas de refrigeração em vários estágios para aplicações industriais. Os compressores de pistão rotativo para fluidos refrigerantes no mercado são adequados para diferenças de pressão de aproximadamente 2 a 3 bar e taxas de pressão de 5 a 6. Assim, eles são usados principalmente como compressores booster.

Outro tipo de aplicação desse projeto de máquina é o uso para bombas de vácuo. As bombas de vácuo geralmente têm uma palheta deslizante (para bombas de vácuo de um estágio) ou duas palhetas deslizantes (para bombas de vácuo de dois estágios) em dois rotores separados dentro da bomba.

Figura 248 – Compressor de palheta (lâmina) rotativo



A	Rotor	**F**	Palheta (lâmina)
B	Eixo de rotação	**G**	Válvula de palheta
C	Porta de sucção	**H**	Porta de descarga
D	Espaço de trabalho – sucção (câmara)	**I**	Carcaça
E	Espaço de trabalho – compressão (câmara)		

Fonte: HEAT GmbH.

8.1.9 **Compressor de parafuso**

O compressor de parafuso passou por um desenvolvimento muito dinâmico na última década. Hoje, os compressores de parafuso são feitos para taxas de fluxo de aproximadamente 80 m^3/h a 5.000 m^3/h e, assim, avançaram no campo das aplicações de compressores alternativos semi-herméticos, de um lado, e dos gran-

des turbocompressores, do outro. A capacidade dos compressores menores (até aproximadamente 200 m^3/h) é regulada alternando-se os canais de alívio internos, enquanto os compressores maiores são regulados por válvulas de controle (ajuste de volume de sucção).

Os compressores para parafusos de dois eixos consistem em dois rotores de formatos diferentes (pistões rotativos) que giram em um invólucro fechado sem terem contato um com o outro. O rotor macho principal tem lóbulos convexos (dentes) no plano transversal, enquanto o rotor fêmea tem lóbulos côncavos (veja também a Figura 250).

O projeto típico atual consiste em quatro lóbulos, no rotor macho, e seis lóbulos, no rotor fêmea. Em uma rotação dos rotores, as lacunas entre os dois lóbulos mudam como resultado do formato do parafuso de tal forma que elas aumentam em uma extremidade (sucção) e diminuem (compressão e descarga) na outra. A taxa de compressão é determinada pelas bordas de controle fixas.

Os compressores de parafuso atuais são projetados para funcionarem com um fluxo alto de óleo pelo parafuso. O óleo deve lubrificar, vedar e, especialmente, diminuir a temperatura da parte mecânica. Essa refrigeração reduz consideravelmente a temperatura de compressão final, de forma que o limite tecnicamente razoável da taxa de pressão máxima nos compressores de parafuso é cerca de p_C/p_O = 16 (até 20). O óleo, na maioria dos casos, será mantido por um separador de óleo interno.

Os compressores de parafuso estão disponíveis nos tipos de construção hermético, semi-hermético e aberto e podem ser usados para quase todos os tipos de fluidos refrigerantes. Da Figura 249 até a Figura 251 são mostrados diferentes tipos de compressores de parafuso.

Os compressores de parafuso têm as seguintes vantagens:

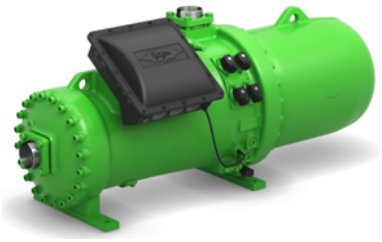
- Pistões rotativos sem forças e torques de massa livre durante a operação (nenhuma fundação de máquina cara) e nenhuma válvula em funcionamento;
- Relativamente poucos componentes;
- Confiabilidade e durabilidade extremamente altas;
- Não há reexpansão (nenhum espaço livre, ao contrário dos compressores de pistão), e a eficiência volumétrica é alta;
- Alta eficiência volumétrica, mesmo com taxa de pressão operacional extrema;
- Nenhuma perda de calor friccional;
- Limitação da temperatura de compressão final por injeção de óleo intensa; e
- Adequado à maioria dos fluidos refrigerantes (incluindo fluidos refrigerantes naturais).

Desvantagens dos compressores de parafuso:

- Sistema de separação de óleo complexo; e
- Demandas maiores quanto aos óleos lubrificantes em comparação com os compressores de pistão alternativos convencionais (comportamento de solubilidade).

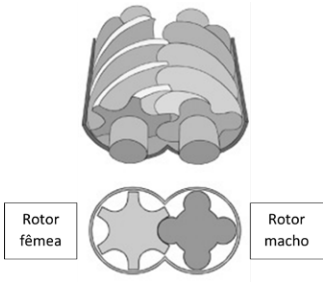
Se a construção for do tipo aberto, o eixo do compressor será uma fonte latente de vazamentos de fluido refrigerante, de modo que uma abordagem holística da hermetização do sistema de refrigeração é questionável para essa tecnologia.

Figura 249 – Compressor de parafuso semi-hermético



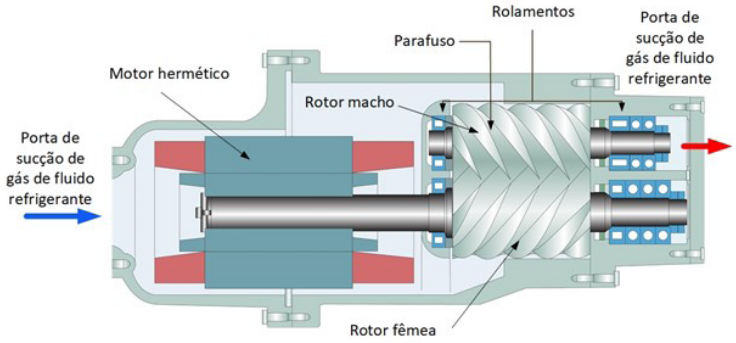
Fonte: Bitzer.

Figura 250 – Diagrama esquemático de um compressor de parafusos gêmeos



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 251 – Compressor de parafusos gêmeos semi-hermético refrigerado a gás de sucção



Fonte: TRUIC / HEAT GmbH.

A lacuna estreita resultante dos perfis de rotores de parafuso (fêmea para macho) não tocando um ao outro ou a parede é fechada pela injeção de grandes quantidades de óleo. O vapor do fluido refrigerante é sugado de um lado e empurrado totalmente do outro por meio de aberturas nas laterais frontais da carcaça, de modo que não haja retroexpansão. A taxa de compressão é determinada pelas bordas de rotor fixas. A posição dessas bordas do rotor determina a redução em volume e, assim, a compressão fixa e a taxa de deslocamento. É por isso que os compressores de parafuso podem ser usados somente na aplicação destinada a eles por projeto (aparelhos de ar condicionado, refrigeração de média temperatura e refrigeração de baixa temperatura).

8.1.10 **Gerenciamento de óleo do compressor**

Geralmente, o óleo no compressor do fluido refrigerante serve para lubrificar os rolamentos e os cilindros, mas tem a função adicional de dissipar o calor desses pontos de fricção (refrigeração). Em todos os compressores de deslocamento (exceto os compressores de diafragma, de que não trataremos mais aqui), o óleo melhora a vedação das câmaras de sucção e compressão.

Os óleos do compressor de refrigeração têm uma função especial no campo dos lubrificantes e da tecnologia de lubrificação. A longa vida de serviço esperada dos compressores de refrigeração é estritamente relacionada aos requisitos de alta qualidade para os óleos lubrificantes usados. A interação com outras substâncias, especialmente com o fluido refrigerante a temperaturas extremamente altas e baixas, faz demandas muitos específicas para a tecnologia de lubrificação e para o óleo lubrificante no circuito de refrigeração.

Devido ao projeto do compressor, a eficiência do separador de óleo, o projeto do sistema de refrigeração, os parâmetros operacionais, a seção de fluido refrigerante/óleo, etc., há quantidades diferentes de óleo em circulação no sistema, e isso é considerado "transferência de óleo".

O termo "transferência de óleo", no contexto de um compressor de fluido refrigerante, refere-se ao transporte do óleo lubrificante do compressor até o circuito de refrigeração. Geralmente, é inevitável que uma pequena quantidade de óleo seja transferida com o fluido refrigerante para o sistema – é o que chamamos de "transferência de óleo".

O conteúdo de óleo no sistema pode ser menos de 1%, ou pode haver quantidades maiores (3 a 6%) de óleo em circulação. Para garantir a circulação de óleo e o retorno do óleo da "parte fria" do sistema, óleos do compressor de refrigeração com boa miscibilidade com o respectivo fluido refrigerante geralmente são usados.

A transferência de óleo pode ter vários efeitos no sistema:

1. Lubrificante fora do compressor:
   Em certas partes do ciclo (como no evaporador ou no condensador), o óleo é indesejável porque pode reduzir a eficiência da transferência de calor.
2. Retorno do óleo:
   Como a transferência de óleo é normal, o sistema deve ser corretamente projetado, especificamente a tubulação de transferência de fluido refrigerante, para garantir que o óleo retorne ao compressor para manter a lubrificação adequada.

Transferências de óleo excessivas ou retornos fracos do óleo podem levar a problemas como menor eficiência do sistema ou mesmo danos ao compressor.

A transferência de óleo é influenciada pela formação de espuma intensa do óleo devido ao fluido refrigerante dissolvido no cárter do compressor, particularmente durante a partida. Abaixando-se a pressão do cárter, o fluido refrigerante se evapora e o óleo se resfria. Se ele não mantiver o fluxo suficientemente livre (devido ao fluido refrigerante dissolvido), seu retorno ao compressor não é garantido. No compressor, por outro lado, é necessária uma alta viscosidade (da mistura óleo/fluido refrigerante).

A configuração ideal da viscosidade operacional do óleo lubrificante sob a influência do fluido refrigerante (dependendo da pressão e da temperatura) é, assim, sempre uma relação entre a viscosidade mínima exigida para a lubrificação do compressor e o fluxo exigido para a circulação adequada (transferência) no circuito a baixas temperaturas.

A Figura 252 mostra partes importantes do sistema de gerenciamento de óleo para o circuito do R-744 (CO_2) no sistema de refrigeração em cascata de um mini supermercado.

Transferência de óleo	No contexto de um compressor de fluido refrigerante, o termo refere-se ao transporte do óleo lubrificante em solução com o fluido refrigerante do sistema saindo do cárter, passando pelo sistema inteiro e voltando ao compressor.

8.1.10.1 **Falhas na pressão do óleo/lubrificação insuficiente**

Causas:

1. Bomba de óleo com defeito;
2. Peneira de óleo entupida;
3. Volume de óleo insuficiente no compressor com comissionamento;
4. Óleo com viscosidade errada;
5. Retorno do óleo insuficiente para o compressor;
   - Velocidade insuficiente do gás;
   - Erros de instalação (sifão de óleo faltando ou com dimensões incorretas);
   - Tempo de funcionamento insuficiente do compressor;
   - O regulador do nível do óleo não se abre; e
   - Lacuna da miscibilidade do óleo;
6. Velocidade muito baixa do compressor com controle de conversor de frequência;
7. Enriquecimento do fluido refrigerante no tanque de óleo (cárter):
   - Compressor instalado em um local muito frio;
   - Defeito no aquecedor do tanque de óleo, não conectado (espuma do fluido refrigerante);
   - Superaquecimento muito baixo no evaporador;
   - Agulha da boia do separador de óleo bloqueada; ou
8. Vazamento de óleo.

Falta de óleo	Mesmo nos maiores vazamentos de fluido refrigerante, escapa um pouco de óleo! Verifique se há deslocamento de óleo no sistema.

Efeitos:

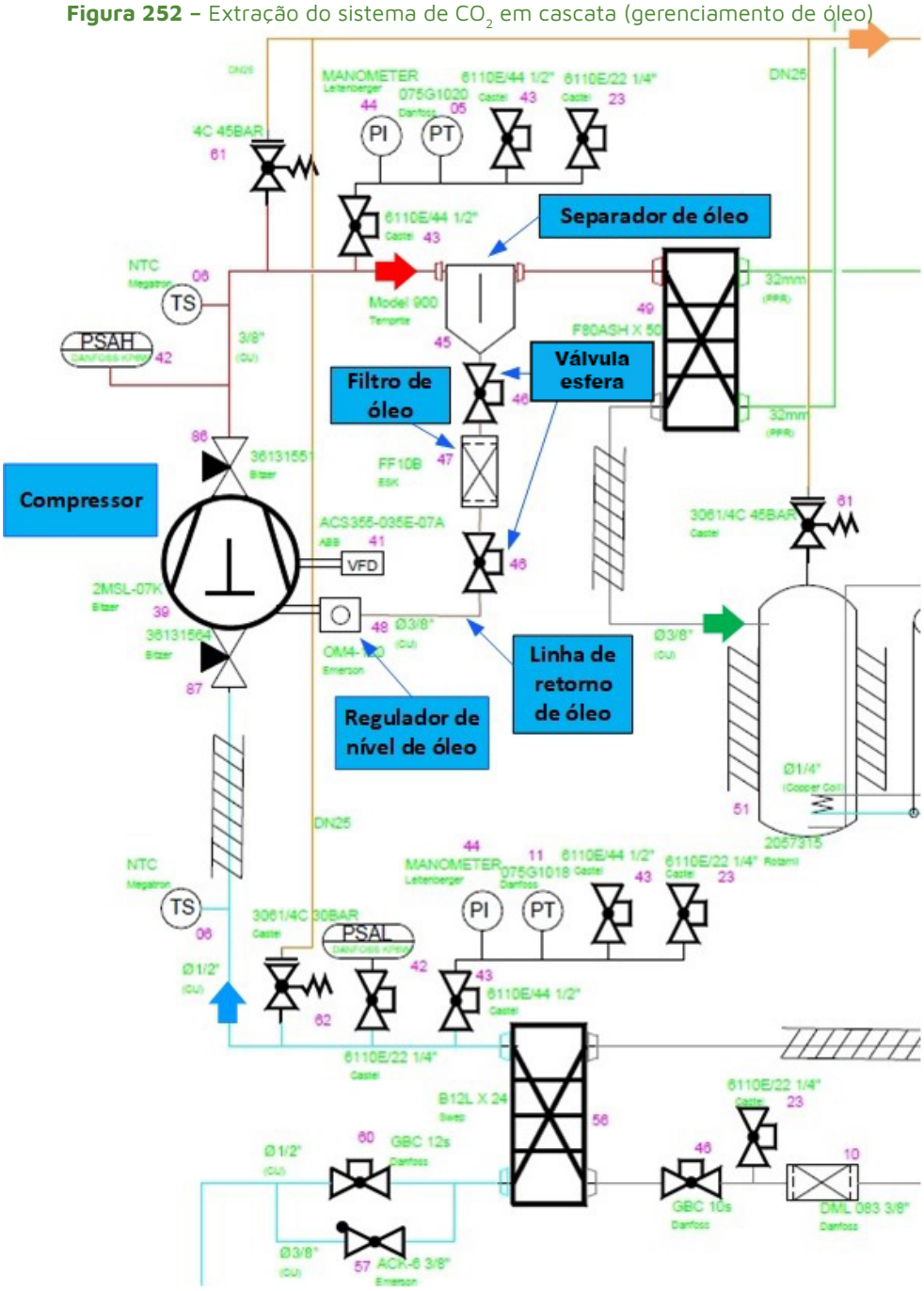
1. O pressostato do diferencial do óleo desliga o compressor;
2. Danos ao rolamento;
3. Pistão preso na alma do cilindro; ou
4. Compressor travado mecanicamente – danos ao enrolamento se não for desligado pela proteção do enrolamento.

8.1.10.2 **Defeitos devido à sobrecarga de óleo**

1. Transferência de calor piorada nos trocadores de calor – capacidade de refrigeração reduzida e maior pressão de condensação;
2. Dano à placa da válvula, quebra da biela devido ao golpe de óleo; ou
3. Descolamento de base e pés em compressores herméticos.

Verificação de óleo	• Verifique o nível de óleo no compressor somente quando o compressor estiver funcionando e o superaquecimento no evaporador estiver correto; e • No caso de sistemas compostos, todos os compressores podem ser forçados a serem ligados por um breve período para retorno do óleo.

Figura 252 – Extração do sistema de CO_2 em cascata (gerenciamento de óleo)



Fonte: Eletrofrio.

8.1.10.3 **Aquecedor do cárter**

Em compressores com lubrificação da circulação de pressão com bomba de óleo e pressostatos de pressão diferencial de óleo, o óleo é aquecido por um aquecedor do cárter quando o compressor está ocioso. Como resultado, não há uma absorção maior do fluido refrigerante pelo óleo durante a ociosidade, e o óleo não forma espuma, significativamente, durante o processo de partida.

Em algumas aplicações, o aquecedor do tanque de óleo fica constantemente ligado durante a operação normal.

Há dois tipos principais de aquecedores de tanque de óleo:

1. Aquecedor do cárter instalado internamente no reservatório de óleo do cárter; e
2. Aquecedor do cárter montado externamente na carcaça do compressor (compressor hermético).

Figura 253 –Aquecedor interno e externo do cárter



Fonte: Backer Hotwatt.

Figura 254 – Aquecedor externo do cárter



Fonte: Belly Brand.

8.1.10.4 **Separador de óleo**

Em todos os sistemas de refrigeração, um pouco do lubrificante do compressor entra no circuito de refrigeração com o gás do fluido refrigerante comprimido. Um nível alto de transferência de óleo geralmente tem um efeito negativo na capacidade de refrigeração. Dependendo das condições operacionais, uma falta de lubrificante no cárter do compressor ocorrerá com as seguintes consequências:

• Pressão do óleo muito baixa	• Danos ao cilindro/pistão
• Transporte insuficiente do lubrificante dentro do compressor	• Danos ao motor
• Danos ao rolamento	

A transferência de óleo para os trocadores de calor (evaporador e condensador) afetará a transferência de calor resultando em perda de eficiência e tempo de funcionamento mais longo do compressor.

Os separadores de óleo podem agir como salvaguarda contra a transferência de óleo e os danos ao compressor. No geral, os separadores de óleo são extremamente recomendáveis sempre que as seguintes aplicações forem consideradas e/ou houver recursos específicos no sistema.

• Sistemas com extensa tubulação distribuída	• Sistemas com baixa temperatura de evaporação
• Controle de capacidade do sistema	• Sistemas de duplo estágio
• Sistemas de compressores em paralelo	• Sistemas em cascata

• Sistemas inundados	• Sistemas booster
• Diferença grande de altitude entre o compressor e o evaporador	• Compressor com transferência de óleo alta

Os separadores de óleo são obrigatórios em sistemas com amônia.

O separador de óleo usado para o sistema do R-744 baixa temperatura funciona com o chamado princípio coalescente.

Separador de óleo de coalescência	Coalescência é o processo de causar aglomeração (ajuntamento) de aerossóis de óleo líquido para formar gotículas maiores que, então, ficam grandes o suficiente para serem drenadas gravitacionalmente (separadas).

O separador de óleo remove eficientemente o óleo do gás de descarga do compressor de dentro dos elementos do filtro e devolve o óleo através de uma válvula de boia de alta precisão até o cárter ou um sistema de controle de óleo. A eficiência do recolhimento do óleo depende da redução da velocidade do gás no separador em si. Desde que um separador de óleo corretamente dimensionado esteja instalado, essa eficiência será de 97% a 99%.

O tamanho da conexão do separador de óleo não deve ser nunca menor do que o tamanho da linha de descarga, que foi selecionado de acordo com as regras técnicas das boas práticas de refrigeração.

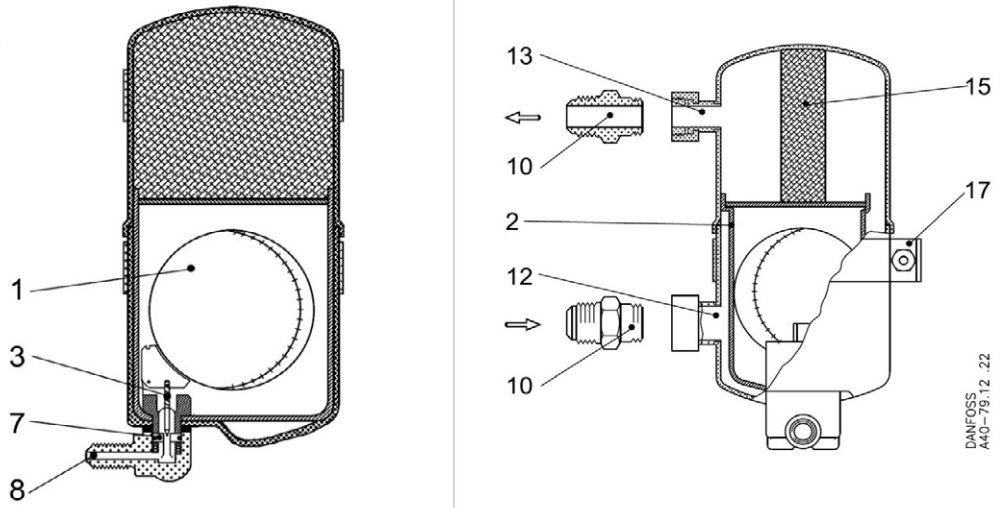
Antes da instalação do separador de óleo no sistema, a quantidade correta do óleo da primeira carga (óleo de refrigeração selecionado para o compressor) deve ser despejada na conexão da porta "IN" (Entrada) do separador de óleo.

Figura 255 – Exemplo de separador de óleo



Fonte: Danfoss OUB 1.

Figura 256 – Seção transversal de um separador de óleo



1	Esfera flutuante	**10**	Adaptador rosqueado de conexão
2	Reservatório de óleo	**12**	Conexão de entrada
3	Agulha da boia	**13**	Conexão de saída
7	Bocal	**15**	Concentrador de óleo (separador de coalescência)
8	Conexão de óleo de retorno	**17**	Alça de fixação

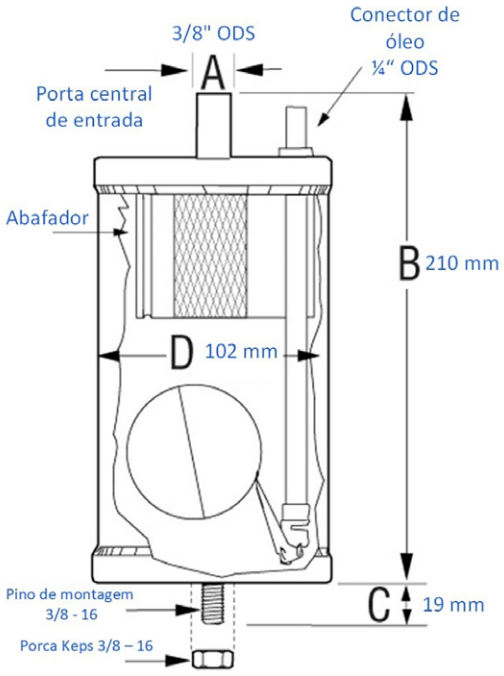
Fonte: Danfoss.

Figura 257 – Separador de óleo do circuito do R-744 – sistema em cascata



Fonte: Temprite.

Figura 258 – Separador de óleo do circuito do R-744 – sistema em cascata – vista em corte dimensional



Fonte: Temprite.

O separador de óleo do R-744 baixa temperatura (em cascata) do fabricante Temprite, modelo 900, na verdade, funciona de acordo com o mesmo princípio coalescente indicado e descrito anteriormente.

Instruções de instalação:

Os separadores da série 900 têm um filtro padrão Temprite instalado de fábrica que pega toda a sujeira e partículas de até 0,3 mícrons. Os filtros típicos pegam apenas de 50 mícrons para cima.

1. Coloque o separador em uma área morna, livre de correntes de ar, ou envolva o separador com isolamento;
2. Instale o separador na posição vertical, perto do compressor, entre o compressor e o condensador e acima (antes) de qualquer tubulação de desvio;
3. Prenda e apoie adequadamente o separador e a tubulação para minimizar as vibrações em potencial;
4. Os tubos que entram e saem do separador devem ser do mesmo diâmetro que o tamanho da conexão do separador;
5. Carregue o separador com a quantidade recomendada de óleo através da conexão de saída antes de iniciar o sistema. A pré-carga do separador de óleo consiste em 0,445 litro de óleo Bitzer;
6. Mantenha o separador refrigerado durante a brasagem;
7. Se o separador de óleo estiver mais baixo do que o condensador, tome cuidado para manter o fluido refrigerante líquido fora do separador;
8. Verifique a queda do nível e da pressão do óleo no separador em novas instalações frequentemente;
9. Troque o separador se a carga de sujeira estiver acima do diferencial de 13 PSIG/0,9 bar no separador; e
10. Após a queima do compressor, o separador deverá ser trocado.

Fonte: Rolf Huehren.

Compressor com transferência de óleo alta:

Como acontece com qualquer separador de líquido, a função de um separador de óleo é baseada na redução da velocidade ou em uma alteração repentina no sentido do fluxo de gás. Mas também há separadores de óleo que funcionam de acordo com o princípio do ciclone, bem como projetos com elementos de filtro integrados para separação fina.

No caso de compressores de parafuso compactos, o separador de óleo é integrado diretamente à carcaça do compressor.

Descrição funcional (veja Figura 256):

O gás do fluido refrigerante de entrada (12) é direcionado primeiro ao redor do cilindro de óleo (2) e aquece o reservatório de óleo. A solubilidade do óleo é muito baixa na temperatura alta resultante. O óleo entrando no cárter do compressor não pode, assim, causar espumas não desejadas, devido às altas proporções de óleo.

O óleo é separado do fluido refrigerante na malha metálica do concentrador de óleo (15) e é coletado no reservatório de óleo (2). O concentrador funciona de fora para dentro, de modo que as gotículas de óleo ficam cada vez maiores porque elas coalescem conforme se movem através do concentrador. Quando o óleo alcança a parte externa, a gravidade permite que ele seja drenado para o reservatório. O fluido refrigerante, já quase completamente sem óleo, deixa o separador de óleo na conexão de saída (13).

Quando o nível do óleo do reservatório (2) alcança determinado nível, a boia (1) abre o bocal (7) e a linha de retorno do óleo (8). Então, o diferencial de pressão entre a pressão de condensação no separador de óleo e a pressão no cárter do compressor força o óleo para fora do reservatório e dentro do compressor até que a boia se feche novamente.

Instruções de instalação:

- O separador de óleo deve ser instalado na linha de descarga imediatamente após o compressor. Isso garante que o óleo seja expulso quando estiver tão aquecido quanto possível, isto é, com o menor conteúdo possível de fluido refrigerante e alimentado de volta para o compressor;
- Os separadores de óleo são dimensionados de acordo com a capacidade máxima de refrigeração;
- Cada separador de óleo deve ser preenchido com a quantidade prescrita de óleo de refrigeração antes da instalação. Deve ser usado o mesmo tipo de óleo que foi usado para abastecer o compressor;
- A posição da instalação prescrita deve ser respeitada;
- A linha de retorno do óleo deve ser direcionada para o cárter do compressor. Se não houver conexão, o óleo também poderá ser alimentado na linha de sucção logo antes do compressor;
- Se a diferença entre a temperatura de condensação e a temperatura ambiente for muito grande, o separador de óleo deverá ter isolamento térmico;
- Quando instalado em ambiente externo, dependendo da temperatura externa possível, pode ser útil aquecer o separador de óleo quando o sistema estiver ocioso;
- Se houver risco de migração de fluido refrigerante quando o sistema estiver ocioso, será necessário instalar uma válvula de retenção entre o separador de óleo e o condensador. Uma alternativa é instalar uma válvula solenoide na linha de retorno do óleo. Essa válvula solenoide é fechada quando o compressor é desligado; e
- Para evitar que o fluido refrigerante líquido, que migrou para o separador de óleo durante períodos longos de desligamento, entre no compressor durante a partida, a válvula solenoide é aberta após um atraso.

8.1.10.5 **Filtro de óleo**

No geral, os filtros podem ser aplicados em qualquer lugar do sistema de refrigeração. O filtro é feito de uma malha fina. Feito todo em aço, esse filtro serve para todos os fluidos refrigerantes, incluindo o R-744 (mas excluindo o R-717) e todos os óleos de refrigeração. Uma aplicação comprovada dos filtros é imediatamente acima dos reguladores de nível de óleo e válvulas de expansão eletrônicas. Partículas maiores que 50 µm são filtradas.

Para a proteção dos reguladores eletrônicos de nível de óleo, foram desenvolvidos recentemente tanques mecânicos com o recurso de capturar contaminantes maiores que 5 µm. Assim, o filtro pode proteger eficientemente a válvula solenoide do regulador.

Figura 259 – Filtro de óleo



Fonte ESK Schultze.

Parâmetros operacionais do fabricante de equipamento original (OEM):

- Filtro modelo FF-10B, ESK Schultze GmbH;
- Tamanho 3/8";
- Volume 0,34 litro;
- Fluidos refrigerantes permitidos: HCFC, HFC, CFC, R-744;
- Pressão permitida (PS) máxima de 53 bar na temperatura operacional máxima de 70 °C;
- Pressão permitida (PS) máxima de 39 bar nas temperaturas operacionais entre -10 °C e -40 °C;
- Pressão de teste: 60 bar;
- O sentido do fluxo deve ser assegurado.

Filtro de óleo	O filtro tem uma malha de filtragem de óleo e se parece muito com o filtro secador do fluido refrigerante, mas não tem capacidade de restringir a umidade.

8.1.10.6 Regulador do nível de óleo (dispositivo de gerenciamento de óleo)

Com o regulador de nível de óleo, o sistema tem um separador de óleo na linha de descarga. Ele coleta o óleo descarregado pelos compressores. Uma linha de compensação com óleo é direcionada para o compressor. O compressor tem um dispositivo de gerenciamento de óleo, que mede o nível de óleo dentro do cárter. Se o nível de óleo do compressor estiver muito baixo, uma válvula solenoide abre a linha de compensação. Como a linha de equalização está sob alta pressão, o óleo é alimentado no cárter do compressor. Quando o nível de óleo atinge seu estado normal, a válvula solenoide se desliga.

Dependendo do compressor e de se ele tiver um visor de líquido no cárter, o nível e a cor do óleo devem ser monitorados como parte da manutenção de rotina. Entretanto, nos sistemas de RAC centralizados em que os compressores são colocados na tubulação em paralelo, o monitoramento e o controle do nível de óleo são essenciais, pois garante que todos os compressores serão lubrificados com os níveis de óleo corretos. Os reguladores de nível de óleo são usados para esse fim.

Os dispositivos de controle de nível de óleo mais comuns são reguladores de óleo mecânicos com níveis fixos e ajustáveis, eletromecânicos e eletrônicos (veja a Figura 260 e a Figura 261).

Figura 260 – Regulador eletrônico de nível de óleo para aplicação subcrítica do R-744



Fonte: Emerson - Copeland OM4-120.

Regulador de nível de óleo eletrônico para compressor do R-744 Bitzer. 2MSL-07K (sistema em cascata)
Os sistemas de controle de nível de óleo TraxOil da Copeland contam com uma unidade de controle autônoma e robusta que injeta óleo diretamente no cárter do compressor através da válvula solenoide integrada.

A função do visor de líquido permanece totalmente intacta. Os LEDs (*Light Emitting Diode* ou Diodo Emissor de Luz) indicam o nível de óleo e o status do sistema. A função de alarme integrada com desligamento do compressor completa a proteção segura e comprovada do compressor.

- Indicador de nível de óleo de três zonas com sensor hall para medição precisa do nível do óleo;
- Nenhuma leitura falsa devido a espuma de óleo ou de incidência de LEDs de alarme, status operacional e tensão de suprimento de nível de três zonas 24 VCA ou 230 VCA;
- Relé de saída com contato de comutação para desligamento ou alarme do compressor (230 VCA / 3 A);
- Montagem frontal fácil e rápida em visores de líquido para óleo já existentes sem porcas de fixação.

Figura 261 – Regulador mecânico de óleo modelo S-9010



Fonte: Henry.

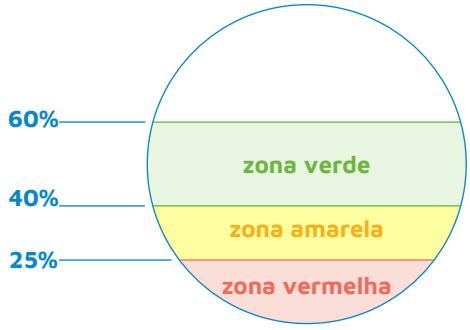
O regulador mecânico de nível de óleo mantém um nível de óleo fixo em 1/2 do visor de líquido e o modelo S 9010 mantém o nível de óleo em qualquer diferencial de pressão.
As versões padrão do regulador são fabricadas com um flange parafusado de 3/4 e, para instalações compactas, com um encaixe de rosca.
As válvulas de flutuação de precisão controlam o nível de óleo no cárter do compressor. A versão ajustável é para uso quando compressores conectados em paralelo possivelmente trabalham com diferentes pressões de sucção (sistemas de dois estágios, Boosters e operação via satélite).

Os reguladores mecânicos de nível de óleo são projetados principalmente para o uso com compressores alternativos. Eles não são recomendados para compressores do tipo scroll. Há dois tipos principais: de nível fixo e de nível ajustável. O óleo é alimentado no regulador por uma conexão de entrada. Uma válvula de agulha interna permite ou bloqueia todo o suprimento de óleo para o regulador.

O regulador eletromecânico de nível de óleo controla o nível de óleo para compressores herméticos, semi-herméticos, alternativos e scroll, usando um interruptor de boia e uma válvula solenoide. Ele é energizado, alimentando assim o óleo no corpo do regulador.

O regulador eletrônico de óleo mantém o nível de óleo entre 40% e 60% da altura do visor de líquido. Uma boia magnética muda de posição de acordo com o nível do óleo, um controlador eletrônico abre ou fecha uma válvula solenoide integrada para o suprimento de óleo de um reservatório de óleo compartilhado para o reservatório do compressor. Eles têm um alarme e indicação de status e nível por LEDs (veja a Figura 262).

Figura 262 – Indicações por LED



LEDs	Status / função	LEDs	LEDs
●	Nível de óleo na zona verde (60 - 40%)		
● ●	Nível de óleo na zona verde (60 - 40%)	Injeção, atraso de 10s	
●	Nível de óleo na zona amarela (40 - 25%)	Injeção	
● ●	Nível de óleo na zona vermelha (25 - 0%)	Injeção	Sim, atraso de 20s ou 120s

Fonte: Shanghai Goldair Electric System Co.,Ltd.

8.1.10.7 **Pressostato do diferencial do óleo**

Os grandes projetos de compressores de fluido refrigerante comerciais e industriais são equipados com uma bomba de óleo. Como geralmente essas bombas são de engrenagem, elas entregam a lubrificação, independentemente, do sentido da rotação do compressor. Nesse caso, há, portanto, **lubrificação da circulação de pressão**. Isso significa que o óleo é drenado do cárter por uma bomba e pressionado para os eixos e rolamentos da biela por meio de canais no cárter. Isso permite que o suprimento de óleo seja monitorado por um pressostato do diferencial do óleo. Esse dispositivo de controle compara a pressão de entrega do óleo da bomba de óleo com a pressão no cárter. Na operação normal, há uma diferença de pressão específica resultante da resistência do fluxo dos canais e lacunas de biela comuns.

Figura 263 – Pressostato do diferencial do óleo



Fonte: Danfoss MP 54/55.

Pressostato do diferencial do óleo com conexões para baixa pressão (pressão do cárter) e óleo (pressão de entrega da bomba de óleo) e redefinição manual.

Figura 264 – Exemplo de pressostato de diferencial do óleo instalado por profissional



Fonte: Core-Sense Copeland.

Pressostato do diferencial do óleo com conexões para baixa pressão (pressão do cárter) e óleo (pressão de entrega da bomba de óleo) e redefinição manual.

Medições precisas e confiáveis usando "sensor *hall*" ajudam a evitar erros e aumentar a vida útil do sistema.
Não é necessário usar tubulação de transferência para medir pressões de óleo separadas.
Instalação direta na bomba de óleo do compressor.
Os dispositivos para medição da pressão de diferencial do óleo são caracterizados por sua alta flexibilidade e seu sistema exclusivo de dois componentes, além de serem compatíveis com integração a sistemas existentes.

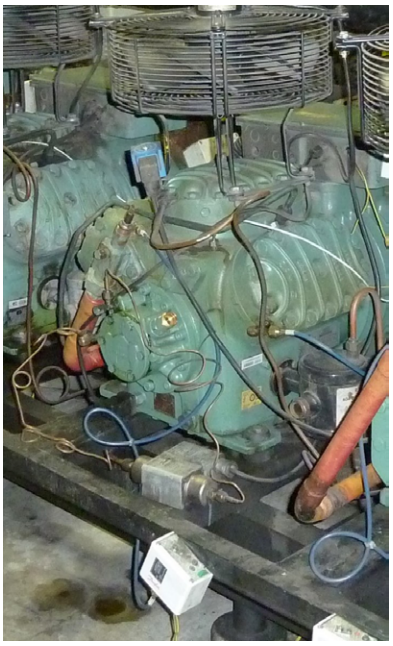
Figura 265 – Pressostato de diferencial do óleo do tipo "sensor *hall*" eletrônico



Fonte: Kriwan Delta-P II.

Solução autônoma
Medição baseada no sensor *hall*
Tensão de suprimento 115-230 V CA

Figura 266 – Exemplo de pior instalação e manutenção do pressostato do diferencial do óleo



Fonte: Rolf Huehren.

Piores condições de:
Execução de tubos de processo;
Acessibilidade;
Manutenção ruim;
Instalação perigosa.

Se houver algum dano ao rolamento, por exemplo, se as lacunas do rolamento ficarem maiores com o passar do tempo, devido ao desgaste, nenhuma ou menos pressão do óleo vai se acumular, porque o óleo pode ser pressionado através das lacunas grandes mais facilmente. O pressostato do diferencial deve registrar isso e desligar o compressor. Ele reagiria da mesma forma no caso de falta de óleo ou espuma no óleo. A maioria dos pressostatos do diferencial se desliga após um tempo (0s; 45s; 60s; 90s; 120s). O religamento é feito manual ou automaticamente, dependendo do tipo.

Redefinição	Execute uma redefinição manual assim que tiver sido determinada a razão para o pressostato do diferencial do óleo ter sido desligado e uma possível falha tiver sido corrigida.

8.1.10.8 **Lubrificação centrífuga**

Distribuição do óleo no compressor alternativo a partir do reservatório de óleo pelas partes rotativas (por exemplo, bielas ou discos centrífugos especiais) mergulhando no óleo e jogando-o para cima de forma que ele alcance os pontos de lubrificação ou entre nas bolsas de óleo. A partir dali, ele flui pelos canais até os rolamentos do eixo, etc. Esse tipo de sistema de lubrificação interna do compressor é usado normalmente em tipos menores de compressores.

8.1.10.9 **Remoção e acréscimo de óleo ao compressor**

Para sistemas de refrigeração de compressores maiores, faz sentido trocar o óleo após as primeiras 50 a 100 horas de operação para remover a abrasão do amaciamento e a sujeira solta pelo fluido refrigerante do sistema. A diretriz de

valor para outras trocas de óleo é 4.000 a 6.000 horas de operação para compressores alternativos, e 10.000 a 12.000 horas para compressores de parafuso. As especificações do fabricante devem ser seguidas obrigatoriamente.

É importante ter em mente que os níveis de óleo são o benchmark e que adicionar óleo a uma instalação de RAC, quando o nível abaixa, vez após outra, significa que o óleo migrou para outro lugar (trocador de calor) e que o projeto da tubulação de transferência de fluido refrigerante deve ser revisado (dimensionamento para retorno do óleo seguro ao compressor).

Verifique o nível do óleo	Verifique o nível do óleo pelo visor de líquido do cárter do compressor **com o compressor desligado**. O nível correto de óleo estará entre 40% e 60% da superfície do visor de líquido.

Figura 267 – Visor de líquido do compressor Bitzer e verificação do nível de óleo



Fonte: Rolf Huehren.

Alguns fabricantes de compressores indicam o tipo de óleo lubrificante para a refrigeração e os níveis mínimo e máximo do óleo perto do visor de líquido do óleo.

- **O óleo padrão do compressor para o sistema do R-290** é o SHC226E para o compressor Bitzer 4EESP-4P;
- **O óleo padrão do compressor para o sistema do R-744** é o BSE60K para o compressor Bitzer 2MSL-07K.

Outros fabricantes de compressores (como o BOCK, da Danfoss) indicam que, durante a operação, o nível do óleo deve estar visível na superfície do visor de líquido do óleo.

A adição do óleo é até um máximo de 60% do nível do visor de líquido e até o topo do menor nível do visor de líquido do compressor/separador/reservatório de óleo (se aplicável).

Reabastecimento e trocas de óleo	Se for necessário adicionar óleo a um compressor, deverá ser usado sempre o óleo original ou uma alternativa aprovada pelo fabricante, para reabastecer ou trocar o óleo.

8.1.10.9.1 Requisitos gerais

Há vários métodos para adicionar óleo a um compressor.

O jeito mais simples de adicionar óleo, quando o compressor está equipado com um orifício de abastecimento de óleo no cárter, é isolar o cárter do compressor e despejar ou bombear o óleo necessário para dentro. Se o sistema não contiver fluido refrigerante ou se o compressor estiver aberto para reparos, nenhuma precaução especial será necessária além das medidas normais para manter o óleo

limpo e seco, já que deverá ser feito o vácuo do sistema antes da partida.

Para aplicações operando com fluidos refrigerantes hidrocarbonetos, as seguintes instruções deverão ser executadas antes de quaisquer atividades no compressor:

1. Desligue o compressor (e proteja-o contra operação não intencional);
2. Coloque a válvula rotalock de sucção e descarga na posição central;
3. Remova o fluido refrigerante residual do compressor (recolhimento ou liberação segura para a atmosfera);
4. Se possível (para facilitar a desgaseificação do fluido refrigerante do óleo), energize o aquecedor do cárter do compressor, para aquecer o óleo;
5. Faça vácuo no compressor com o uso de uma bomba de vácuo, para obter o fluido refrigerante dissolvido do volume de óleo do compressor;
6. Faça o *flushing* do compressor com nitrogênio seco e livre de oxigênio (OFDN) para inertizar o cárter do compressor;
7. Execute as atividades de manutenção conforme o desejado (reparo, amostragem de óleo, troca de óleo);
8. O reabastecimento de óleo será medido por volume (litro); e
9. Antes de recolocar o compressor em operação, ele deverá atingir um nível de vácuo aceitável.

Inertização	Inertizar é um processo usado para evitar explosões usando gás inerte para evitar a formação de uma mistura explosiva. Se forem processadas substâncias cujos vapores formem uma mistura que entre facilmente em ignição com o oxigênio atmosférico, será necessário evitar qualquer risco de explosão.

8.1.10.9.2 **Procedimentos de operação de óleo (drenagem e abastecimento)**

Método da bomba de óleo:

Figura 268 – Bomba de óleo e acessórios



Fonte: Rolf Huehren.

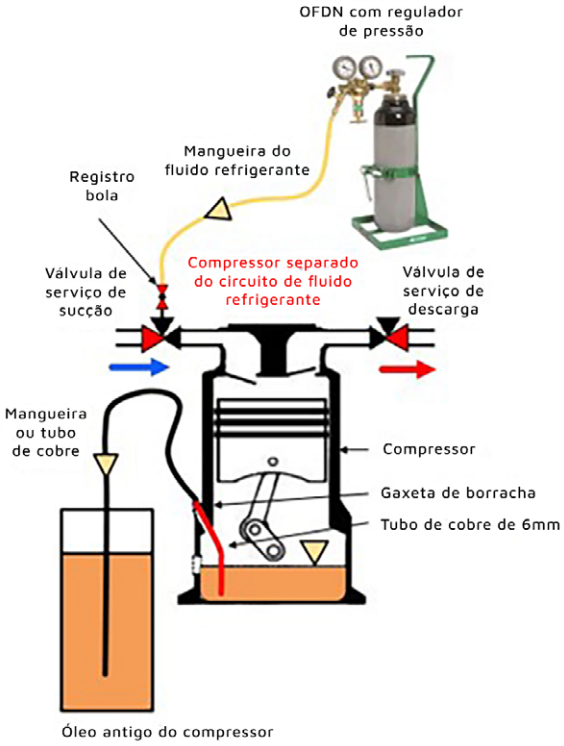
Uma pequena bomba de óleo (veja a Figura 268) permite remover, encher e completar o carregamento de óleo em um compressor (separador de óleo e tanque de armazenamento de óleo), por meio da porta de serviço da válvula rotalock, se necessário. Quando for possível, um carregamento por gravidade poderá ser feito para adicionar óleo diretamente ao cárter.

1. Corpo da bomba para remoção e reabastecimento de óleo;
2. Tubo plástico para inserção no cárter ou recipiente de óleo; e
3. Mangueira de transferência de óleo com conexões ¼" SAE.

Método de nitrogênio (OFDN) e vácuo:

Outro método de lidar com o óleo por causa de uma manutenção, serviço ou *retrofit* é o uso de nitrogênio para drenagem de óleo e uma bomba de vácuo para reabastecimento de óleo. Consulte as seguintes explicações desse método.

Figura 269 – Visor de líquido do compressor Bitzer e verificação do nível de óleo

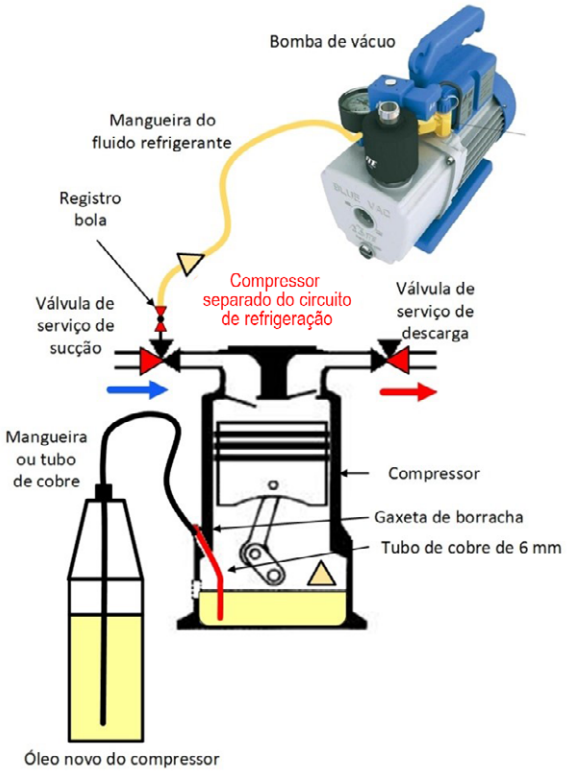


Fonte: ITE-Tools.

Troca de óleo (drenagem):

1. De maneira geral, siga as orientações do capítulo 8.1.10.9;
2. Verifique se há vazamentos no sistema e faça reparos, se necessário;
3. Separe o compressor, enquanto estiver usando a função de bombear para fora ou fechando as válvulas rotalock do compressor;
4. Se necessário, recolha o fluido refrigerante remanescente usando uma tecnologia apropriada de recolhimento de fluido refrigerante;
5. Pequenas quantidades de fluido refrigerante hidrocarboneto podem ser liberadas com segurança para o ambiente (use uma linha de ventilação adequada);
6. Abra a conexão de serviço do óleo no cárter do compressor;
7. Insira uma extremidade de um tubo de cobre flexível de 6 mm até a base do cárter (dobre o tubo de acordo com os requisitos);
8. Vede o orifício roscado com fita (ou vedante de borracha) e segure o tubo de cobre;
9. A outra extremidade do tubo de cobre deve ser inserida em um cilindro de recebimento de óleo (descarte) aberto;
10. Transfira uma pequena quantidade de nitrogênio, com baixa pressão, por meio da válvula rotalock de sucção, para o cárter;
11. O óleo será transferido para um cilindro de descarte de óleo separado;
12. Perceba que um pouco do fluido refrigerante será desgaseificado do óleo; e
13. Descarte o óleo como detrito contaminado de maneira não prejudicial ao meio ambiente.

Figura 270 – Troca de óleo (reabastecimento)



Fonte: ITE-Tools.

Troca de óleo (reabastecimento):

1. Instale um adaptador ¼" SAE na rosca da conexão de serviço do cárter do compressor;
2. Conecte uma extremidade de uma mangueira curta de fluido refrigerante limpo à conexão ¼" SAE;
3. Conecte uma bomba de vácuo à válvula rotalock de sucção do compressor;
4. Agora, abra o cilindro de óleo novo sobressalente;
5. Insira a outra extremidade da mangueira de fluido refrigerante limpo no cilindro;
6. Ligue a bomba de vácuo;
7. O óleo será transferido (sugado) devido à baixa pressão para dentro do cárter do compressor;
8. Observe o nível do óleo no visor de líquido do compressor, mas, primeiro, **use o mesmo volume que o removido no processo de drenagem;**
9. Interrompa o fluxo de óleo desligando a bomba de vácuo;
10. Meça a quantidade de óleo carregada;
11. Vede bem a conexão de serviço no cárter (porca de latão 1/4" SAE com vedante de cobre ou tampa ¼");
12. Crie vácuo no compressor;
13. Abra as válvulas rotalock do compressor;
14. Faça o compressor funcionar;
15. Verifique o nível do óleo no visor de líquido várias vezes;
16. Se necessário, adicione óleo, seguindo as instruções acima (conforme aplicável); e
17. Verifique se há vazamentos no sistema.

Armazenamento de cilindro de óleo já aberto	Devido à preparação do óleo novo (em especial o poliolésteres ou "POE") para absorver a umidade, é essencial usar apenas latas pequenas do óleo novo (de acordo com a demanda real). Geralmente, não se devem armazenar latas abertas de óleo sobressalente para uso posterior.

8.1.10.10 **Procedimentos de testes de lubrificantes**

Os kits de teste de acidez (veja a Figura 271) estão disponíveis em diversos fabricantes para medir o nível de acidez do óleo. Trata-se de um método simples e econômico para determinar se o nível de acidez está dentro do intervalo aceitável para lubrificantes. Alguns testes foram projetados para lubrificantes minerais ou alquilbenzenos, outros se destinam especificamente ao uso de lubrificantes à base de poliolléster. Geralmente, um papel ou líquido indicador, que muda de cor, faz parte dos kits de teste e é usado para indicar a presença de ácido no óleo. A cor do papel ou líquido indicador é comparada com uma tabela de cores.

Figura 271 – Exemplos de kit de teste de acidez



Fonte: Virginia KMP (esquerda) / QwikProducts (direita).

Cuidados com a saúde pessoal	Deve-se tomar cuidado antes de testar óleo contaminado. Use equipamentos de proteção individual adequados, como óculos e luvas, porque o óleo pode ser agressivo e prejudicial aos olhos e à pele.

Se esses kits não estiverem disponíveis no local, o óleo deve ser verificado olhando-se a cor do visor de líquido do compressor e fazendo uma drenagem. A presença de odor e partículas pode fornecer uma indicação rápida de contaminação. Quando o óleo está sujo ou descolorido, isso indica a presença de contaminantes no óleo, como ácidos, lodo, ar ou umidade. Como a cor do óleo de refrigeração varia, deve-se compará-lo com óleo novo.

Figura 272 – Compressor em condição



Fonte: Rolf Huehren.

Condição do óleo realmente boa, o óleo está fazendo espuma por causa da partida do compressor. O óleo deve se estabilizar depois de dois ou três minutos.

Figura 273 – Compressor com sistema de lubrificação altamente contaminado



Fonte: Rolf Huehren.

Pior condição do óleo:

1. Quantidade excessiva;
2. Umidade;
3. Material estranho na peneira do visor de líquido;
4. Resíduos de coqueifação;
5. Necessário um teste no laboratório; e
6. O compressor exige uma revisão completa (incluindo outras partes do sistema de retorno do óleo).

Figura 274 – Compressor e regulador do nível de óleo com manutenção ruim



Fonte: Rolf Huehren.

Condições puras de manutenção:

1. Cuidado pior com o regulador de óleo do compressor (manutenção);
2. Altura do óleo crítica; e
3. Necessidade de manutenção adequada.

Figura 275 – Regulador do nível de óleo com condição de óleo contaminado



Fonte: Rolf Huehren.

Condições puras de manutenção:

1. Cuidado pior com o regulador de óleo do compressor (manutenção);
2. Condição do óleo (coloração) crítica; e
3. Necessidade de serviço.

Além disso, existem kits de análise de óleo (Figura 276) destinados a ajudar o profissional a avaliar a condição do compressor em operação. Nesse caso, a amostra do lubrificante é enviada para um laboratório. Os resultados da análise podem indicar a presença de contaminantes (incluindo metais, o que indica desgaste), bem como o nível de acidez, teor de umidade e viscosidade do óleo.

Figura 276 – Kit de análise do óleo



Fonte: Parker.

Se a análise de uma amostra de óleo mostrar contaminação e um elemento do filtro for trocado ou se a carga de óleo for trocada, então, o sistema deverá ser tratado como um novo sistema, e o óleo deverá ser reanalisado após 20 horas de funcionamento.

8.1.10.10.1 **Amostras**

As avaliação de risco e as declarações de método devem ser preparadas para a coleta de amostras de óleo dos sistemas de refrigeração.

8.1.10.10.2 **Procedimento de amostragem padrão**

1. O sistema deve estar na temperatura operacional normal antes da coleta de amostras;
2. Assegure-se de que o ponto de amostragem esteja limpo e seco;
3. Deixe passar óleo por alguns segundos antes de coletar a amostra em um cilindro limpo e seco. O frasco da amostra deve ser abastecido até mais de 80%, mas nunca até os 100%;
4. Para os kits de teste no local, siga as informações do fabricante;
5. Deixe o frasco de amostra em um lugar quente com a tampa aberta, para permitir que o fluido refrigerante residual evapore (desgaseificado);
6. Vede a tampa; e
7. Assim que desgaseificadas, as amostras devem ser enviadas ao laboratório de óleo para análise, juntamente ao nome da fábrica, número do compressor, tipo de óleo e outras informações relevantes (por exemplo, trocas de óleo, horas de funcionamento) marcadas na etiqueta.

8.1.10.11 **Lubrificantes para compressores de refrigeração**

A lubrificação de compressores de refrigeração é de particular importância na tecnologia de lubrificação. As exigências de alta qualidade para óleos de máquinas

de refrigeração advêm das condições especiais de operação e da longa vida útil de manutenção exigida para os compressores.

Os requisitos mínimos estão descritos na norma alemã DIN 51503-1, Lubrificantes – Óleos de refrigeração – Parte 1: Requisitos mínimos. Essa norma é aplicável a óleos usados em compressores de refrigeração para lubrificação e refrigeração e aqueles expostos a fluidos refrigerantes líquidos e gasosos.

Os produtores de óleos e fabricantes de compressores têm que desenvolver e testar novos lubrificantes para determinados tipos de novos fluidos refrigerantes. Em específico, existem testes de viscosidade, ponto de floculação, ponto de fluidez, ponto de fulgor, etc.

O profissional de manutenção não precisa saber detalhes da qualidade do óleo, mas deve entender os termos e por que são importantes.

Qual tipo de óleo?	Em aplicações no campo, você deve usar apenas o lubrificante recomendado pelo fabricante do compressor!

8.1.10.11.1 Requisitos para padrões de alta qualidade de óleos lubrificantes para refrigeração e ar condicionado

Os requisitos para padrões de alta qualidade de óleos lubrificantes para refrigeração e ar condicionado estão listados abaixo:

Longa vida útil do compressor

Embora uma vida útil de 2.000 horas de operação já represente bom desempenho para o motor de um veículo, a expectativa da vida útil de um compressor hermético em pequenos sistemas de refrigeração ou ar condicionado, por exemplo, é de 10 a 15 anos sem troca de óleo, o que corresponde de 50.000 a 70.000 horas de operação.

Alta carga térmica

O óleo da máquina de refrigeração fica sujeito a alto estresse térmico durante a operação. Tanto nas temperaturas na cabeça do cilindro, em especial nas válvulas de operação de cerca de 150 °C e mais, quanto nas temperaturas de evaporação de cerca de -50 °C e abaixo, o óleo precisa manter suas propriedades de lubrificação e fluxo, e continuar estável do ponto de vista térmico e químico.

Interações entre o fluido refrigerante e o óleo da máquina de refrigeração

Em todo o circuito de refrigeração, existe sempre uma mistura de duas substâncias de fluido refrigerante e óleo da máquina de refrigeração. Não pode existir nenhuma reação química entre o fluido refrigerante e o óleo da máquina de refrigeração em nenhuma pressão ou temperatura de operação. Interações "criadas" comumente dentro do circuito de refrigeração em conjunto com umidade (água) e altas temperaturas, que iniciam processos de reações químicas. Interações e reações químicas finalmente levam especificamente à formação de ácido, que viaja pelo circuito de refrigeração e causa danos (mecânicos e elétricos) ao compressor e bloqueio de filtros e dispositivos de expansão.

8.1.10.11.2 A função do óleo lubrificante em um compressor de refrigeração

As funções do óleo lubrificante em um compressor de refrigeração podem ser descritas da seguinte maneira:

1. Lubrificação de todas as peças rotativas e deslizantes, como pistões, rolamentos do motor, válvulas de operação e vedação deslizante em compressores abertos para reduzir o atrito;
2. Transferência de calor de peças com alto stress térmico para o cárter do compressor e de lá para o ambiente;
3. Vedação dos flancos do dente em compressores de parafuso, e da câmara de compressão em compressores alternativos e rotativos para reduzir as perdas oriundas de vazamento interno e assim aumentar a eficiência volumétrica.

8.1.10.11.3 Propriedades dos óleos lubrificantes e como o óleo de refrigeração se distingue dos demais óleos

Para a avaliação qualitativa dos óleos de máquinas de refrigeração, uma série de valores de características químico-físicas são definidos e os procedimentos de teste necessários são padronizados.

Viscosidade

Viscosidade é o quanto um óleo é espesso ou fino a determinada temperatura, e o quanto ele está pronto para fluir naquela temperatura. O óleo fica mais "fluido" (flui com maior facilidade) conforme aumenta a temperatura, e fica mais "viscoso" (espesso) a baixas temperaturas. Lembre-se: se tiver dúvida sobre a viscosidade correta do óleo, consulte as recomendações do fabricante.

Teste de floculação

Todos os óleos minerais contêm cera de parafina, alguns mais do que outros. Mesmo quando há alegação de que o óleo "não contém cera", ele contém quantidades bem pequenas de cera. O teste de floculação determina a temperatura mensurável na qual a cera se separa do óleo. Se houver mais cera presente em uma mistura de óleo/fluido refrigerante do que o que pode permanecer na solução a determinada temperatura, haverá precipitação e podem ocorrer danos no compressor.

Rigidez dielétrica

Rigidez dielétrica é a medida da resistência de um óleo a uma corrente elétrica. Ela é expressa em milhares de volts (kilovolts, ou kV) de eletricidade necessária para romper uma lacuna de cerca de 2,5 mm entre dois polos imersos no óleo. A rigidez dielétrica mínima recomendada é de 25 kV.

Índice de neutralização

O índice de neutralização (NZ medido em mg KOH/g) é um indicador de acidez ou de alcalinidade de um óleo. O índice é o peso em miligramas da quantidade de ácido (ácido clorídrico) ou base (hidróxido de potássio) necessária para neutralizar um grama do óleo, usando métodos de teste padronizados. O índice de neutralização é de especial importância para compressores herméticos ou semi-herméti-

cos. Estudos exaustivos têm mostrado as concentrações de ácido que provocam a destruição do enrolamento do motor.

Em geral, é adotado o valor limite NZ = 0,06 mg KOH/g.

No entanto, novos óleos de máquinas de refrigeração com NZ de 0,1 mg KOH/g também são usados em alguns casos. A justificativa dos respectivos fabricantes de compressores é a melhor qualidade dos vernizes de impregnação dos enrolamentos do motor.

Alguns fabricantes de compressores, como a L'Unite, usam óleos à base de éster com aditivos para melhorar o comportamento do desgaste, em especial no modo de partida. Índices NZ de 0,8 a 1,0 são medidos para esses óleos. Não é possível usar testadores de ácido disponíveis comercialmente para verificar a acidez desses óleos, já que geralmente eles são configurados para o valor limite NZ = 0,06.

Para determinar o índice de neutralização, é preciso fazer uma análise em laboratório. Recomenda-se sempre consultar o fabricante do compressor ou do óleo lubrificante para saber sobre a disponibilidade e o uso de kits de teste de NZ.

Ponto de fulgor e de combustão

Se você aquecer óleo em um cilindro aberto e passar uma pequena chama de gás sobre a superfície do óleo, em algum momento aparecerá um clarão de fogo na superfície durante a queima do vapor do óleo. A temperatura em que isso ocorre se chama ponto de fulgor. Se você continuar aquecendo o óleo, ele chegará a um ponto no qual ele vai pegar fogo e continuar queimando. Essa temperatura é chamada de ponto de combustão.

Solubilidade

O óleo de um sistema de refrigeração deve fazer mais do que simplesmente atender aos requisitos normais de lubrificação. Ele deve se misturar ao fluido refrigerante e percorrer o sistema. Portanto, você deve considerar a relação de solubilidade entre os fluidos refrigerantes e os óleos.

Os fluidos refrigerantes se dividem em três grupos:

1. Aqueles que se misturam em todas as proporções com o óleo no intervalo de temperaturas de operação, incluindo os hidrocarbonetos;
2. Aqueles que se separam em duas fases no intervalo de operação, dependendo da temperatura, da pressão e do tipo de material de base (categoria química) do óleo, incluindo o R-22; e
3. Aqueles que são insolúveis em óleo no intervalo de temperaturas de operação, especificamente a amônia e o dióxido de carbono.

Dos fluidos refrigerantes listados nos últimos dois grupos, apenas a amônia e o dióxido de carbono são mais leves que o óleo. Eles ficam flutuando por cima quando a mistura de óleo/fluido refrigerante se separa em duas fases.

Compatibilidade do elastômero

A literatura relevante recomenda os seguintes materiais de vedação para óleos à base de polioléster (POE) com fluidos refrigerantes HC, HFC e HFO:

- Borracha de acrilonitrilo butadieno, teor de nitrila >36%;
- Borracha de acrilonitrilo butadieno hidrogenado, teor de nitrila >36%; e
- Borracha de etileno-propileno-dieno.

8.1.10.11.4 **Tipos de lubrificantes**

Existem vários tipos de lubrificantes usados em refrigeração: óleo mineral, alquilbenzenos, polialfa-olefinas, óleo à base de poliéster e polialquilenoglicóis. Todos os tipos de lubrificantes possuem propriedades diferentes.

Óleos minerais

O óleo mineral é um composto hidrocarboneto de petróleo e carvão mineral. Ele pertence ao grupo dos alcanos. O óleo mineral é usado principalmente em compressores herméticos. Ele é adequado para uso com fluidos refrigerantes CFC e HCFC. Ele não serve para temperaturas de evaporação mais baixas.

Alquilbenzenos (AB)

Os alquilbenzenos são obtidos a partir do petróleo. São adequados para fluidos refrigerantes com HCFC e hidrocarbonetos. Os alquilbenzenos apresentam baixa tendência a formação de espuma. Isso faz com que sejam adequados para todos os tipos de compressores.

Polialfaolefinas (PAO)

A polialfaolefina é um lubrificante sintético. Ela é adequada para hidrocarbonetos, NH_3 e CO_2. Ela é usada principalmente em compressores de parafuso. A polialfaolefina também é própria para baixas temperaturas de evaporação.

Óleo à base de poliéster (POE)

O óleo à base de poliéster é um lubrificante sintético. Ele é adequado para fluidos refrigerantes com HFC e CO_2. O óleo é higroscópico e não deve ser exposto a umidade. Os cilindros abertos devem ser despejados imediatamente dentro do circuito de refrigeração. Os volumes restantes não devem ser reutilizados. Junto com a água podem se formar ligações ácidas. Ele também é próprio para baixas temperaturas.

Polialquilenoglicol (PAG)

O polialquilenoglicol é um óleo sintético. Ele é adequado para fluidos refrigerantes com HFC, HFO e NH_3. Ele não é compatível com todos os materiais. Os poliglicóis são usados em aparelhos de ar condicionado de carros por causa de sua alta estabilidade térmica. A Tabela 65 mostra os tipos de lubrificantes usados para diferentes fluidos refrigerantes.

Tabela 65 – Lubrificantes para sistemas de refrigeração

Fluido refrigerante	Lubrificante
CFC	Óleo mineral ou POE (consumo eliminado)
HCFC	Óleo mineral, AB, POE
HFC	PAG, POE
HFO	PAG, POE
Hidrocarbonetos	Óleo mineral, PAO, POE, PAG
NH_3	PAO, AB, PAG
CO_2	POE, PAG

Fonte: Bitzer.

8.1.10.11.5 **Como escolher o lubrificante certo**

Para encontrar o lubrificante certo, sempre verifique as informações fornecidas pelo fabricante do compressor. A maioria dos compressores já conta com envase de óleo na entrega (exceto os compressores R-717). Se houver necessidade de completar o óleo (por exemplo, em caso de vazamento ou manutenção), deve-se sempre usar o óleo original ou uma alternativa aprovada pelo fabricante.

Tabela 66 – Informações do fabricante do lubrificante

Tipos de compressores	**2KES-05(Y) .. 8FE-70(Y) e 22EES-4(Y) .. 66FE-100 (Y)**			**4FDC-5Y .. 4NDC-20Y**
Fluidos refrigerantes permitidos (Outros fluidos refrigerantes mediante solicitação)	R-134a, R-404A, R-407A/C/F, R-448A, R-449A, R-450A, R-452A, R-507A, R-513A, R-1234yf, R-1234ze(E)	Demais misturas de HFO e HFO/HFC apenas após consulta junto a Bitzer.	R-22	R-410A
Carga do óleo	BSE32 BSE55 para R-134a: tc > 70 oC	Entre em contato com a Bitzer.	B5.2	BSE55
Limites de aplicação	Consulte o folheto do KP-104 e o *software* da Bitzer.			Consulte o folheto do KP-101 e o *software* da Bitzer.

Fonte: Bitzer.

Para o sistema em cascata R-744/R-290, os tipos de lubrificantes do compressor são:

- O óleo padrão do compressor para o sistema R-290 é o SHC226E para o compressor Bitzer4EESP-4P; e
- O óleo padrão do compressor para o sistema R-744 é o BSE60K para o compressor Bitzer 2MSL-07K.

8.1.10.12 **Válvulas rotalock**

A maioria dos compressores de refrigeração (excluindo a refrigeração doméstica) e unidades condensadoras é equipada com válvulas rotalock. A válvula rotalock é instalada diretamente no compressor ou vaso de pressão para fins de serviço geral.

A válvula "rotalock" permite entrar no circuito de refrigeração para obter os valores da pressão do fluido refrigerante e executar procedimentos de abastecimento ou recolhimento do fluido refrigerante, *flushing* com OFDN e procedimentos de teste de pressão. Por razões específicas, as válvulas rotalock isolam o compressor (ou vaso de pressão) completamente do circuito de refrigeração. A válvula fica na saída do fluido refrigerante de um receptor de fluido refrigerante e permite que um profissional qualificado transfira o conteúdo do fluido refrigerante do sistema para o receptor operando o compressor (recolhimento completo ou parada por recolhimento do fluido refrigerante dos evaporadores e condensadores). As válvulas

rotalock podem ser feitas em diferentes estilos, de acordo com os requisitos do fabricante dos componentes do circuito de refrigeração (compressor, vaso, etc.).

As válvulas podem ter acabamento em níquel, zinco ou latão com cromagem clara, dependendo do fabricante. Determinadas válvulas rotalock são fabricadas com uma "porta de manômetro" (conexão para manômetro ou dispositivo de controle) na posição "neutra", permitindo que a porta permaneça aberta no lado do compressor todo o tempo. Para o provisionamento do sistema de RAC vedado, é crucial sempre recolocar as tampas na porta da válvula e na haste após a remoção para fins de serviço!

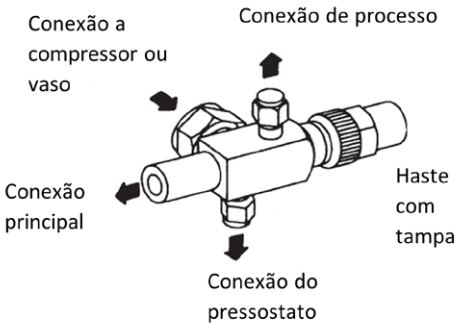
Figura 277 – Válvulas rotalock de diferentes estilos e finalidades



Fonte: Jinhao.

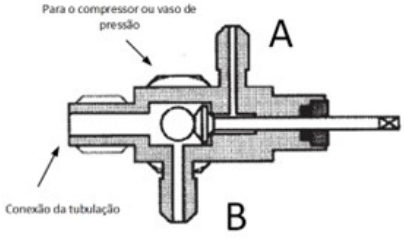
Da Figura 278 à Figura 281 são mostradas informações sobre as possibilidades de operação e conexão das válvulas rotalock.

Figura 278 – Projeto da válvula rotalock



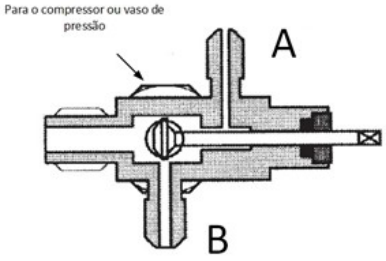
Fonte: Erba.

Figura 279 – Posição da haste da rotalok no "banco de trás": a conexão da porta de serviço A está fechada, a conexão B (por exemplo, dispositivo de controle) está aberta – condição operacional normal do sistema



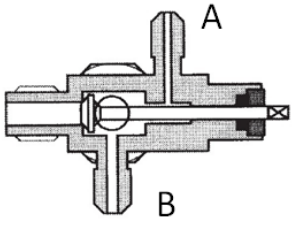
Fonte: Erba.

Figura 280 – Posição da haste da rotalok no "centro": Todas as conexões abertas



Fonte: Erba.

Figura 281 – Posição da haste da rotalok "no banco da frente": Conexão principal (tubulação) fechada. A e B abertas



Fonte: Erba.

8.2 **Trocador de calor**

Tecnicamente, o trocador de calor costuma ser considerado um dispositivo para transferência de calor. A expressão "trocador de calor" é muito comum no setor de AVAC-R, mas não é uma expressão apropriada, já que o calor não é "trocado", mas transferido de acordo com o gradiente de temperatura (veja também no Capítulo 5.3 a segunda lei principal da termodinâmica).

O princípio básico dos "trocadores de calor" é transferir o calor de uma substância em circulação para outra substância em circulação a uma temperatura inicial menor. As substâncias podem ser gasosas ou líquidas. A diferença de temperatura entre as duas substâncias, como um gradiente motriz, é fundamental para a transferência de calor.

8.2.1. **Classificações dos trocadores de calor de acordo com sua organização de fluxo**

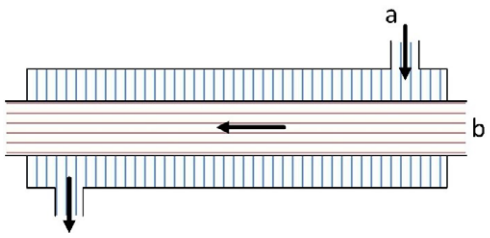
Dependendo do sentido do fluxo (por exemplo, fluxo contrário, fluxo paralelo), o gradiente da diferença de temperatura pelo caminho pode variar. Na tecnologia de refrigeração, os trocadores de calor são usados tanto como evaporadores quanto condensadores. Em ambas as aplicações, ocorre uma transição de fase no fluido refrigerante.

Uma comparação entre as operações e os efeitos da transferência de calor é mostrada nas figuras coloridas abaixo. Em ambas, considera-se (e indica-se) que o vermelho tem um valor maior (por exemplo, de temperatura) do que o azul, e que a propriedade sendo transportada nos canais, assim, flui do vermelho para o azul.

8.2.1.1 **Princípio do fluxo paralelo**

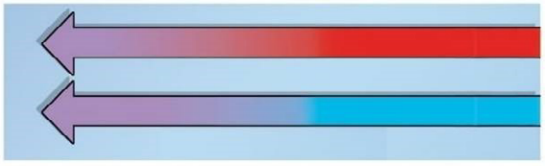
Com o princípio do fluxo paralelo (ver Figura 282 a Figura 284), os dois fluidos envolvidos na transferência de calor fluem no mesmo sentido e quase equalizam suas temperaturas. A transferência de calor, de acordo com o princípio do fluxo paralelo, não é tão eficiente como seria de acordo com o princípio do fluxo contrário, porque a diferença logarítmica medida da temperatura é menor.

Figura 282 – Princípio do fluxo paralelo do trocador de calor



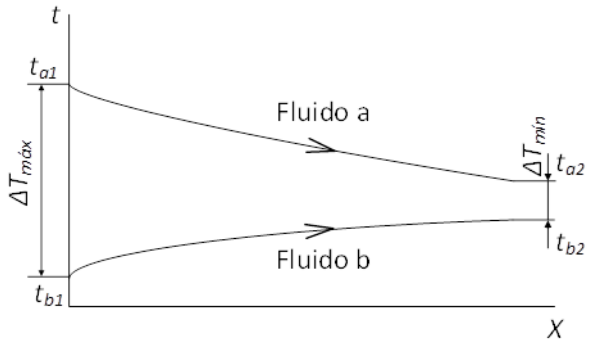
Fonte: Rolf Huehren.

Figura 283 – Esquema da transferência de calor - fluxo paralelo



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 284 – Fluxo do fluido e perfil de temperatura - trocador de calor de fluxo paralelo



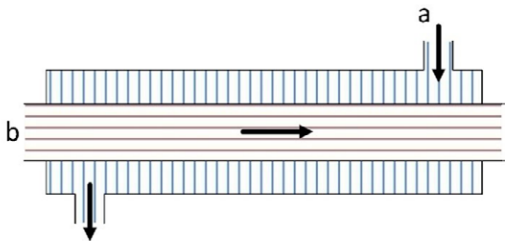
Fonte: Rolf Huehren.

8.2.1.2 **Princípio do fluxo contrário**

Com o princípio do fluxo contrário (ver Figura 285 a Figura 287), os dois fluidos envolvidos na transferência de calor fluem um na direção do outro, sendo que o fluido mais frio entra em contato térmico primeiro com o fluido mais quente, que já foi refrigerado.

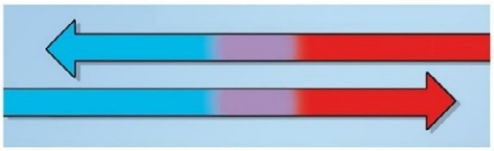
A temperatura de saída do fluido mais frio pode ser maior do que a temperatura de saída do fluido mais quente. A transferência de calor, de acordo com o princípio do fluxo contrário, resulta em um desempenho melhor, em comparação com a transferência de calor de acordo com o princípio de fluxo paralelo devido a uma diferença logarítmica média de temperatura maior.

Figura 285 – Princípio do fluxo contrário do trocador de calor



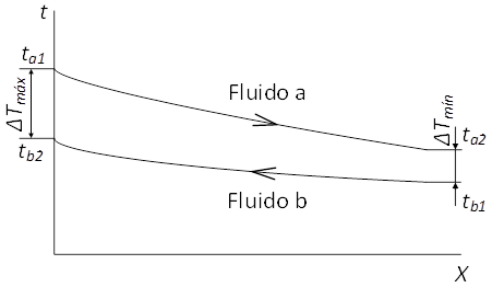
Fonte: Rolf Huehren.

Figura 286 – Princípio do fluxo contrário do trocador de calor



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 287 – Fluxo do fluido e perfil de temperatura - HE de fluxo contrário



Fonte: Rolf Huehren.

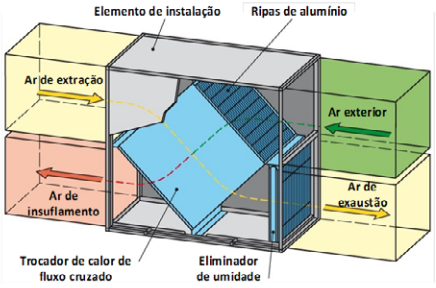
8.2.1.3 **Princípio do fluxo cruzado**

Em um trocador de calor de fluxo cruzado (ver Figura 288 e Figura 289), os fluidos se deslocam quase que perpendicularmente um ao outro pelo trocador.

Com o princípio de fluxo cruzado, os dois fluidos envolvidos na transferência de calor se cruzam, cada um no sentido do seu fluxo, e quase equalizam suas temperaturas. Como geralmente há mais de um cruzamento, é possível fazer uma distinção entre os princípios de fluxo paralelo cruzado e fluxo contrário cruzado.

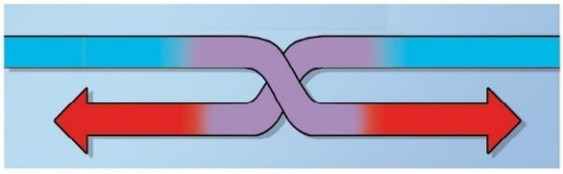
Um trocador de calor desse tipo é usado, por exemplo, para transferir o calor do ar de exaustão de um sistema de ar condicionado para o ar de insuflamento ou um outro fluido, o que pode aumentar a eficiência.

Figura 288 – Ilustração de um sistema de recuperação de calor com trocador de calor de fluxo cruzado integrado



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 289 –Esquema da transferência de calor - fluxo cruzado



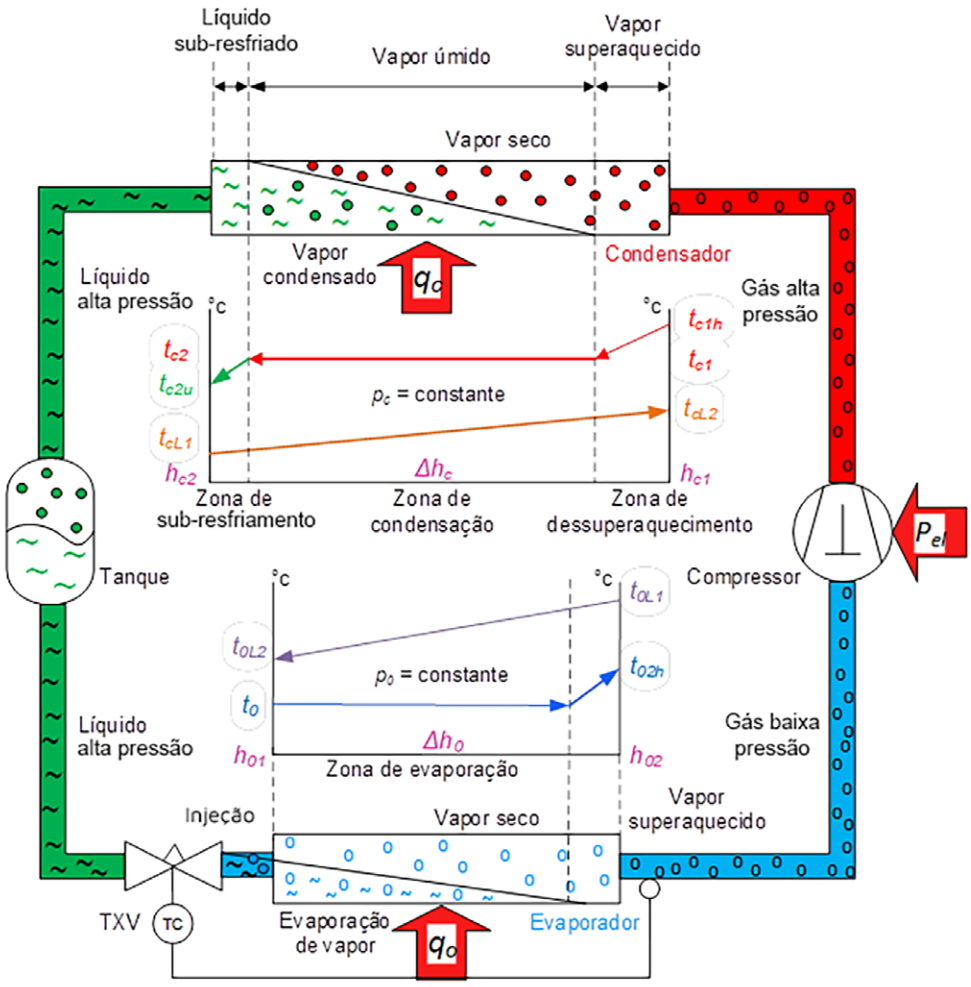
Fonte: Rolf Huehren.

Nos capítulos seguintes, focamos nos "trocadores de calor" de fluido refrigerante para o ar e, especificamente, no evaporador e condensador.

8.2.2 **Processos que ocorrem no evaporador e no condensador**

A tarefa dos evaporadores e condensadores dentro do circuito de refrigeração é transferir a energia térmica (calor) do espaço ou do produto a ser refrigerado para o ambiente externo. O fluido de transferência de calor é, de um lado, o fluido refrigerante (dentro do circuito de refrigeração) e, do outro, o ar em circulação. Cada um desses trocadores de calor tem sua própria função termodinâmica e processos internos. A seguir, vamos nos concentrar nesses processos termodinâmicos com reflexos na Figura 290.

Figura 290 – Processos termodinâmicos no evaporador e no condensador



Evaporador

O evaporador tem a tarefa de absorver o calor do entorno (ar, alimentos, produtos) e transferi-lo para o fluido refrigerante. A temperatura de evaporação deve ser menor do que a temperatura ambiente ou a temperatura do produto. A temperatura de evaporação desejada pode ser conseguida de forma direcionada por meio do efeito de sucção simultânea do compressor do fluido refrigerante e de constrição do dispositivo de expansão (capilar, TXV, EXV) e sua função de medição.

Distinguimos duas zonas dentro do evaporador:

1. Zona de evaporação; e
2. Zona de superaquecimento.

Condensador

O condensador tem a tarefa de remover o calor do circuito de refrigeração. Esse calor é liberado no ar ambiente. Como o fluxo de calor pode ocorrer somente se houver uma diferença de temperatura, a temperatura do condensador deve sempre estar acima da temperatura de entrada do ar ambiente. A capacidade do condensador de ser dissipado é determinada pela capacidade de refrigeração do evaporador, pela capacidade motriz do compressor e por todas as outras capacidades de calor absorvido (por exemplo, a linha de sucção).

Distinguimos três zonas dentro do condensador:

1. Zona de dessuperaquecimento;
2. Zona de condensação; e
3. Zona de sub-resfriamento.

Durante esses processos, a pressão de evaporação p_0 do fluido refrigerante permanece constante.
Quaisquer quedas de pressão durante a transferência de fluido refrigerante não são consideradas aqui.
O fluxo de calor resultante da diferença de temperatura entre o evaporador e o ambiente faz com que o fluido refrigerante líquido que entra no dispositivo de expansão evapore a t_0 no evaporador (zona de evaporação) e fique superaquecido (zona de superaquecimento) a t_{02h}. O calor transferido dentro da zona de superaquecimento é considerado "superaquecimento útil" apesar do superaquecimento ser criado na linha de sucção antes de entrar no compressor.
O processo de evaporação:
O fluido refrigerante líquido (possivelmente sub-resfriado) que entra no dispositivo de expansão se expande até a pressão de evaporação p_0.

No final da evaporação, o fluido refrigerante estará completamente evaporado e no estado de vapor superaquecido. A temperatura do fluido refrigerante sobe apenas quando todo o líquido tiver evaporado completamente. Esse modo de operação do evaporador é chamado de "evaporação seca".
A zona de superaquecimento:
As propriedades da transferência de calor são fracas na zona de superaquecimento (nenhuma mudança de fase do fluido refrigerante líquido para vapor). Além disso, a diferença de temperatura do entorno é menor devido à maior temperatura do fluido refrigerante. Como resultado, somente uma pequena porção do calor pode ser transferida na zona de superaquecimento (mas é considerada como "superaquecimento útil" com cálculos específicos do circuito).

Durante esses processos, a pressão de condensação p_c do fluido refrigerante permanece constante.
Quaisquer quedas de pressão durante a transferência de fluido refrigerante não são consideradas aqui.
Zona de dessuperaquecimento:
O fluido refrigerante entra no condensador na forma de vapor (superaquecido).
Ali, ele primeiro é dessuperaquecido, e a temperatura do fluido refrigerante cai até a temperatura de condensação t_c. Um fluxo de gás puro está presente na zona de dessuperaquecimento. Apesar de uma grande diferença na temperatura motriz e das altas velocidades do fluxo, a transferência de calor é menor do que com o fluxo de duas fases devido à baixa densidade do fluido refrigerante. A área da superfície da zona de dessuperaquecimento é, aproximadamente, de 10% a 15%.
Zona de condensação:
Assim que o fluido refrigerante tiver sido dessuperaquecido até a temperatura de condensação tc, a condensação começa. A temperatura de condensação resulta da pressão prevalente do fluido refrigerante. Essa temperatura permanece constante durante o processo de condensação. A remoção do calor leva a uma mudança de fase do fluido refrigerante de gás para líquido, não a uma redução na temperatura. A transferência de calor é a melhor nessa área.
A zona de sub-resfriamento:
Com a transferência contínua do fluido refrigerante dentro do condensador, pois não há mais vapor no fluido refrigerante, o sub-resfriamento começa devido à dissipação de calor adicional.
Com o fim da mudança de fase gasosa para líquida, a extração adicional de calor leva a uma diminuição na temperatura abaixo da temperatura de condensação para t_{c2u}.
Devido à baixa taxa de fluxo do fluido refrigerante, a transferência de calor é muito limitada aqui.
O sub-resfriamento pode ser necessário para garantir que nenhuma bolha de vapor entre no dispositivo de expansão. O fluido refrigerante deve ser líquido, acima do elemento de expansão, porque as proporções de gás reduzem a capacidade de refrigeração do evaporador.
Na maioria dos sistemas de refrigeração, um tanque de líquido fica abaixo do condensador, para separar proporções do fluido refrigerante gasoso do líquido.
Para melhorar o sub-resfriamento do fluido refrigerante líquido, uma troca de calor interno (sub-resfriador) entre o gás de sucção e o fluido refrigerante líquido é favorável.

Fonte: Rolf Huehren.

8.2.3 **Determinação da capacidade do trocador de calor**

A capacidade do "trocador de calor" depende principalmente das seguintes condições:

1. Área da superfície "A";
2. Coeficiente de transferência de calor "k"; e
3. Diferença de temperatura "ΔT".

8.2.3.1 **Área da superfície "A" em m²**

Quanto maior a superfície de transferência de calor, mais energia poderá ser transferida. A superfície externa total, envolvida na transferência de calor, deve ser levada em conta.

8.2.3.2 **Coeficiente de transferência de calor - valores U em W/(m² x K)**

O valor k (coeficiente de transferência de calor) indica a qualidade da transferência de calor. Ele indica o quão bem o calor flui do meio a ser refrigerado (ar) para o fluido refrigerante. Esse valor resume as seguintes influências:

- Material do evaporador (cobre, alumínio);
- Espaçamento e diâmetro dos tubos;
- Organização dos tubos;
- Profundidade do evaporador;
- Espaçamento da lamela (aleta);
- Formato da lamela (aleta);
- Acabamento da superfície;
- Contaminação e formação de gelo na superfície;
- Fluxo de entrada ou de circulação;
- Velocidades do fluxo de ar e do fluido refrigerante;
- Forma do fluxo de ar e do fluido refrigerante;
- Propriedades dependentes da temperatura do refrigerante (ar) e do fluido refrigerante;
- Distribuição de ambos os fluidos;
- Estado do fluido refrigerante (vapor, vapor úmido, líquido); e
- Conteúdo de óleo no fluido refrigerante.

8.2.3.3 **Diferença entre os valores "U" e "k"**

Apesar de o conceito de valor U do "coeficiente de transferência de calor" (ou fator U) ser universal, os valores U podem ser expressos em diferentes unidades. Na maioria dos países, o valor U é expresso em unidades SI, como watts por metro quadrado x kelvin:

$$W/(m^2 \cdot K)$$

O valor *k* e o valor *U* são idênticos e expressam a mesma coisa. No decorrer da harmonização da UE, o termo valor *U* tem sido usado desde outubro de 2000. O termo valor *k* deixará de ser usado gradualmente no decorrer dos próximos anos.

Os valores k antigos eram indicados com kcal/m² x K x h.
A conversão é feita desta forma:

1. 1 kcal = 4.184 Joules; e
2. 1 hora = 3.600 segundos.

O seguinte se aplica:
Como 1 W = 1 J/s, é necessário converter kcal em joules e horas em segundos.

Fórmula de conversão:
1 kcal/m² x K x h = 4.184 J/3.600 s = 1,162 W/m² x K

Solução: 1 kcal/m² x K x h = 1,162 W/m² x K

8.2.3.4 Diferença de temperatura motriz "ΔT_1" em Kelvin (K)

A diferença de temperatura motriz determinada se baseia no cálculo apresentado na Tabela 67.

Tabela 67 – Determinação da diferença de temperatura motriz "ΔT1" em Kelvin (K)

Evaporador	Condensador
Diferença da temperatura de entrada = temperatura de entrada do ar menos a temperatura de evaporação (Temperaturas em Kelvin – K)	Diferença da temperatura de entrada = temperatura de condensação menos a temperatura de entrada de ar (Temperaturas em Kelvin – K)
$\Delta T_1 = t_{0L1} - t_0$	$\Delta T_1 = t_c - t_{cL1}$

Continuação da Tabela 67 – Determinação da diferença de temperatura motriz "ΔT1" em Kelvin (K)

No lado do evaporador, o gradiente de temperatura motriz depende do produto refrigerado. Diferenças maiores de temperatura (por exemplo, temperatura de evaporação menor) reduzem a eficiência do sistema. Se o sistema de refrigeração for usado para desumidificar o ar, serão necessárias diferenças maiores de temperatura (como no aparelho de ar condicionado de sala). Na refrigeração de alimentos como vegetais, frutas e carne, a diferença de temperatura deve ser selecionada de modo que somente uma pequena desumidificação ocorra. A água condensada no evaporador começa a se congelar quando a temperatura de evaporação fica entre -1 e -5 °C, dependendo da umidade da sala. O gelo formado no evaporador deve ser removido periodicamente desligando-se o compressor (degelo do ar circulante) ou usando-se um sistema de degelo elétrico ou com gás quente. Os valores aproximados de ΔT (em Kelvin), considerando-se a menor temperatura de evaporação necessária (a mais alta possível) e a umidade relativa favorável, são os seguintes: • Vegetais e frutas $\Delta T_1 \approx 5$ a 6 K; • Carne $\Delta T_1 \approx 7$ K; • Laticínios $\Delta T_1 \approx 8$ K; e • Comida enlatada e bebidas $\Delta T_1 \approx 10$ K.	No lado do condensador, o gradiente de temperatura motriz não deve exceder 15 K. Entretanto, diferenças maiores de temperatura (por exemplo, temperatura de condensação maior) reduzem os requisitos de material (tamanho do condensador), mas reduzem a eficiência do sistema.

Além da "diferença de temperatura de entrada", também pode ser usada a "diferença de temperatura logarítmica média". A diferença de temperatura de entrada foi escolhida aqui para se levar em conta a relevância das considerações práticas. A equação para determinar a ΔT_m é a seguinte:

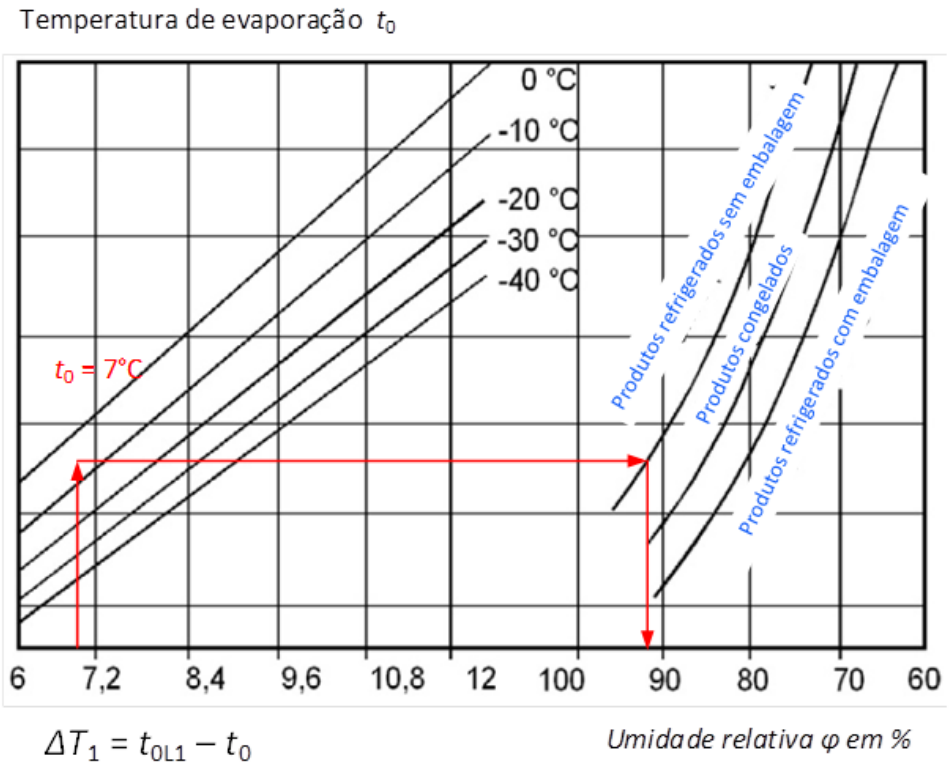
$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}}$$

Fonte: Rolf Huehren.

8.2.3.5 Diagrama de ΔT_1 e da umidade relativa rH na determinação do valor em % no evaporador (câmaras frigoríficas)

A Figura 291 mostra um diagrama de ΔT1 e da umidade relativa rH na determinação do valor em % no evaporador (câmaras frigoríficas).

Figura 291 – Determinação da umidade relativa com ΔT1 e t0



Fonte: Küba Kältetechnik GmbH.

8.2.3.6 Cálculo da capacidade do "trocador de calor"

A determinação da capacidade do trocador de calor é baseada no cálculo apresentado na Tabela 68.

Tabela 68 – Determinação da capacidade do trocador de calor

Evaporador	Condensador
O seguinte se aplica à capacidade do evaporador (capacidade de refrigeração) $\dot{Q}_0$: $$\dot{Q}_0 = U \times A \times \Delta T_1$$ Essa equação é usada no desenvolvimento dos trocadores de calor. O fluido refrigerante e o meio de resfriamento são levados em conta juntos pelo valor *k*.	O seguinte se aplica à capacidade do condensador $\dot{Q}_C$: $$\dot{Q}_C = U \times A \times \Delta T_1$$ Essa equação é usada no desenvolvimento dos trocadores de calor. O fluido refrigerante e o meio de resfriamento são levados em conta juntos pelo valor *k*.

Continuação da Tabela 68 – Determinação da capacidade do trocador de calor

A capacidade de refrigeração do evaporador pode ser determinada por meio do meio de resfriamento ar ou por meio do fluido refrigerante. A capacidade de refrigeração em kW (kJ/s) determinada por meio do ar em circulação pode ser calculada usando-se a equação abaixo: $\dot{Q}_0 = \dot{m}_L \times c_L \times \Delta T_L$ Esse cálculo é correto apenas para ar seco. Se ocorrer a condensação do vapor d'água, a capacidade poderá ser de 40% a 50% maior! A capacidade de refrigeração em kW (kJ/s) determinada por meio do fluido refrigerante em circulação pode ser calculada usando-se a seguinte equação: $\dot{Q}_0 = \dot{m}_R \times \Delta h_0$	A capacidade do condensador pode ser determinada por meio do meio de resfriamento ar ou por meio do fluido refrigerante. A capacidade do condensador em kW (kJ/s) determinada por meio do ar em circulação pode ser calculada usando-se a seguinte equação: $\dot{Q}_C = \dot{m}_L \times \Delta h_L$ A capacidade do condensador em kW (kJ/s) determinada por meio do fluido refrigerante em circulação pode ser calculada usando-se a seguinte equação: $\dot{Q}_C = \dot{m}_R \times q_C$
Na prática, essa abordagem para se determinar a capacidade do trocador de calor quase não é considerada. O fluxo das massas de ar e de fluido refrigerante tem que ser conhecido. Essa abordagem geralmente é usada nos testes de trocadores de calor. Na prática, normalmente, usam-se planilhas ou *software* de cálculo de circuito selecionados pelo fabricante, com base na capacidade calculada do sistema de refrigeração.	

Fonte: Rolf Huehren.

8.2.3.7 **Pressões no trocador de calor**

A Tabela 69 mostra uma visão geral das pressões do trocador de calor e dos fatores que influenciam as pressões/temperaturas de evaporação e condensação.

Tabela 69 – Pressões no trocador de calor

Evaporador	Condensador
A pressão de evaporação p_0 resulta da restrição do dispositivo de expansão e do efeito de sucção do compressor. Entretanto, a superfície, sua contaminação ou formação de gelo e o fluxo do volume ou temperatura de entrada do meio de resfriamento (ar, água ou salmoura) também influenciam a pressão/temperatura de evaporação atual.	A pressão de condensação p_c do fluido refrigerante muda significativamente nos condensadores refrigerados a ar com as mudanças nas condições do ambiente. Temperaturas externas altas levam a um aumento na pressão de condensação, enquanto temperaturas baixas levam a uma diminuição. Para um sistema de refrigeração funcionar eficientemente, a pressão de condensação deve ser mantida dentro de certos limites. Pressões de condensação altas resultam em menor capacidade de refrigeração e maior consumo de energia do compressor, enquanto pressões de condensação muito baixas afetam negativamente a função do dispositivo de expansão e prejudicam o suprimento do fluido refrigerante para o evaporador.

Continuação da Tabela 69 – Pressões no trocador de calor

⚠ Uma pressão/temperatura menor de evaporação reduz a capacidade de refrigeração. ⚠ A redução da temperatura de evaporação em um Kelvin (K) reduz a capacidade de refrigeração em aproximadamente 4%.	O controle contínuo da velocidade variável dos ventiladores do condensador é frequentemente usado para controlar as influências das condições da temperatura ambiente. Usar ventiladores controlados por pressostatos (liga/desliga) também é uma solução adequada, mas não tem a eficiência do controle de velocidade. ⚠ O aumento da temperatura de evaporação em um Kelvin (K) reduz a capacidade de refrigeração em aproximadamente 1,5%.

Fatores que influenciam a pressão/ temperatura de evaporação			Fatores que influenciam a pressão/ temperatura de condensação		
Ventilador(es) do evaporador com defeito	P_0	diminui	Ventilador(es) do condensador com defeito	P_C	aumenta
Aumento da temperatura do ar ou da salmoura	P_0	aumenta	Diminuição da temperatura ambiente	P_C	diminui
Diminuição da temperatura do ar ou da salmoura	P_0	diminui	Aumento da temperatura ambiente	P_C	aumenta
Aumento da área da superfície	P_0	aumenta	Sujeira no condensador	P_C	aumenta
Diminuição da área da superfície	P_0	diminui	Aumento do fluxo do volume de ar (ventilador extra)	P_C	diminui
Aumento do fluxo do volume de ar, água, salmoura	P_0	aumenta	Extensão da superfície	P_C	diminui
Poluição e formação de gelo na superfície	P_0	diminui	Redução da área da superfície	P_C	aumenta

Fonte: Rolf Huehren.

8.2.4 Trocador de calor, tipo de fabricação

Os trocadores de calor são projetados de formas diferentes, dependendo da área de aplicação.

Eles podem ser trocadores de calor a placa, mas também trocadores de calor em espiral ou trocadores de calor de casco e tubos.

No setor de AVAC-R, são muito comuns os trocadores de calor de tubo aletado em todos os tipos de projetos e formatos diferentes.

Várias tecnologias são particularmente adequadas para a transferência de calor entre meios líquidos (trocadores de calor a placa, conjunto de tubos e tubo duplo), outros são adequados para a transferência de substâncias gasosas para líquidas e vice-versa (trocadores de calor de tubo aletado, aleta e espiral) e outros ainda são particularmente adequados para transferências entre meios gasosos (trocadores de calor rotativos e de tubo de calor).

Os trocadores de calor geralmente são feitos de metal, devido à sua boa condutividade térmica, mas também há modelos feitos de plástico. Os trocadores de calor de aço inoxidável, particularmente, exigem pouca manutenção e não enferrujam, sendo usados normalmente em aplicações com R-744 e R-717. Os trocadores de calor feitos de cobre, alumínio ou aço inoxidável são frequentemente usados em aplicações de aquecimento, pois eles resistem à temperatura e não enferrujam.

8.2.4.1 **Evaporador**

A base do projeto do evaporador é o uso a que ele se destina. Até se saber mais sobre a aplicação, nenhum tipo em particular pode ser considerado mais adequado. Com a aplicação do trocador de calor, o tipo de fabricação pode ser similar no tocante a evaporadores ou condensadores. Por último, o dimensionamento e o acabamento serão considerados.

Basicamente, há três tipos de fabricação:

1. Evaporador de tubo sem revestimento;
2. Evaporador de tubo aletado;
3. Evaporador do tipo placa.

Evaporador de tubo sem revestimento:
A forma mais simples de evaporador é um tubo sem revestimento para um ou mais circuitos, que é dobrado ou espiralado, dependendo do uso. O fluido refrigerante é injetado nesse tubo, em que o fluido evapora. Evaporadores de tubo sem revestimento, também conhecidos como evaporadores de bobina, podem ser usados com ar, especialmente em compartimentos refrigerados e câmaras frigoríficas, bem como para líquidos. O material de fabricação depende da aplicação: cobre, alumínio ou aço inoxidável.

Evaporadores de tubo aletados:
Nos evaporadores aletados, as aletas de metal são montadas em conjuntos de tubos paralelos. As aletas são colocadas (pressionadas) sobre bobinas de tubo sem revestimento para aumentar a área da superfície efetiva do evaporador no lado externo.
Uma superfície com área maior aumenta o contato com o ar a ser refrigerado e, assim, aumenta a transferência de calor. Isso se deve ao fato de que há uma transferência de calor muito boa dentro do tubo devido ao fluxo (bolhas) do fluido refrigerante evaporando. No lado de fora, a transferência de calor entre o ar e o tubo é muito menor. Para compensar isso, a área da superfície no lado do ar é multiplicada pelas aletas.

Figura 292 – Evaporador de tubo sem revestimento



Fonte: Wuxi New Wuhuan Energy Saving Technology Co., Ltd.

Figura 293 – Evaporador de tubo aletado



Fonte: United Cooling Systems P.Ltd.

Esse tipo de trocadores de calor de tubo aletados é muito comum em AVAC-R e, normalmente, na aplicação como evaporadores para pontos de resfriamento usados em supermercados. O material de fabricação depende da aplicação: cobre, alumínio ou aço inoxidável.

Evaporador do tipo placa:
Hoje em dia, os evaporadores de placa são de dois tipos diferentes. Historicamente, eles consistem em duas placas de metal hermeticamente conectadas (geralmente alumínio), sendo também conhecidos como evaporadores do tipo roll bond (não aparecem na ilustração). O canal para o fluido refrigerante é moldado em uma ou ambas as placas.
Os evaporadores de placa também são fabricados de outras formas, mostradas na Figura 294, soldando-se uma bobina de tubo em uma placa ou pressionando-se uma bobina de tubo entre duas placas. Esse tipo de evaporador é geralmente usado em refrigeradores domésticos e pequenos refrigeradores comerciais para bebidas.

Evaporador do tipo placa (vários circuitos):
Um desenvolvimento mais recente das duas últimas décadas é o trocador de calor a placa, que, dependendo da capacidade, consiste em várias placas perfiladas, com cada segunda placa virada em 180°, de modo a se conseguir um grande número de intersecções.
O material de fabricação, normalmente, é aço inoxidável, permitindo que esse tipo de trocador de calor seja usado com fluidos refrigerantes agressivos (R-717) ou fluidos refrigerantes com pressões operacionais altas (R-744) para a aplicação em AVAC-R comercial ou industrial.
Eles estão disponíveis com projeto hermético (brasado), também para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis (R-290), e com projeto modular (rosqueados com gaxetas) e são usados como evaporadores, especificamente para fins de refrigeração com água ou salmoura. Além disso, o projeto compacto e a grande eficiência de transferência de calor favorecem seu uso. O trocador de calor do tipo placa consegue alto desempenho com pequenas dimensões, por exemplo, em comparação com um trocador de calor de conjunto de tubos ou tubo aletado.

Figura 294 – Evaporador do tipo placa – circuito único



Fonte: United Cooling Systems P.Ltd.

Figura 295 – Evaporador do tipo placa – vários circuitos com placas brasadas



Fonte: Alfa Laval.

8.2.4.2 **Condensador**

No geral, diferenciam-se três tipos de condensador com base nos meios de refrigeração.

1. Condensador refrigerado a ar;
2. Condensador refrigerado a água; e
3. Condensador evaporativo.

Uma forma híbrida é o condensador que passou a ser usado recentemente no contexto do ressurgimento do R-744 (CO_2) como fluido refrigerante. Trata-se de um condensador refrigerado a ar equipado com um sistema de pulverização de água usado especialmente em temperaturas ambiente altas para evitar que a temperatura de condensação aumente excessivamente. A água pulverizada sobre as aletas refrigera mais ainda enquanto se evapora (refrigeração evaporativa adiabática). O tipo de condensador *dry cooler* é considerado um trocador de calor de tubo aletado.

Condensador refrigerado a ar:
No condensador refrigerado a ar, o calor da condensação do fluido refrigerante é transferido para o ar ambiente. A pressão de condensação e, assim, a temperatura de condensação são determinadas pela interação de vários fatores (como material e superfície do trocador de calor, fluxo de volume de ar de refrigeração, fluido refrigerante, local de instalação em relação ao nível do mar, acabamento, etc.). Entretanto, a pressão de condensação deve ser sempre alta o suficiente para a temperatura de condensação ficar acima da temperatura ambiente do ar, ou o condensador não conseguirá transferir o calor para o ar ambiente ao redor.

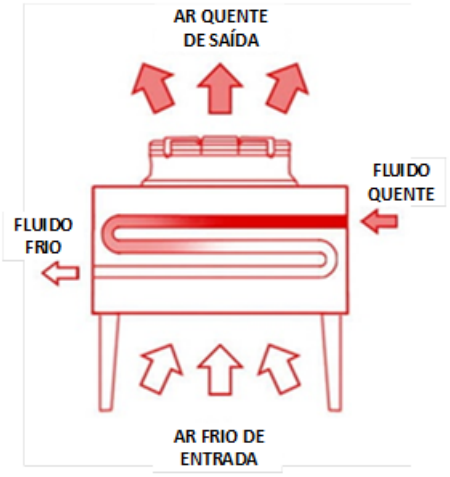
Dry cooler:
Um *dry cooler* é um dispositivo de troca de calor muito similar ao condensador de tubo aletado e é usado para dissipar o calor em excesso de um sistema, normalmente usando o ar ambiente para refrigerar um fluido, como água ou mistura de glicol (salmoura). O fluido circula por meio de bobinas e tubos no refrigerador, e os ventiladores sopram o ar por essas bobinas para transferir o calor para a atmosfera.
Os *dry coolers* são normalmente usados em aplicações como sistemas de AVAC, processos de refrigeração industrial e refrigeração de data centers. Por causa do circuito fechado da salmoura, a principal vantagem deles é evitarem o consumo de água e minimizarem o risco de formação de placas ou contaminação dos tubos, pois não requerem um suprimento de água direto como um condensador evaporativo.

Figura 296 – Condensador de tubo aletado



Fonte: Friga-Bohn.

Figura 297 – Princípio funcional do *dry cooler*



Fonte: Inpart.

Condensador refrigerado a água:
No condensador refrigerado a água, o calor do fluido refrigerante em condensação é absorvido pela água da refrigeração. Assim como no condensador refrigerado a ar, o fluido refrigerante superaquecido primeiro se refrigera até a temperatura de condensação e, só aí, se condensa. Os canais de fluxo do fluido são organizados pelo princípio do fluxo contrário. A temperatura de condensação do fluido refrigerante é sempre maior do que a temperatura de entrada da água de refrigeração. Como a temperatura de entrada da água de refrigeração é menor do que a temperatura do ar, no caso de condensadores refrigerados a ar, a pressão de condensação dos condensadores refrigerados a água é, geralmente, menor. A pressão de condensação é um resultado da temperatura de entrada da água de resfriamento, a temperatura de saída dessa água, a superfície do condensador e a quantidade de fluido refrigerante a ser condensada. Geralmente, a temperatura de condensação é regulada por uma válvula de controle de água orientada por temperatura ou pressão. A água evaporada para o ambiente precisa ser reabastecida por meio de um controlador de nível da água.
Esses tipos de condensadores são usados em várias aplicações em que é necessária uma dissipação eficiente do calor. Eles são comumente empregados nestas áreas:

- Sistemas grandes de refrigeração e ar condicionado industriais;
- Sistemas de ar condicionado para edifícios: em grandes prédios comerciais ou públicos;
- Refrigeração de data centers: em salas de servidores, em que refrigerar a infraestrutura de TI é crucial para evitar o superaquecimento;
- Refrigeração de processos: nos processos de manufatura, como processamento de plástico ou trabalhos em metal, em que máquinas e equipamentos precisem ser refrigerados;
- Câmaras frigoríficas e armazéns: para refrigerar alimentos ou quaisquer outros bens sensíveis à temperatura em grandes instalações de armazenamento; e
- Aplicações marítimas: em plataformas marítimas ou embarcações, em que a refrigeração das máquinas e outros sistemas pode ser gerenciada eficientemente usando-se a água ao redor.

Os condensadores refrigerados a água frequentemente têm uma vantagem sobre os sistemas refrigerados a ar em termos de eficiência, especialmente em ambientes em que uma temperatura consistente para a água de refrigeração está disponível.

Figura 298 – Condensador refrigerado a água



Fonte: SBL Engineering.

Condensador evaporativo:
Condensador evaporativo é um dispositivo de transferência de calor que refrigera um fluido, normalmente, um fluido refrigerante ou água. Ele funciona passando um fluido quente por uma bobina, que é pulverizada com água enquanto o ar é sugado sobre ela. Conforme a água evapora, ela absorve calor do fluido dentro da bobina, refrigerando o fluido. O fluido refrigerado pode, então, ser recirculado em um sistema de refrigeração ou resfriamento.
A refrigeração adiabática é envolvida na operação de um condensador evaporativo. No processo, o ar é refrigerado pela água que se evapora, o que reduz a temperatura do ar sem adicionar calor ao sistema, fazendo desse um processo adiabático. Esse método tem eficiência energética, pois combina refrigeração com água e com ar.

Condensador do tipo placa:
A tecnologia é quase idêntica à dos evaporadores do tipo placa.
O condensador do tipo placa é um tipo de trocador de calor que usa uma série de finas placas de metal onduladas para transferir calor entre dois fluidos. Essas placas são empilhadas juntas, criando canais alternativos para o fluido quente (como um fluido refrigerante) e um meio de refrigeração (como água, salmoura ou ar). Conforme os fluidos passam por esses canais, o calor do fluido quente é transferido para o meio de refrigeração por meio das placas de metal, condensando o fluido refrigerante de gás para líquido.
Os condensadores do tipo placa são eficientes por causa da grande área da superfície fornecida pelas placas, permitindo a rápida transferência de calor em um projeto compacto. Eles são comumente usados em aplicações de refrigeração comercial e industrial e sistemas de ar condicionado para resfriamento.

Trocador de calor de microcanal
O trocador de calor de microcanal ou *microchannel heat exchanger* (MCHE) é um trocador de calor compacto e de alta eficiência que usa pequenos tubos planos com canais bem pequenos (microcanais) para transferir o calor entre fluidos. Os tubos são tipicamente feitos de alumínio, e os microcanais aumentam a área da superfície de transferência de calor, melhorando a eficiência.
Nesse projeto, o fluido refrigerante se desloca por meio dos microcanais, enquanto o ar ou um outro fluido se desloca pela superfície externa de tubos e aletas, transferindo o calor entre eles. Os MCHEs são vastamente usados em sistemas automotivos, AVAC e de refrigeração devido ao seu tamanho compacto, construção leve e melhor desempenho de transferência de calor em comparação com os trocadores de calor casco e tubos tradicionais.

⚠ Eles também usam menos fluido refrigerante e, por isso, são adequados para aplicações com fluido refrigerante inflamável e podem reduzir o consumo de energia.

Figura 299 – Condensador evaporativo



Fonte: Zhejiang Damai Cold Chain Equipment Co., Ltd.

Figura 300 – Trocador de calor de placa soldada para uso como condensador e evaporador



Fonte: Oumefar.

Figura 301 – Trocador de calor de microcanal

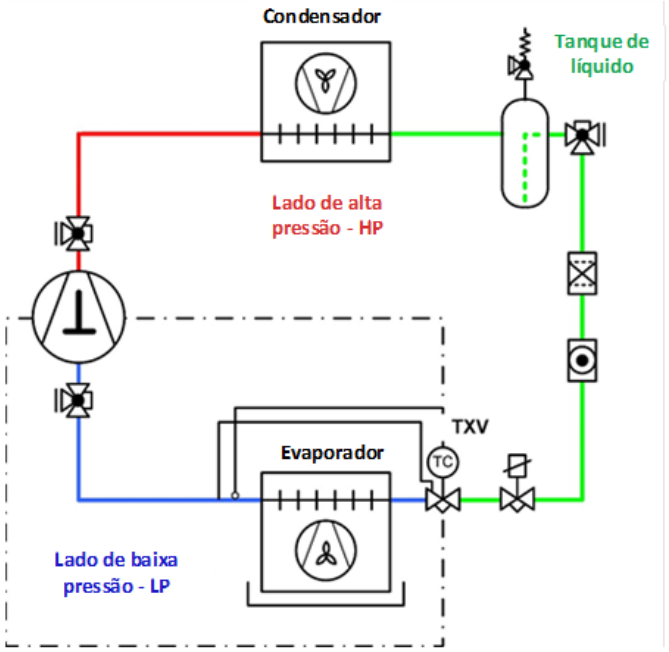


Fonte: Danfoss.

8.3 **Tanque de líquido**

O tanque de líquido normalmente é instalado no circuito de refrigeração diretamente abaixo do condensador, na linha do condensado, como um tanque de armazenamento para fluido refrigerante líquido, garantindo a operação segura da válvula de expansão.

Figura 302 – Local genérico do tanque de líquido dentro do circuito de refrigeração



Fonte: Rolf Huehren.

A capacidade de refrigeração de um sistema de refrigeração diminui, significativamente, se houver bolhas de vapor no fluido refrigerante acima do dispositivo de expansão. Para evitar essa condição operacional, o fluido refrigerante geralmente é sub-resfriado. Entretanto, o sub-resfriamento no condensador causa um acúmulo de fluido refrigerante líquido e, assim, aumento na temperatura de condensação.

Nos sistemas de refrigeração com modos operacionais variáveis, como temperaturas de evaporação diferentes ou vários evaporadores e condições de carga, a carga do fluido refrigerante no evaporador muda consideravelmente em determinadas circunstâncias. O fluido refrigerante que não for necessário no evaporador, atualmente, deverá ser armazenado no lado de alta pressão, sem quaisquer efeitos prejudiciais. Essa situação é um argumento favorável ao uso de um tanque de líquido.

- ⚠ O tanque vertical recebe uma quantidade de carga menor do que a de um tanque horizontal;
- ⚠ Um tanque, no fluxo de *bypass*, praticamente não precisa de uma quantidade de carga mínima;
- ⚠ Para garantir a separação de fase completa, o tanque não pode ser infinitamente pequeno; e
- ⚠ Para esse fim, um fluxo máximo de massa deve ser mantido, para um diâmetro definido do tanque, de forma que as bolhas de gás possam surgir no tanque e a separação de fase ocorra.

Figura 303 – Exemplo de tanque de líquido (todos os fluidos refrigerantes) 22,8 litros



Fonte: Temprite.

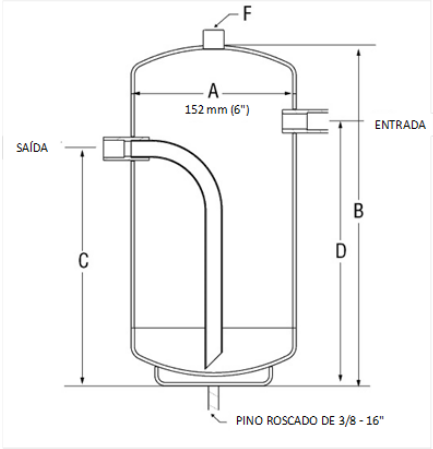
Figura 304 –Tanque de líquido para aplicação com R-744 PS 60 bar com trocador de calor interno para operação de sistema de refrigeração interno



Fonte: ESK Schultze.

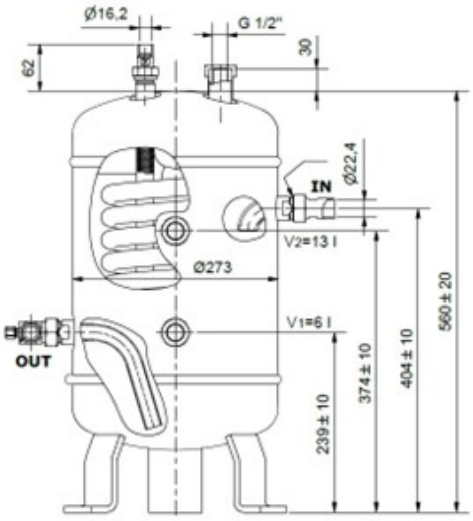
F = conexão para válvula de segurança ou disco de ruptura
Saída = fluido refrigerante retirado do fundo do vaso de pressão
Saída = a ser equipada com válvula de bloqueio

Figura 305 – Exemplo de desenho de seção do tanque de líquido



Fonte: Temprite.

Figura 306 – Exemplo de desenho de seção de tanque de líquido com 21 litros para R-744 e com trocador de calor interno PS 6 MPa



Fonte: ESK Schultze.

8.3.1 **Considerações para instalação do tanque de líquido**

Se o tanque de líquido tiver as dimensões suficientes, poderá conter toda a carga de fluido refrigerante do sistema. O fluido refrigerante pode ser realocado ("*pump out*") até o tanque para trabalho de manutenção ou reparo, especificamente nos evaporadores.

Sistema "*pump out*"

Para reparos no circuito de refrigeração, é necessário fazer o recolhimento ("*pump out*") fechando-se a válvula de bloqueio do líquido na saída do tanque.

⚠ Certifique-se de que o fluido refrigerante alocado para o tanque não crie pressão operacional em excesso (e monitore). Considere a PS máxima do tanque.

O tanque deve ser instalado sempre na posição especificada. O ideal é ele ficar posicionado levemente mais baixo do que a saída do condensador, de modo que o fluido refrigerante seja drenado para o tanque, sem se acumular, e as bolhas do gás possam fluir do tanque de volta para o condensador.

Não há sub-resfriamento líquido internamente na área do nível do líquido no tanque (líquido saturado).

Se o nível do tanque estiver alto ou o tanque estiver resfriado pelos ventiladores do condensador, algum sub-resfriamento ocorrerá na saída.

Os tanques que podem ser fechados de ambos os lados (entrada e saída) devem ser protegidos contra pressão excessiva devido à expansão do líquido por uma válvula de segurança (veja também ABNT NBR ISO 5149-2).

8.3.2 Dimensionamento do tanque de líquido

O tamanho do tanque de líquido depende da carga de fluido refrigerante do sistema; e se ele deve conseguir conter toda a carga do fluido refrigerante durante os reparos, sem ocorrer excesso de pressão do líquido (cálculo de 90%).

Com uma carga mínima menor, o tanque em pé libera um suprimento suficiente de fluido refrigerante líquido para a linha de líquido de saída. Devido à menor área de superfície do líquido, a transferência de calor do vapor saturado para o líquido sub-resfriado é reduzida. O mesmo se aplica ao tanque colocado na diagonal.

Condensadores refrigerados a água geralmente também são projetados para armazenamento de líquido, então, não há necessidade de um tanque de líquido em separado.

A falta de um tanque de líquido em um sistema de refrigeração, dessa forma, não significa que o sistema não possa armazenar fluido refrigerante. Para condensadores refrigerados a ar, com controle de operação de inverno, pelo acúmulo de fluido refrigerante no condensador, a carga deverá ser grande o bastante para garantir que ainda haja fluido refrigerante suficiente no circuito durante o acúmulo. De acordo com isso, o tanque também precisa ser maior para o caso de não haver acúmulo (operação de verão) ou para fins de manutenção. O mesmo se aplica aos sistemas com recuperação de calor, em que a acumulação acontece temporariamente.

Para sistemas de tubulação de fluido refrigerante distribuído e sistemas maiores, o seguinte cálculo de tamanho pode se aplicar:

O tamanho do tanque de líquido é a soma de:	**1.** Aproximadamente 30% a 50% do volume do condensador do fluido refrigerante;
	2. Aproximadamente 30% do volume do(s) evaporador(es);
	3. Volume de toda a tubulação de líquido do fluido refrigerante.
O volume dos tubos contendo gás pode ser negligenciado.	

8.3.3 Detecção do nível de carga do fluido refrigerante líquido

Os tanques de líquido maiores para fluido refrigerante frequentemente são equipados com um indicador de nível do fluido que mostra, pelo menos, o nível máximo. Além disso, os sensores para monitoramento de nível são frequentemente instalados como um sistema de detecção de vazamentos. Se o nível do tanque do líquido estiver muito baixo, uma mensagem de alarme será acionada.

8.3.4 Redução da carga de fluido refrigerante para fluidos refrigerantes inflamáveis

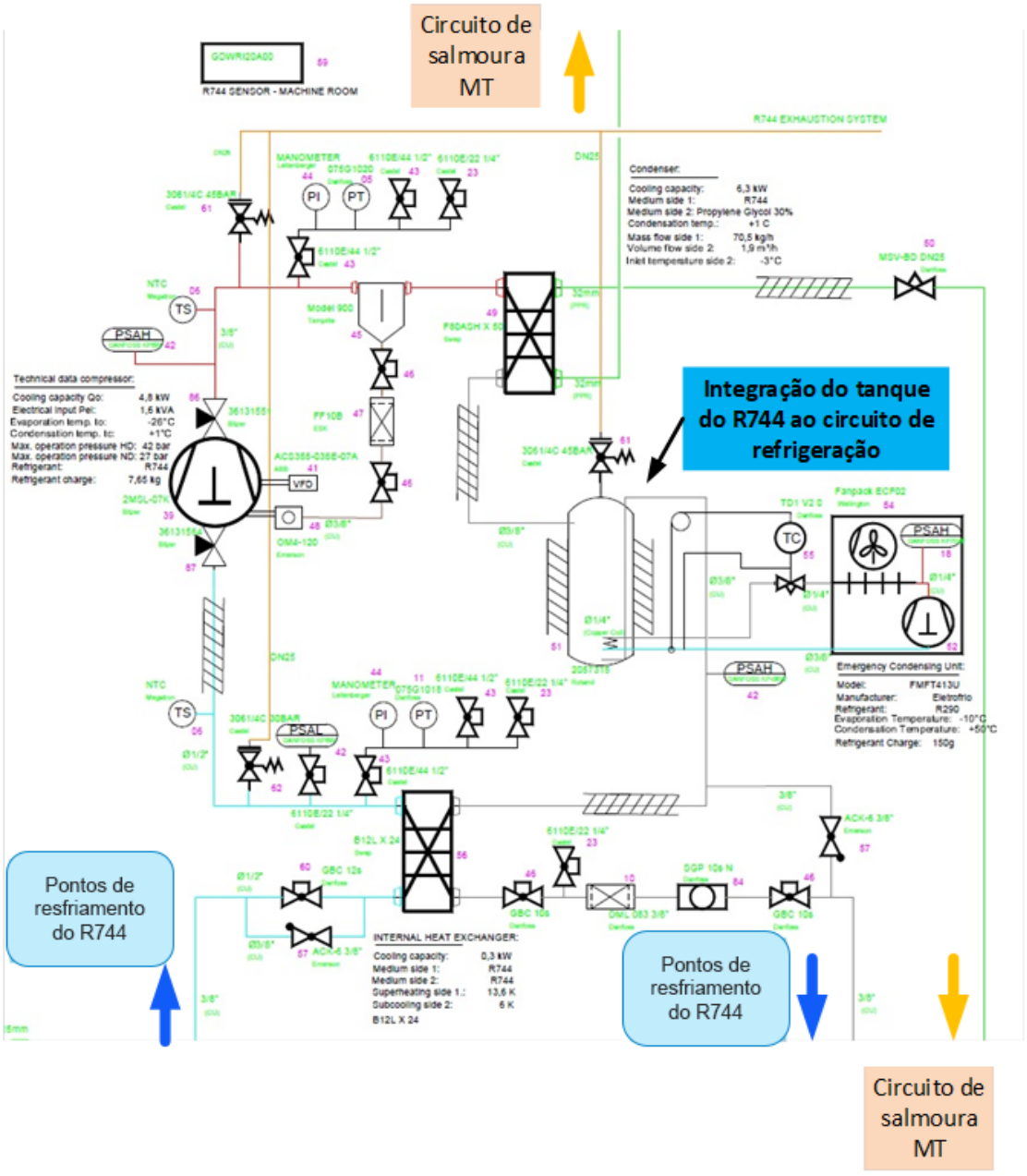
Se for necessário reduzir e limitar a carga de fluido refrigerante de uma unidade de refrigeração de hidrocarboneto, o sistema normalmente será projetado sem um tanque de líquido. Se não houver tanque de líquido, será necessário ajustar a quantidade do fluido refrigerante com mais precisão, e atingir condições específicas de projeto, para manter a carga ideal.

A demanda por quantidades de carga de fluido refrigerante menores, por motivos de segurança, economia e ecologia, requer uma consideração cuidadosa da quantidade de carga logo na fase de projeto do sistema. O objetivo, assim, deve ser reduzir a quantidade de carga ou o tamanho do tanque de líquido. Menores volumes do tanque resultam nestas vantagens:

⚠ Tanque de líquido menor com melhor custo-benefício;
⚠ Redução na quantidade e custos do fluido refrigerante;
⚠ Execução reduzida dos recursos relacionados à segurança; e
⚠ Menos emissões de fluido refrigerante no caso de uma liberação acidental do fluido refrigerante, aumentando a segurança operacional.

8.3.5 **Integração do tanque de líquido dentro do circuito de refrigeração em cascata com R-744 (extrato)**

Figura 307 – Extrato da integração do circuito em cascata do R-744 e do tanque de líquido



Fonte: Eletrofrio.

8.4. Controladores primários e secundários

Os controladores primários e secundários regulam o fluxo do fluido refrigerante no circuito de refrigeração. Para isso, o fluxo do fluido refrigerante deve estar de acordo com os requisitos de desempenho. Se houver uma demanda maior por capacidade de refrigeração, por exemplo, quando produtos refrigerados novos estão sendo colocados em uma câmara frigorífica, mais fluido refrigerante precisará ser evaporado dentro do evaporador.

Além disso, também existem controles necessários para garantir que todo o conteúdo do circuito de refrigeração, como o evaporador, o condensador e o compressor, seja operado na faixa ideal de pressão e temperatura. Essas são as condições para garantir que um sistema de refrigeração esteja funcionando com segurança e economia.

8.4.1. Controlador primário – tipos de dispositivo de expansão

Na linguagem técnica, os controladores primários também são chamados de dispositivos de expansão. Eles regulam diretamente o desempenho do evaporador através do fluxo de fluido refrigerante injetado.

Destacam-se quatro tipos diferentes de dispositivos de controle primário:

1. Tubo capilar;
2. Válvula de expansão automática ou operada por pressão;
3. Válvula de expansão termostática; e
4. Válvula de expansão eletrônica.

O elemento de expansão regula a pressão alta do fluido refrigerante até a pressão do evaporador. Esse processo de expansão pode ser considerado próximo à isentalpia (termo da termodinâmica que descreve uma mudança de estado em que a entalpia permanece constante).

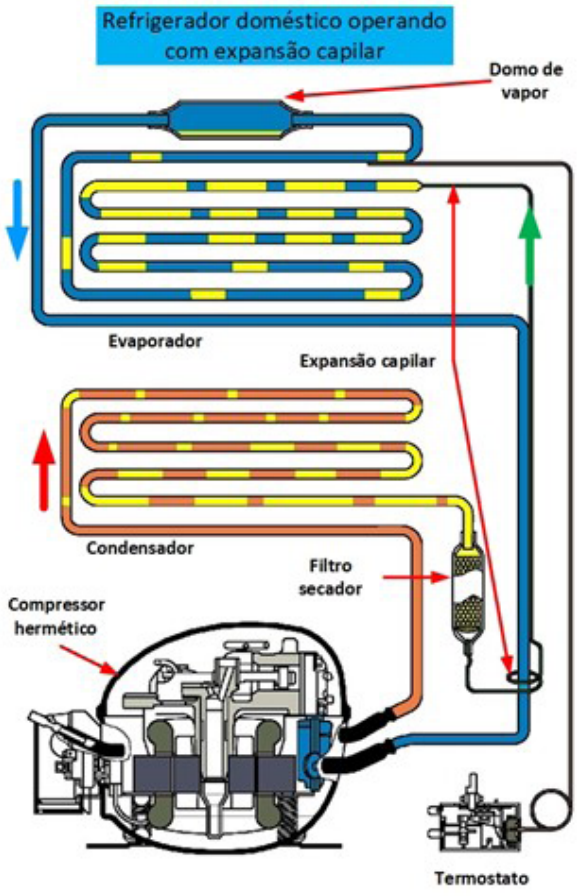
No ponto inicial da expansão (injeção), ele faz com que parte do fluido refrigerante evapore. A entalpia de evaporação necessária é extraída do fluido refrigerante remanescente, que se esfria. O elemento de expansão também pode ser chamado de controlador de vazão do fluido refrigerante. Além do compressor, ele é o mais importante elemento de controle na regulação de um sistema de refrigeração.

8.4.1.1. A expansão do tubo capilar

A expansão do tubo capilar é o mais simples elemento de expansão, consistindo em um estreitamento na linha de transferência de fluido refrigerante líquido para o evaporador (tubo capilar). A restrição do capilar causa uma queda de pressão.

As expansões do tubo capilar são simples e confiáveis. Entretanto, elas são adequadas apenas para quantidades exatas, determinadas e pequenas em sistemas com condições operacionais estáveis, como refrigeradores domésticos e alguns sistemas de ar condicionado do tipo split simples.

Figura 308 – Refrigerador operado com expansão capilar



Fonte: SECOP GmbH.

O dimensionamento da válvula de expansão capilar é executado manualmente pelo fabricante e testado antes da produção em série. Um programa de cálculo para sistemas de tubos capilares pode ser encontrado neste link: https://www.secop.com/products/software-tools/classic-pc-software-tools

8.4.1.2 **Válvula de expansão automática (VEA)**

A válvula de expansão automática (VEA) é usada como um dispositivo de expansão simples e é basicamente um controlador de pressão constante. Ela mantém a pressão no lado de saída para a entrada do evaporador quase constante após ser definida no parafuso regulador.

A VEA é usada apenas em sistemas menores de evaporador simples porque seu comportamento de controle não garante o preenchimento ideal do evaporador em todos os estados operacionais.

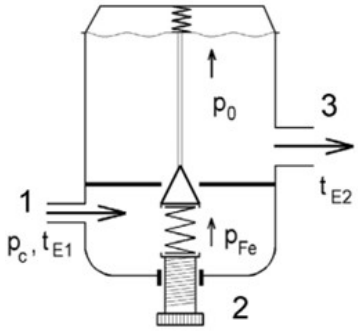
Quando a carga de refrigeração aumenta, a VEA se fecha para manter constante a crescente pressão de evaporação. Apesar da maior transferência de calor, há menos fluido refrigerante disponível para evaporação, o superaquecimento aumenta, e o evaporador fica menos bem carregado. Assim, o tempo de refrigeração aumenta.

A VEA com tubo de desvio tem um projeto especial que ativa a equalização da pressão quando o sistema está ocioso e, assim, permite que o compressor dê a partida mais facilmente.

Entretanto, esse tipo de válvula tem duas desvantagens. Primeiro, a válvula tende a se abrir para manter a pressão de descarga quando a carga diminui (resultando em uma queda na pressão do evaporador). Entretanto, o evaporador acaba recebendo muito fluido refrigerante, causando golpe de aríete e podendo danificar o compressor. Os sistemas de refrigeração com VEA podem, assim, ser operados somente com um termostato do evaporador.

A temperatura de evaporação constante desse tipo de válvula faz com que ela seja útil para pequenos refrigeradores e para congeladores. A válvula de expansão automática também pode ser usada onde a temperatura de evaporação precise ficar perto de 0 °C sem congelamento.

Figura 309 – Desenho do funcionamento da válvula de expansão automática



Fonte: Egelhoff.

Figura 310 – Válvula de expansão automática



Fonte: Honeywell.

1	Linha de líquido do fluido refrigerante
2	Parafuso de regulação
3	Linha de injeção do fluido refrigerante
p_0	Pressão de evaporação
p_{Fe}	Força do parafuso de regulação
p_c	Pressão de condensação
t_{E1}	Temperatura de sub-resfriamento na entrada da VEA
t_{E2}	Temperatura de evaporação na saída da VEA

8.4.1.3 Válvula de expansão termostática (VET)

Após o condensador, o fluido refrigerante líquido – com alta pressão e temperatura sub-resfriada – é direcionado para o dispositivo de expansão termostática (VET). Esse dispositivo restringe o fluxo, forçando o fluido refrigerante a passar por um pequeno orifício, o que causa uma queda de pressão até a pressão do evaporador. Dois tipos diferentes de VET são mostrados na Figura 311 e na Figura 312.

A válvula de expansão termostática garante que um evaporador sempre receba tanto fluido refrigerante quanto ele puder evaporar. Ela mantém constante a diferença de temperatura entre a entrada e a saída do evaporador, independentemente das condições operacionais. A temperatura de evaporação muda com a temperatura no ponto de resfriamento.

A VET tem três partes básicas (veja também Figura 313 a Figura 316):

1. O conjunto da cabeça hidráulica contendo um diafragma;
2. O tubo capilar e o bulbo conectados à cabeça hidráulica com carga que, conforme se expande e se contrai, exerce pressão variável no diafragma; e
3. O corpo da válvula, com um ou mais contrapinos operados pelo diafragma; os contrapinos regulam a abertura de um orifício através do qual o fluido refrigerante é medido no evaporador.

O movimento dos contrapinos depende da pressão no diafragma, que sofre a pressão de uma mola. A força da mola, que determina o superaquecimento estático, pode ser fixa ou ajustável.

A função da VET depende do relacionamento entre as seguintes pressões fundamentais:

A **pressão de carga do bulbo** age na superfície superior do diafragma, movendo-o na direção de abertura da válvula.

Duas pressões se opõem à pressão do bulbo. A pressão de evaporação é introduzida por uma equalização interna ou externa. Essa pressão de equalização age na face inferior do diafragma, na direção do fechamento da válvula.

Observação: A **pressão de evaporação** e a **pressão de equalização** devem ser sempre iguais.

A **pressão da mola** também age na face inferior do diafragma, na direção do fechamento. Em uma válvula com superaquecimento ajustável, a pressão da mola pode ser ajustada manualmente.

Conforme a válvula de expansão se regula, há um equilíbrio entre a pressão do bulbo, em um lado do diafragma, e a pressão de equalização mais a pressão da mola no outro lado. Esse equilíbrio pode ser perturbado de duas formas:

1. Quando a força da mola é ajustada manualmente, há uma mudança proporcional no superaquecimento estático da VET;
2. Uma mudança na carga de refrigeração alterará a pressão de evaporação do fluido refrigerante e, assim, a pressão de equalização no diafragma. Essa mudança ocorre na proporção da variação da temperatura do tubo de saída do evaporador ao qual o tubo está preso. Qualquer alteração na temperatura é transmitida do bulbo, atrás do tubo capilar, até o diafragma.

O equilíbrio das forças é distribuído até que um novo equilíbrio seja atingido conforme mais fluido refrigerante for injetado no evaporador e a demanda de carga de refrigeração for atendida.

Durante a evaporação, a pressão/temperatura do líquido expandido cai até o nível da pressão/temperatura de saturação do evaporador. Esse processo de expansão resulta na formação de vapor (evaporação). O fluido refrigerante líquido precisa admitir calor do produto (ou espaço) para ser refrigerado de modo a executar a mudança de estado do líquido para vapor. O fluido refrigerante usado e a capacidade do sistema de RAC determina o tamanho desse dispositivo.

As VETs devem ser projetadas para instalação com brasagem, a fim de minimizar a quantidade de conexões flangeadas dentro do circuito de refrigeração. Isso é importante, considerando que a válvula está sujeita ao estresse térmico com a contração e a expansão conforme se esfria, quando operacional, e se aquece, quando nenhum fluido refrigerante é injetado. Há risco de as conexões flangeadas ficarem soltas e vazarem.

Figura 311 – Equalização da pressão interna da válvula de expansão termostática para conexão com brasagem



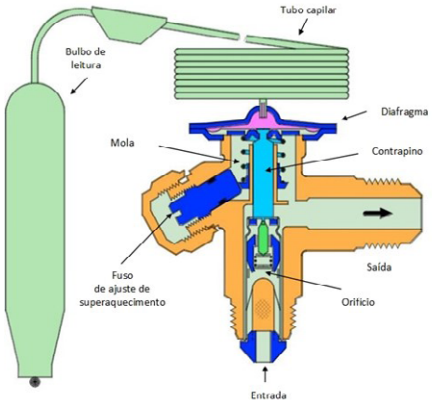
Fonte: Parker.

Figura 312 – Válvula de expansão termostática com equalização da pressão externa para conexão com brasagem



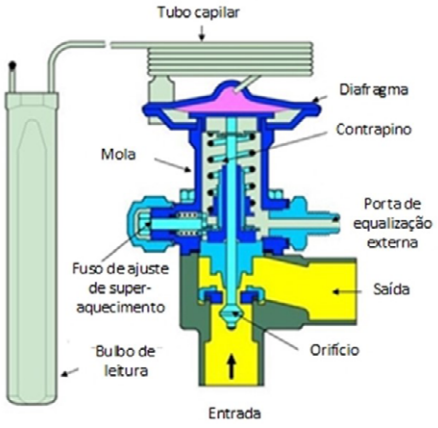
Fonte: Parker.

Figura 313 – Desenho do funcionamento da equalização da pressão interna da válvula de expansão termostática para conexão parafusada



Fonte: Parker.

Figura 314 – Desenho do funcionamento da válvula de expansão termostática com equalização da pressão externa para conexão com brasagem



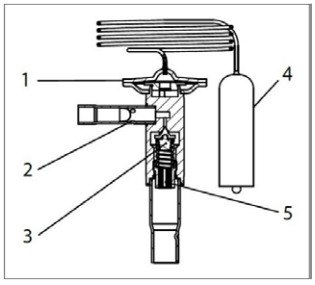
Fonte: Parker.

Figura 315 – Desenho do funcionamento da equalização da pressão interna da válvula de expansão termostática para conexão parafusada



Fonte: Parker.

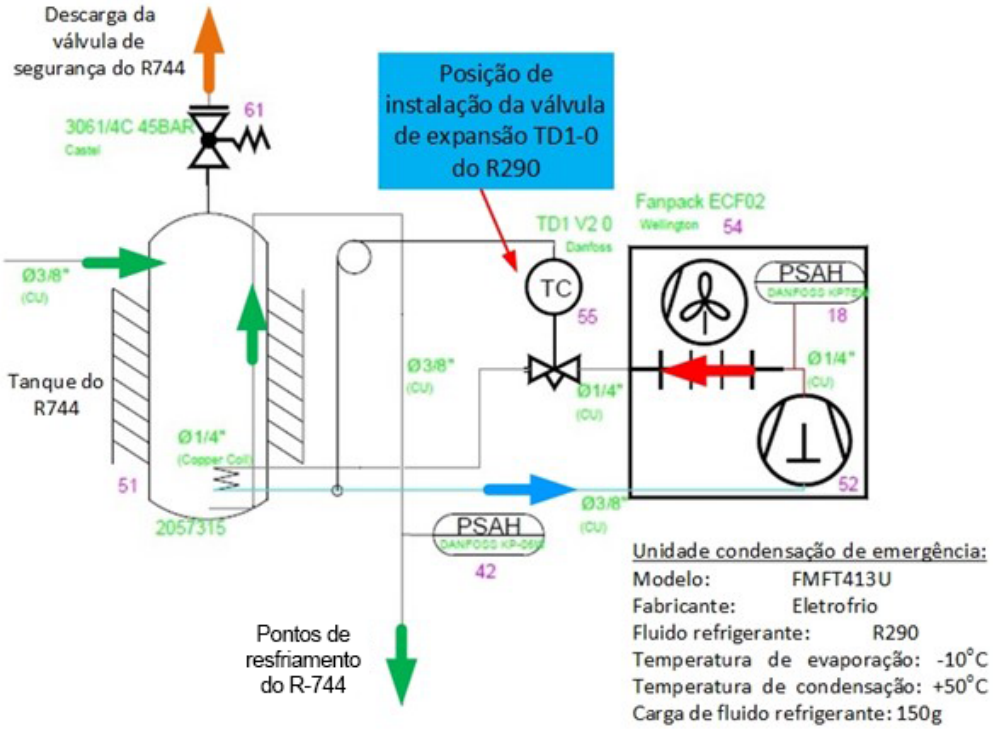
Figura 316 – Válvula de expansão termostática (visão esquemática)



1	Elemento termostático (diafragma)
2	Filtro
3	Conjunto do orifício fixo
4	Bulbo com tubo capilar
5	Parafuso de configuração travado

Fonte: Danfoss.

Figura 317 – Organização do sistema de resfriamento de emergência da VET TD1-0 da Danfoss para o R-290 – equalização da pressão interna (nº. 55)

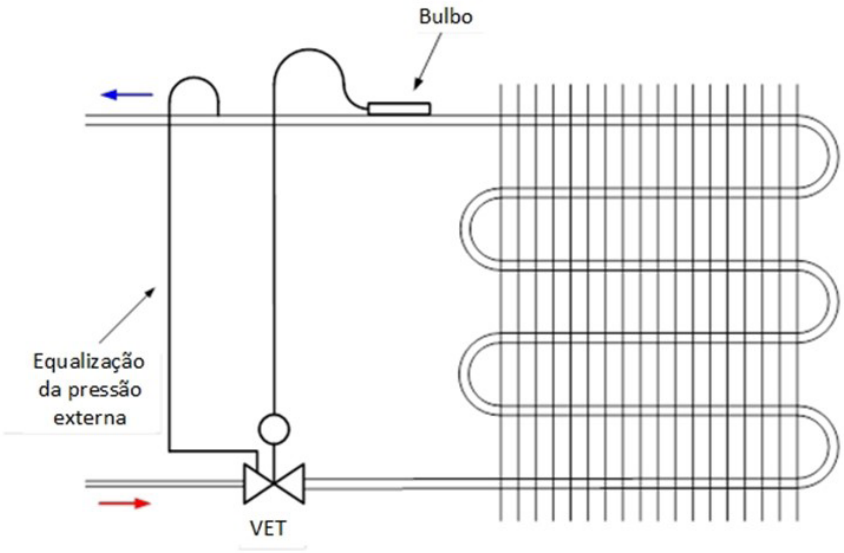


Fonte: Eletrofrio.

Instalação da válvula de expansão termostática

De maneira geral, as instruções do fabricante para a instalação da válvula de expansão termostática devem ser seguidas! A Figura 318, alação típica da VET, indica a posição de instalação da VET com equalização da pressão externa.

Figura 318 – Instalação típica da VET

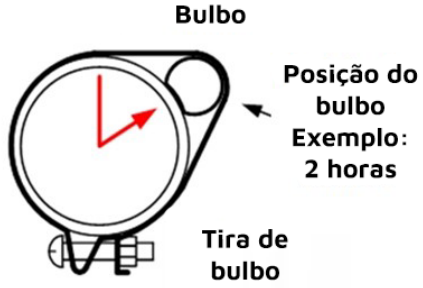


Fonte: Rolf Huehren.

A válvula de expansão deve ser instalada na linha de líquido à frente do evaporador, com seu bulbo preso na linha de sucção o mais próximo possível do evaporador. Se houver uma equalização da pressão externa, a linha de equalização deve ser conectada à linha de sucção imediatamente após o bulbo no sentido do fluxo (e direcionada de cima para dentro da linha de sucção para evitar entupimento por óleo). Como regra básica, o lugar da instalação do bulbo deve ter uma zona de fluxo direto de cerca de "diâmetro do tubo x 10". O bulbo nunca deve ser instalado nas partes verticais da linha de sucção.

O bulbo é montado melhor em um tubo da linha de sucção direta horizontal (não na superfície dos acessórios ou juntas) e em uma posição entre duas e quatro horas, como na Figura 319. O local depende do diâmetro externo do tubo de sucção. O bulbo nunca deve ficar localizado no fundo da linha de sucção, pois pode haver óleo no fundo do tubo, o que causaria sinais incorretos.

Figura 319 – Exemplo da posição do bulbo na linha de sucção de diâmetro de 18 mm (3/4")



Posição do bulbo de acordo com a dimensão do tubo de sucção:

- 10 ou 2 horas para diâmetro do tubo até 22 mm (7/8");e
- 4 ou 8 horas para diâmetro do tubo acima de 22 mm (7/8").

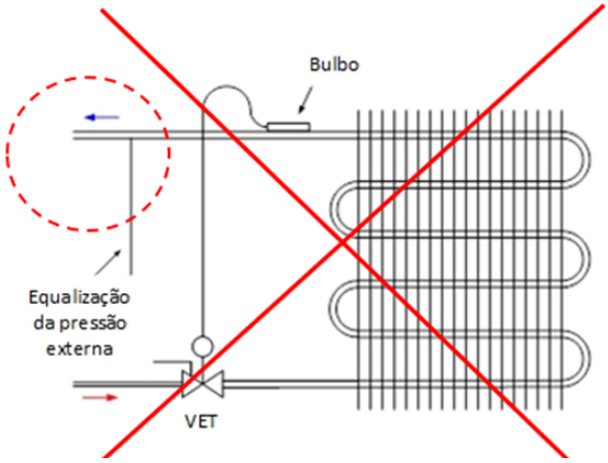
Fonte: HEAT GmbH.

Mais algumas dicas para a instalação das válvulas de expansão:

- O bulbo deve ser conectado ao tubo com uma alça de bulbo de metal. A função principal dessa tira de bulbo é manter a transferência de calor do tubo de sucção para o bulbo da VET. **Não é permitido usar uma braçadeira de cabo para instalar o bulbo;**
- O bulbo deve poder detectar a temperatura do vapor de sucção superaquecido. Assim, o ponto de instalação do bulbo deve ser isolado. Isso é especificamente importante se houver uma diferença grande de temperatura entre o tubo de sucção e o ambiente ao redor;
- O bulbo não deve ser instalado após um trocador de calor interno porque, nessa posição, enviará um sinal falso à VET;
- O bulbo não deve ser instalado perto de componentes de massa grande (válvulas de bloqueio, válvulas solenoides), pois isso também enviará um sinal falso à VET; e
- Como já mencionado, o bulbo não deve ser instalado em linhas de sucção verticais. Além disso, ele não deve ser instalado no coletor de um evaporador ou em tubo ascendente após uma bolsa de óleo.

A equalização da pressão não deve ficar na linha de sucção a partir do fundo. Espirais organizadas verticalmente ou tubos capilares não devem ser usados. Isso evita que a linha de equalização de pressão fique entupida (ver Figura 320).

Figura 320 – Conexão falsa da linha de equalização de pressão



Fonte: Rolf Huehren.

Fazer a brasagem da válvula de expansão termostática para o tubo de transferência de fluido refrigerante não exige normalmente a desmontagem do corpo da válvula (para dimensões menores). Devem ser tomadas medidas para evitar o aquecimento da válvula.

Etapas importantes da instalação com brasagem – qualquer válvula de regulação

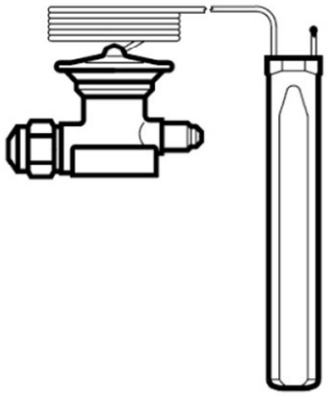
1. Aplique uma pasta de bloqueio de calor ou um pano molhado na junta de brasagem, entre o conector da junta de brasagem de cobre e o tubo de transferência do fluido refrigerante;
2. Aqueça primeiro o tubo de cobre que entra no conector, depois aplique o calor ao conector e aplique a solda para concluir a conexão;
3. Mantenha sempre a chama direta afastada do corpo da válvula;
4. Recomenda-se usar uma solda de prata para fazer a junta; calor em excesso pode danificar a válvula de expansão.

Para válvulas de dimensões maiores, após tirar a válvula do tubo, o corpo da válvula deve ser removido para proteger os *O-rings* e gaxetas do calor aplicado pela brasagem. Para sistemas recém-instalados ou para reparos em geral, sempre que for possível, é recomendado fazer o *flushing* (lavagem) dos tubos e da válvula com nitrogênio seco sem oxigênio (OFDN).

Sensor de contato duplo

Os sensores de contato duplo são sensores de temperatura, patenteados pela Danfoss, para válvulas de expansão termostáticas e termostatos, cujo corpo cilíndrico é moldado de tal forma que haja um contato de linha duplo e, assim, melhor transferência de calor.

Figura 321 – VET com sensor de contato duplo



Fonte: Danfoss.

8.4.1.4 **Válvula de expansão eletrônica (VEE)**

A válvula de expansão eletrônica é um dispositivo de expansão que, quase como a válvula de expansão termostática, regula o superaquecimento, que, entretanto, não é controlado mecanicamente, mas eletronicamente, por um controlador eletrônico adicional.

Esse controlador geralmente mede a temperatura na entrada do evaporador (= temperatura de evaporação) e a temperatura do gás de sucção, na saída do evaporador, e usa a diferença de temperatura resultante como uma medição para o abastecimento do evaporador com fluido refrigerante.

Na prática, três projetos de válvula são os mais usados:

1. Válvulas moduladas pela largura do pulso;
2. Válvulas controladas pelo motor de passo; e
3. Válvulas com acionamento térmico.

Válvulas moduladas pela largura do pulso (por exemplo, AKV, da Danfoss) são, em princípio, válvulas solenoides que se abrem em ciclos de seis segundos e regulam o abastecimento do evaporador, por meio do tempo de abertura definido pelo controlador dentro de um ciclo. Assim, elas também substituem a válvula solenoide usual na linha de líquido.

Em sistemas de evaporador único com tubulação curta, elas podem levar a pulsações de pressão disruptivas. Seu domínio é na aplicação em supermercados (sistema de refrigeração composto).

No caso de válvulas com motores de passo (veja Figura 322), o controle do motor recebe um sinal do controlador associado a funcionar no sentido horário ou anti-horário ou em estado constante.

Independentemente de sua "função normal", o motor de passo pode fechar a válvula e, assim, assumir a função da válvula solenoide, o que também é garantido em um estado desenergizado por meio de um buffer de tensão integrado.

Figura 322 – Válvula de expansão eletrônica com motor de passo



Fonte: Carel E2V05.

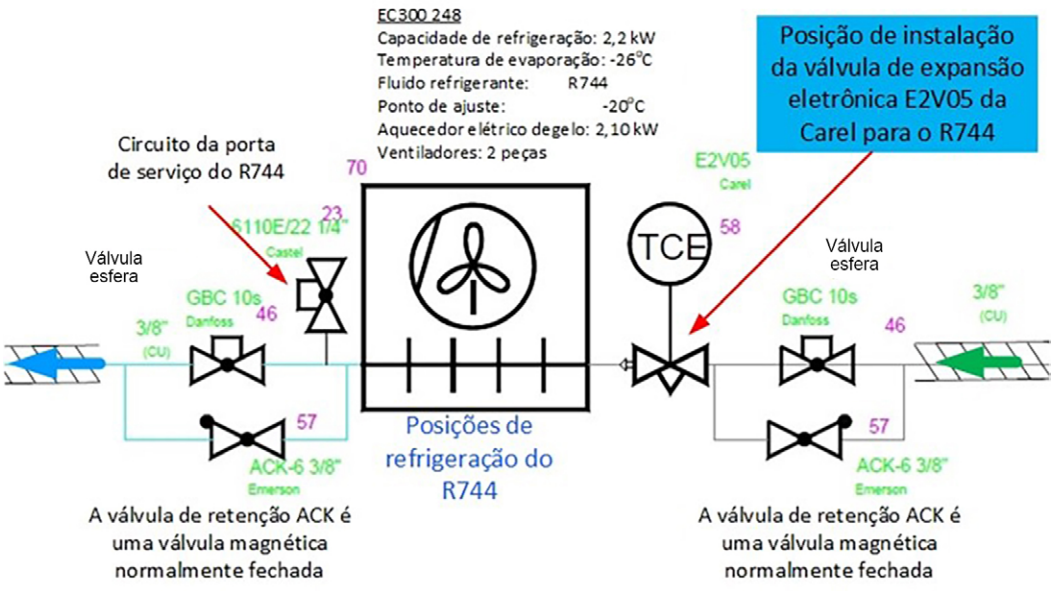
Projeto e função:
A válvula A2V da Carel é uma válvula de expansão proporcional acionada por motor de passo. Ela controla o fluxo do fluido refrigerante de forma contínua e precisa, usando um motor de passo que ajusta a posição da válvula em incrementos finos, dependendo da demanda do sistema.

Aplicação:
Essas válvulas são frequentemente usadas em aplicações que exigem controle altamente preciso do fluxo do fluido refrigerante, como sistemas de ar condicionado ou bombas de calor, bem como em sistemas de refrigeração avançados. No caso do sistema de refrigeração em cascata com R-744, é usada a A2V05 da Carel (veja a Figura 323).

Tecnologia:
Acionada por motor de passo, válvula continuamente operacional, junto a um controlador digital para conseguir um controle preciso de superaquecimento.

Diferença entre a AKV e a A2V
Método de controle: A AKV da Danfoss funciona em pulsos, enquanto a A2V da Carel funciona continuamente.
Atuação: A AKV é operada pelo solenoide, enquanto a A2V usa um motor de passo.
Precisão: A A2V geralmente oferece um controle mais preciso devido ao seu funcionamento contínuo, enquanto a AKV funciona em passos independentes.

Figura 323 – VEE E2V05 da Carel, para o R-744, em instalação de pontos de resfriamento em cascata incluindo válvula de retenção (por exemplo, Nº 58)



Fonte: Eletrofrio.

Válvulas com um atuador térmico são projetadas como uma válvula de expansão termostática. Entretanto, o elemento sensor é substituído por uma cápsula de pressão, com controle de temperatura por um elemento de aquecimento PTC, cujo controle de pressão é definido pelo controlador eletrônico.

De qualquer forma, por causa de seus controladores inteligentes, as válvulas de expansão eletrônica permitem o abastecimento ideal do evaporador por meio de ajustes adaptativos em uma vasta gama de carga e temperatura e permitem, por exemplo, o uso de temperaturas de condensação significativamente mais baixas, o que possibilita economizar energia. Além disso, a temperatura e a umidade do ponto de resfriamento podem ser mantidas com mais precisão, o que as torna particularmente adequadas para produtos refrigerados sensíveis.

Ajuste de superaquecimento mínimo da VEE

O superaquecimento mínimo de uma válvula de expansão eletrônica (VEE) varia de acordo com a aplicação e as configurações específicas do sistema. Normalmente, o superaquecimento mínimo varia de 3 a 5 K (Kelvin). Isso é necessário para garantir que somente fluido refrigerante gasoso entre no compressor, nenhum líquido, o que poderia danificar o compressor.

A configuração exata depende destes fatores:

1. Tipo de fluido refrigerante: Fluidos refrigerantes diferentes exigem valores de superaquecimento diferentes;
2. Requisitos do sistema: Alguns sistemas operam mais eficientemente com superaquecimento menor, enquanto outros exigem valores maiores; e
3. Condições ambientais: A temperatura e a umidade também podem influenciar o superaquecimento exigido.

É importante seguir as recomendações do fabricante para o sistema específico.

8.4.2 Controlador secundário

O controlador secundário garante as condições operacionais ideais para vários componentes principais do circuito de refrigeração.

Geralmente, esses são controles de pressão que, dependendo da tarefa técnica, mantêm a pressão de saída, a de entrada e a diferencial em um valor desejado. Os controladores de temperatura e os controladores de capacidade eletrônicos também são controladores secundários.

A seguir, veja diferentes tipos de controladores de pressão:

1. Controlador de pressão de evaporação KVP;
2. Controladores de pressão de condensação KVR;
3. Controlador de partida KVL;
4. Controlador de capacidade KVC;
5. Controlador de pressão do tanque de líquido KVD.

O controlador de pressão secundário deve ser projetado para instalação com brasagem, para minimizar as conexões flangeadas dentro do circuito de refrigeração e evitar emissões de fluido refrigerante geradas por vazamentos do circuito de refrigeração. Os dispositivos têm uma conexão de válvula Schrader com indicador de direção para baixo (seta de um sentido gravada) e tipo de conexão de saída para instalação com brasagem.

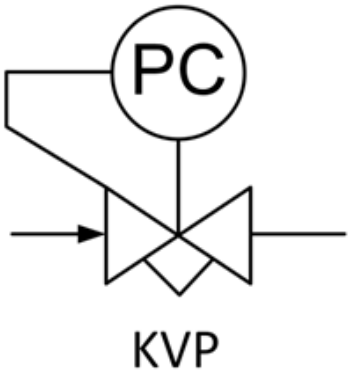
8.4.2.1 **Controlador de pressão de evaporação**

A pressão e, portanto, a temperatura do fluido refrigerante no evaporador, são ajustadas pelo controlador de pressão de evaporação. O dispositivo é frequentemente usado para definir níveis de temperatura diferentes (resfriamento e congelamento) em um sistema.

Figura 324 – Controlador de pressão de evaporação



Fonte: KVP, da Danfoss.



8.4.2.2 **Pressão do condensador e controlador de pressão do tanque**

Os controladores de pressão de condensação KVR e NRD mantêm uma pressão mínima no condensador resfriado a ar. O melhor exemplo do uso do controlador é em condensadores resfriados a ar externos. A superfície de transferência de calor efetiva do condensador é reduzida pelo fluido refrigerante líquido acumulado em temperaturas ambientes baixas. Isso reduz o desempenho do condensador, por exemplo, em regiões em que a temperatura ambiente pode ser baixa. O KVR pode ser usado junto ao regulador de pressão do tanque de líquido tipo KVD. O regulador de pressão de condensação tipo KVR se abre quando há um aumento de pressão no lado de entrada, por exemplo, quando a pressão no condensador atinge o valor definido. A regulação do KVR depende somente da pressão de entrada. As variações de pressão no lado da saída do regulador não afetam o grau de abertura da válvula.

A válvula do diferencial tipo NRD começa a se abrir quando a queda de pressão na válvula é 1,4 bar para desvio de gás e líquido.

Figura 325 – Válvula de pressão diferencial



Fonte: KVR, da Danfoss.

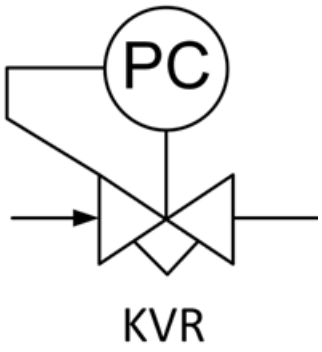


Figura 326 – Válvula de pressão diferencial



Fonte: NRD, da Danfoss.

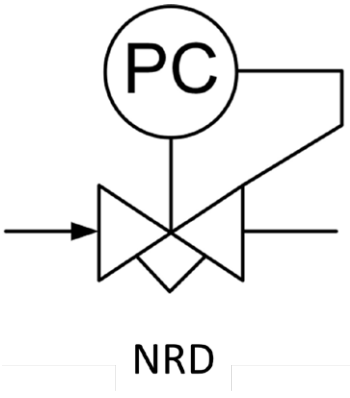
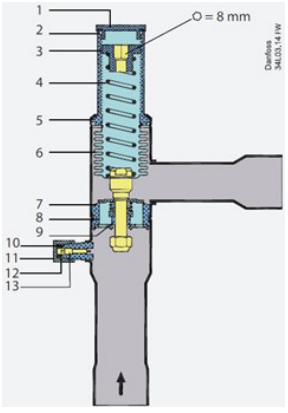
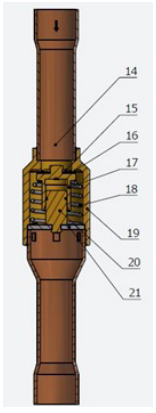


Figura 327 – Recursos de projeto que servem de exemplo para KVR e NRD





1	Tampa de vedação	**8**	Sede da válvula	**15**	Arruela
2	Gaxeta	**9**	Dispositivo de amortecimento	**16**	Disco de teflon
3	Parafuso de ajuste	**10**	Conexão do manômetro	**17**	Pistão
4	Mola principal	**11**	Tampa	**18**	Mola
5	Corpo da válvula	**12**	Gaxeta	**19**	Corpo da válvula
6	Foles de equalização	**13**	Inserção	**20**	Guia
7	Placa da válvula	**14**	Tubo de cobre	**21**	Superfície do batente

Fonte: Danfoss.

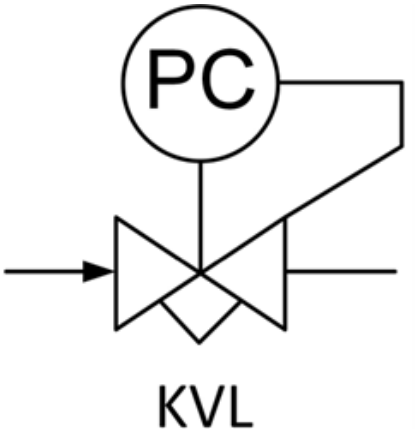
8.4.2.3 **Controlador de pressão do cárter (controle de partida)**

O controlador de partida evita que o compressor dê a partida se as pressões de sucção estiverem muito altas, porque o compressor pode ficar sobrecarregado. Assim, quando a pressão estiver muito alta, o controlador define o fluxo de fluido refrigerante dentro da linha de sucção para o compressor.

Figura 328 – Controlador de pressão do cárter



Fonte: KVL, da Danfoss.



8.4.2.4 **Controlador de capacidade**

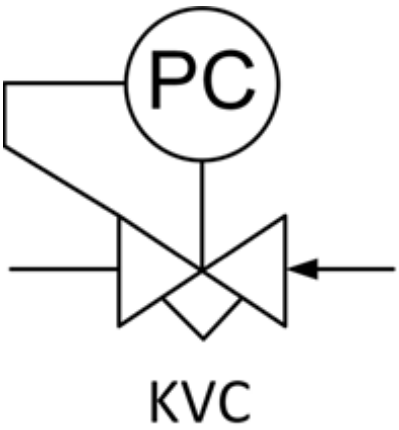
O controlador de capacidade reduz o volume de entrega do deslocamento do compressor em baixas capacidades de refrigeração. O controlador evita uma pressão de sucção muito baixa e, assim, o ciclo desnecessário do compressor.

Se a pressão de sucção estiver muito baixa, o controlador volta uma parte do deslocamento do fluido refrigerante do compressor do lado de descarga para o lado de sucção por meio de um desvio.

Figura 329 – Controlador de capacidade



Fonte: KVC, da Danfoss.



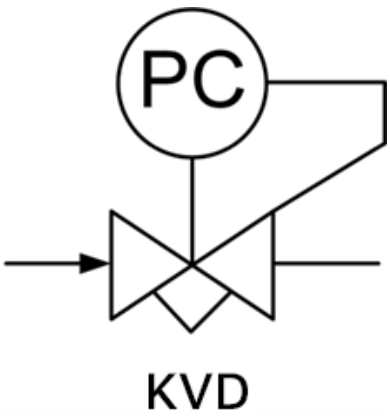
8.4.2.5 **Controlador de pressão do tanque de líquido**

O controlador de pressão de condensação KVR, junto a um controlador de pressão de tanque de líquido KVR, evita pressão muito baixa no tanque, o que poderia levar à evaporação parcial do fluido refrigerante dentro das linhas de líquido do circuito de refrigeração. Para esse fim, o controlador direciona uma pequena quantidade de gás de descarga do compressor diretamente para o tanque.

Figura 330 – Controlador de pressão do cárter

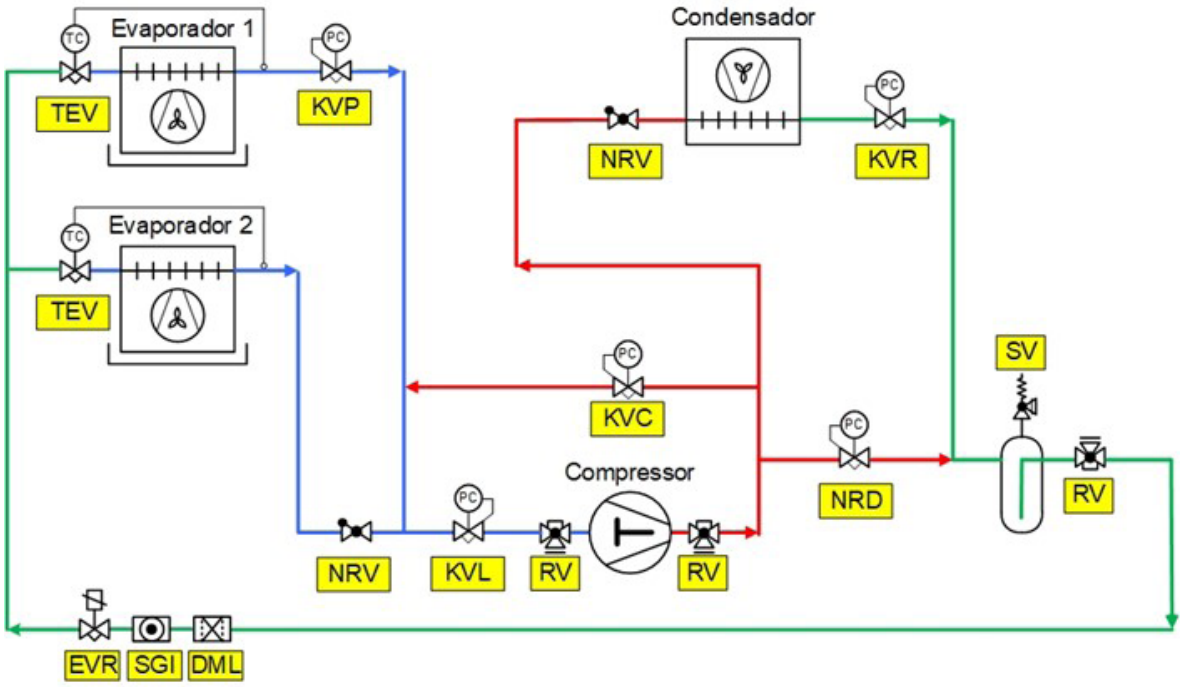


Fonte: KVD, da Danfoss.



8.4.2.6 **Exemplo de PID com inclusão de todos os componentes de controle primários e secundários em um circuito de refrigeração**

Figura 331 – Exemplo de PID com inclusão de todos os componentes de controle primários e secundários em um circuito de refrigeração



Continuação – Legenda da Figura 331 - Exemplo de PID com inclusão de todos os componentes de controle primários e secundários em um circuito de refrigeração

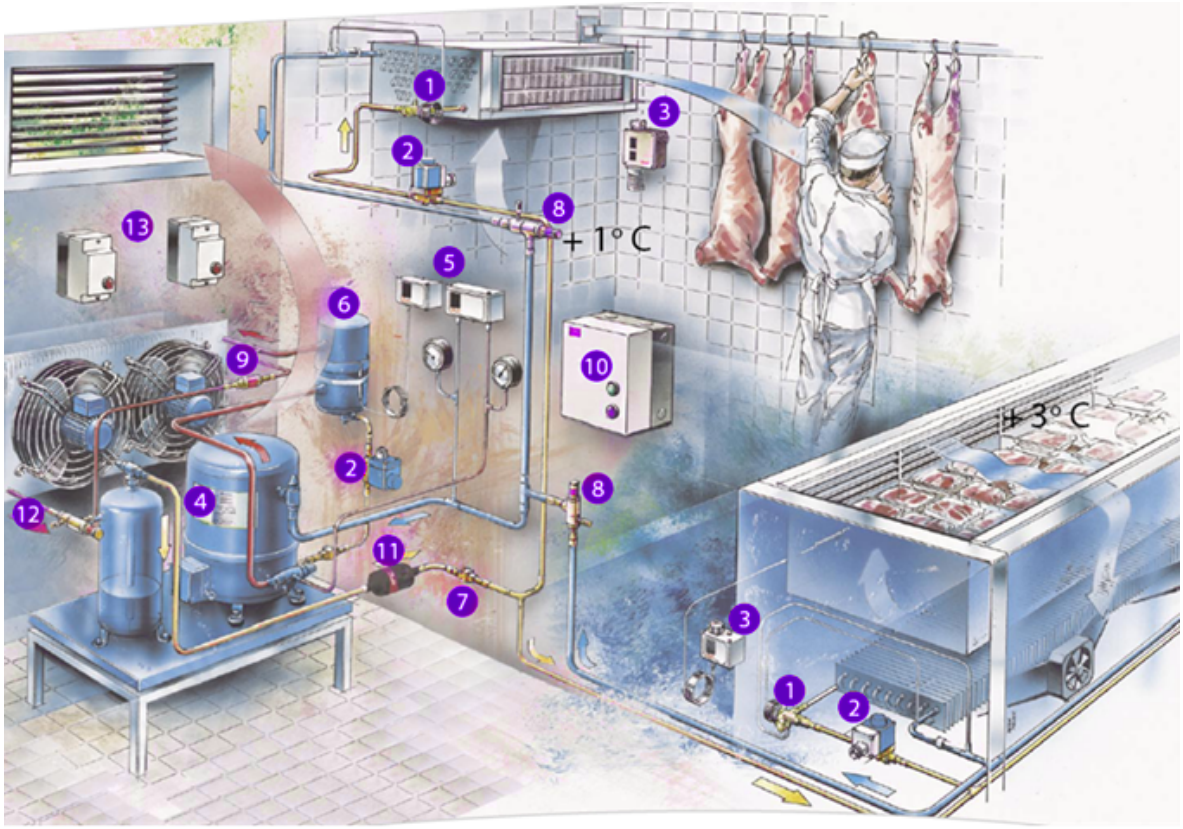
DML	Filtro secador	NRD	Regulador de pressão do tanque de líquido
SGI	Visor de líquido com indicador de umidade	KVL	Controlador de pressão do cárter (controle de partida)
EVR	Válvula solenoide	KVC	Controlador de capacidade
VET	Válvula de expansão termostática	KVR	Controlador de pressão do condensador
KVP	Controlador de pressão de evaporação	SV	Válvula de segurança
NRV	Válvula de retenção	RV	Válvula rotalock

Fonte: Rolf Huehren/Danfoss.

Figura 332 indica alguns controles primários e secundários e outros componentes e dispositivos funcionais, colocados em um exemplo de circuito de refrigeração, projetado para temperaturas de refrigeração de carne +1 °C (câmara frigorífica) e +3 °C (balcão de autosserviço).

8.4.2.7 **Desenho exemplificativo do sistema de refrigeração**

Figura 332 – Desenho exemplificativo do sistema de refrigeração



Continuação – Legenda da Figura 332 - Desenho exemplificativo do sistema de refrigeração

1	Válvula de expansão termostática	**8**	Controlador de pressão do evaporador KVP
2	Válvula solenoide	**9**	Válvula de retenção
3	Termostato	**10**	Gabinete de controle
4	Compressor hermético	**11**	Filtro secador
5	Controle de pressão	**12**	Controlador de pressão de condensação KVR
6	Separador de óleo	**13**	Interruptor de proteção do compressor
7	Visor de líquido		

Fonte: Danfoss.

8.5 Filtro secador

O circuito de refrigeração deve estar o mais livre de umidade possível e, assim, deve ser secado antes de ser carregado com fluido refrigerante.

8.5.1 Umidade no circuito de refrigeração

A água é um contaminador frequente e perigoso no circuito de refrigeração e, provavelmente, a principal causa de problemas nos sistemas de refrigeração. A água pode causar o congelamento dos elementos de controle, obstrução dos filtros, corrosão, revestimento de cobre e queima do compressor.

1. As fontes a seguir introduzem água no circuito de refrigeração:
2. Água que penetra por vazamento, em partes do sistema, que operam na faixa negativa de temperatura;
3. Película de umidade sobre e nas peças de montagem;
4. Óleos de máquina de refrigeração higroscópica (PAG, POE) introduzem um pouco de umidade no circuito, mas abaixo dos limites problemáticos definidos pelo fabricante (se carregados a partir de um recipiente de óleo vedado novo);
5. O isolamento orgânico e os materiais de vedação do motor elétrico, especialmente os baseados em celulose (compressores semi-herméticos e herméticos); e
6. Reação e respingos de água de substâncias orgânicas devido a superaquecimento (especialmente de celulose).

Essas fontes "normais" podem ser controladas secando-se o sistema cuidadosamente, antes de carregar o fluido refrigerante, e instalando-se um filtro secador; se necessário, troque o secador regularmente.

Os problemas surgem quando é introduzida mais água devido à instalação incorreta, por exemplo, devido a óleos POE que ficam expostos ao ar antes do uso, tubulações não seladas, mangueiras de serviço do fluido refrigerante, etc. Portanto, é necessário tomar cuidado ao se instalarem sistemas de refrigeração, para evitar a introdução de umidade desnecessária. A combinação de umidade com fluidos refrigerantes e altas temperaturas pode formar ácidos que causariam danos mecânicos e elétricos ao compressor e ao lubrificante. Além disso, a água promove a corrosão catalítica (efeito revestimento de cobre) dentro do sistema. A sujeira causa entupimento da válvula de expansão e maior abrasão no compressor. A combinação de sujeira e umidade favorece a perigosa formação de ácidos.

A pureza e o conteúdo máximo da água em fluidos refrigerantes são especificados na norma ABNT NBR 16667 e na AHRI 700, 700C e 700D – (especificações para fluidos refrigerantes). O conteúdo máximo de água para todos os tipos genéricos de fluidos refrigerantes é de 10 ppm/por peso.

8.5.2 **Funções do filtro secador**

As funções do filtro secador no circuito de refrigeração são:

- Remoção da água contida no fluido refrigerante;
- Remoção do ácido contido no fluido refrigerante; e
- Filtragem de sujeira e outras impurezas.

Por esses motivos, os filtros secadores geralmente contêm géis de sílica, peneiras moleculares e óxido de alumínio ativo. Os filtros secadores são selecionados de acordo com o tamanho do sistema de refrigeração.

8.5.3 **Construção do filtro secador**

O material dessecante é fornecido como uma carga solta ou na forma de um bloco sólido sinterizado. Com filtros secadores menores, o dessecante é mantido inacessível em cápsulas de metal. Em sistemas de refrigeração de maior capacidade e nos filtros de limpeza, carcaças do filtro secador do tipo parafuso são usadas para que os núcleos saturados ou contaminados possam ser substituídos.

Três dessecantes são usados principalmente para a secagem de fluidos refrigerantes CFC:

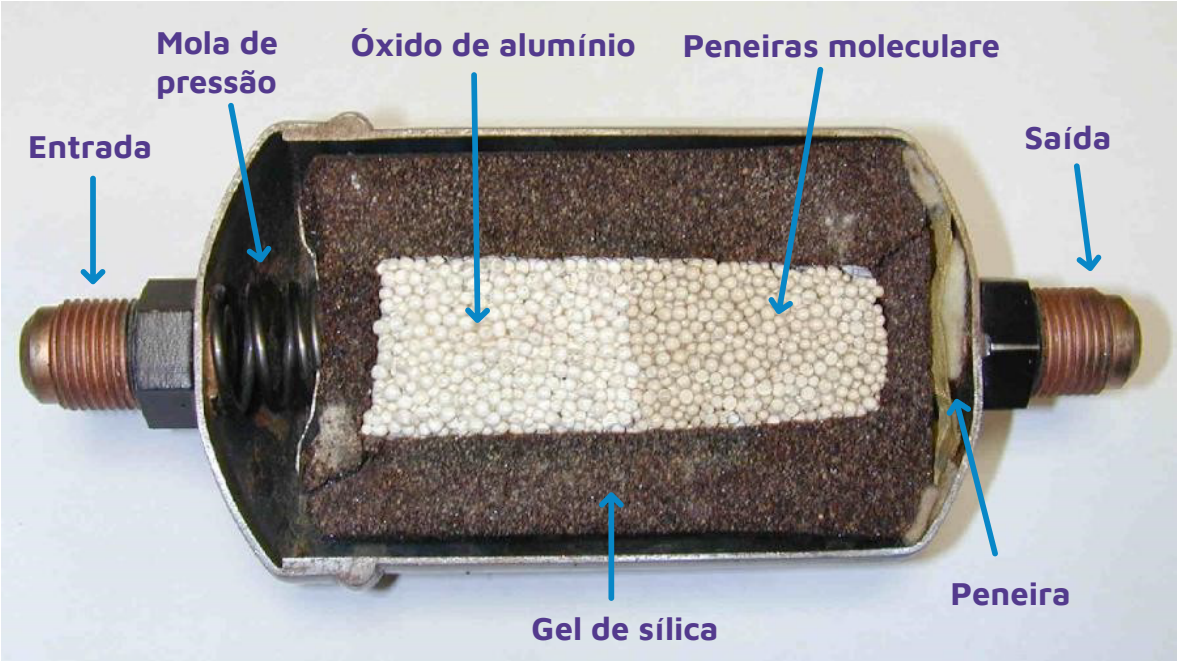
- Alumina (óxido de alumínio) ativada $Al_2O_{3;}$
- Gel de sílica $SiO_{2;}$ e
- Peneira molecular linde (LMS).

Eles diferem na sua capacidade de adsorção de ácido e/ou água. O óxido de alumínio tem uma capacidade alta de adsorção de ácido; o gel de sílica tem uma capacidade maior de adsorver água. A LMS tem capacidade alta de adsorção de água e uma capacidade média de adsorção de ácido. Por esse motivo, o núcleo de matéria sólida frequentemente contém duas dessas substâncias e até mesmo as três.

Como regra geral, o componente "filtro secador" consiste em uma carcaça cilíndrica. Em muitos casos, as portas de entrada e saída do fluido refrigerante ficam na face da unidade. Uma mola de pressão dentro da carcaça foi projetada para manter no lugar um núcleo de matéria sólida (sinterizada) ou uma camada de esferas de matéria soltas. Para evitar que partículas do secador entrem no circuito de refrigeração, um pano de filtro reforçado por uma fita de aço perfurada é colocada na saída do secador. Por esse motivo, a seta indicada na carcaça deve sempre apontar para o sentido do fluxo do fluido refrigerante, isto é, no sentido do dispositivo de expansão. O filtro secador na Figura 333 mostra uma combinação de todos os três dessecantes. O processo de dessecação principal é realizado por uma cavidade consistindo em esferas de gel de sílica sinterizadas. Nessa cavidade, as peneiras moleculares e o óxido de alumínio são incorporados de modo a resistirem à abrasão. Essas substâncias fazem a dessecação final e a ligação dos ácidos. A filtragem é feita através do bloco sólido com poros bem finos e uma superfície muito grande.

O tamanho do secador depende da capacidade das instalações de refrigeração (carga do fluido refrigerante). Dependendo do projeto, o secador pode ter uma capacidade para 6 a 10 g de água. Se ele for montado em um compressor ou unidade de condensação, as vibrações vão afetar muito o material dessecante. Sob nenhuma circunstância, o material deve se decompor nessas condições.

Figura 333 – Demonstração em corte de filtro secador compacto



Fonte: Danfoss.

Figura 334 – Filtro secador para sistemas capilares (aplicação doméstica)



Fonte: Vulkan Lokring.

Figura 335 – Filtro secador para AVAC-R de conexão brasada – aplicação com R-744



Fonte: Tipo DMT, da Danfoss.

Figura 336 – Filtro secador para AVAC-R de conexão brasada



Fonte: Danfoss.

Figura 337 – Tanque do filtro secador para conexão roscada e aplicação de refrigeração para transporte



Fonte: Parker.

Figura 338 – Filtro secador para AVAC-R de carcaça de casco rosqueado



Fonte: Parker.

Figura 339 – Núcleos do filtro secador substituíveis



Fonte: Parker.

8.5.4 Instalação do filtro secador

Seleção do filtro secador	Sempre instale filtros secadores compatíveis com o fluido refrigerante que está sendo usado.

O filtro secador pode ser instalado em qualquer posição na linha de líquido do fluido refrigerante, porque a velocidade baixa do fluxo resulta em um tempo longo de contato do fluido refrigerante com o dessecante e uma baixa queda de pressão.

Para sistemas de refrigeração maiores, são usados principalmente filtros secadores com inserções substituíveis. Garanta o sentido correto do fluxo, a instalação vertical com fluxo abaixo para permitir que o fluido refrigerante seja extraído mais rapidamente.

Instalação do filtro secador	O novo filtro secador tem que ser instalado no sistema antes do comissionamento inicial e quando houver qualquer reparo no sistema de refrigeração. O filtro secador deve ser um original selado (fabricante) e montado logo antes do processo de evacuação. O filtro secador transportado aberto ficará saturado de umidade e não poderá ser usado para proteção do circuito de refrigeração.

A capacidade de absorção de água do filtro secador aumenta em temperaturas menores. Por essa razão, eles devem ser instalados no ponto de resfriamento acima do dispositivo de expansão, sempre que possível.

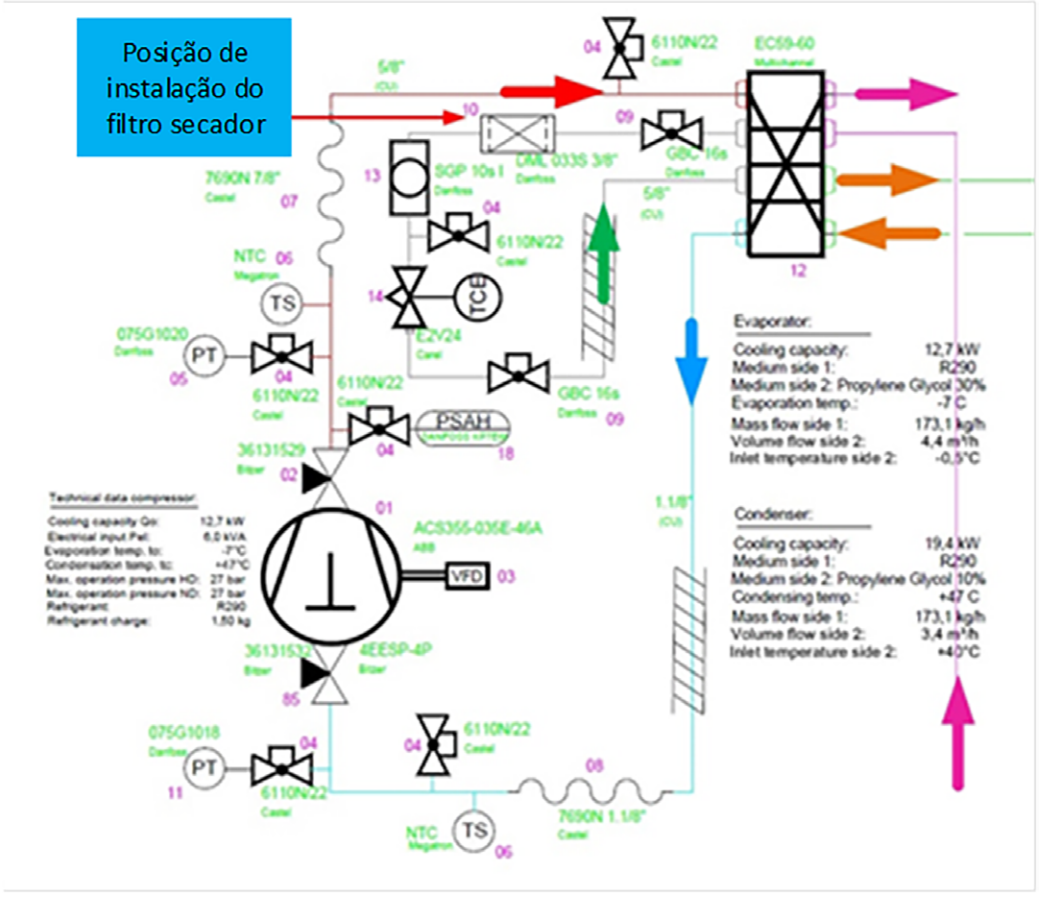
Pelo mesmo motivo, os filtros secadores brasados que estiverem saturados de umidade não devem ser desbrasados, mas cortados (cortador de tubos).

Os filtros secadores devem ser trocados se o conteúdo de umidade ficar muito alto (o visor de líquido indicador de umidade mostra a umidade), a queda de pressão (temperatura) for muito alta por todo o secador (bolhas no visor de líquido seguinte) ou se o sistema de refrigeração tiver sido aberto para manutenção e reparos.

Com o sistema na condição aberta, o dessecante do secador extrai imediatamente a umidade do ar ambiente e, possivelmente, estará saturado antes de ser instalado no sistema.

O filtro secador deve, portanto, ser o último componente a ser instalado, ou seja, imediatamente antes do comissionamento. As tampas protetoras colocadas em cada lado não devem ser removidas até o momento exato da instalação.

Figura 340 – Posição de instalação do filtro secador no sistema de média temperatura R-290



Fonte: Eletrofrio.

8.6 **Visor de líquido**

A operação perfeita dos dispositivos de expansão (por exemplo, VET) só pode ser garantida se houver fornecimento de fluido refrigerante para expansão. Se não houver um tanque de líquido instalado, a operação só funcionará bem se o fluido refrigerante estiver sub-resfriado.

8.6.1 **Verificação da condição do fluido refrigerante e do nível de carga do circuito de refrigeração**

- Um visor de líquido é instalado para a verificação do fluxo do fluido refrigerante no circuito. É importante instalar o visor na linha de líquido diretamente antes do dispositivo de expansão (após o filtro secador).
- Com um visor instalado na linha de líquido do fluido refrigerante, a condição do fluido poderá ser monitorada;
- Devido ao fato de o fluido refrigerante ser incolor, não será visto nenhum fluxo de líquido no visor se o fluido refrigerante estiver adequadamente sub-resfriado;
- Se o sistema de refrigeração estiver completamente vazio ou evacuado, também não será visto nenhum fluido refrigerante no visor de líquido;
- Um teste de fluxo de fluido refrigerante também serve para verificar a carga do fluido (feche brevemente a válvula rotalock do tanque ou desconecte brevemente a válvula solenoide);
- Geralmente, bolhas no vapor indicam falta de fluido refrigerante no sistema;
- Se não houver sub-resfriamento antes da válvula de expansão, isso é, se o fluido refrigerante tiver bolhas de vapor, isso poderá ser identificado pelas bolhas no visor de líquido;
- Entretanto, as bolhas de vapor também podem ser causadas por perdas de pressão nos tubos, dispositivos de fechamento, filtros, secadores, etc.;
- Em um filtro secador altamente contaminado, a queda de pressão pode ser tão extrema que podem ser vistas bolhas de vapor no visor de líquido mesmo se o fluido refrigerante na entrada do filtro secador estiver sub-resfriado;
- As bolhas de vapor também podem ser causadas pelo excesso de transferência de calor do ambiente para a linha de líquido;
- Se o visor de líquido ficar preto no lado de dentro, será um sinal da deterioração do fluido refrigerante devido a temperaturas operacionais excessivamente altas;
- Na linha de retorno do separador de óleo, é possível monitorar o fluxo do óleo;
- Na partida, a cor do elemento indicador de umidade pode estar amarela, devido à exposição à umidade do ar ou à umidade no circuito. Quando a umidade do fluido refrigerante volta a níveis aceitáveis pelo filtro secador, a cor do indicador fica verde novamente. Isso é evidência de que o equilíbrio foi reestabelecido; e
- Se a cor amarela persistir, será necessário tomar providências para eliminar a umidade. Somente quando o elemento indicador de umidade ficar verde novamente haverá evidências de que as medidas adotadas foram eficientes.

Dados técnicos do SG / SGP, da Danfoss:

Dados técnicos	SG	SGP
Pressão de trabalho máxima PS	35 bar 500 psig	52 bar 754 psig
Faixa de temperatura do fluido	-50 – 80 °C -58 – 175 °F	
Temperatura e umidade do ambiente de transporte/ armazenamento	-40 – 65 °C /-40 – 150 °F. Umidade do ar: UR ≤ 95%.	

Figura 341 – Exemplo de visor de líquido com indicador de umidade



Fonte: SGP 10s da Danfoss.

- Visor de líquido para conexão brasada;
- Seleção de conexão brasada para projeto de circuito hermético;
- Círculo externo - escala de comparação;
- Ponto interno - indicador de umidade; e
- Vários fabricantes disponíveis.

Figura 342 – Visor de líquido para conexão rosqueada e brasada



Fonte: Danfoss.

8.6.2 Indicador de umidade

Geralmente, os visores de líquido contam com indicadores de umidade. Dá para ver, pela cor do indicador, se o conteúdo de umidade (conteúdo de água) do fluido refrigerante está inaceitavelmente alto. A maioria dos fabricantes usa cores diferentes. Se ocorrer uma mudança de cores, é porque o filtro secador está saturado de água e precisa ser trocado. É necessário usar indicadores específicos para os vários fluidos refrigerantes, ou a mudança de cor não acontecerá no conteúdo de água definido (dependendo do fabricante).

O indicador é um filtro de papel poroso impregnado com um sal químico (dicloreto de cobalto) sensível à umidade. Esse sal muda de cor de acordo com o conteúdo de umidade (saturação relativa) no fluido refrigerante.

A cor verde-escuro indica que o fluido refrigerante está SECO, enquanto amarelo indica uma condição ÚMIDA. O indicador é formulado de modo que mude de cor nos níveis de umidade geralmente aceitos como faixa operacional segura. A Tabela 70 e a Tabela 71 indicam o conteúdo de umidade em PPM (partes por milhão) e os pontos de mudança de cor de alguns fluidos refrigerantes selecionados.

Tabela 70 – Pontos de mudança de cor por causa do conteúdo de umidade de alguns fluidos refrigerantes selecionados

Fluido refrigerante	Conteúdo de umidade em ppm = partes por milhão					
	Indicador de tipo I					
	Temperatura do fluido 25 °C / 77 °F			Temperatura do fluido 43 °C / 109 °F		
	Verde / seco	Cor intermed.	Amarelo / úmido	Verde / seco	Cor intermed.	Amarelo / úmido
R-290	< 25	25 – 50	> 50	< 50	50 – 100	> 100
R-600	< 10	10 – 20	> 20	< 28	28 – 55	> 55
R-600a	< 11	11 – 22	> 22	< 30	30 – 60	> 60

Fonte: Danfoss.

Tabela 71 – Indicador de tipo N para R-134a, R-22, R-32, R-404A, R-407A, R-407C, R-407F, R-407H, R-410A, R-448A, R-449A, R-450A, R-452A, R-452B, R-454B, R-454C, R-455A, R-463A, R-507, R-513A, R-515B, R-1233zd(E), R-1234ze(E), R-1234yf, R-1270, R-744 (CO_2)

Fluido refrigerante	Conteúdo de umidade em ppm = partes por milhão					
	Indicador de tipo N					
	Temperatura do fluido 25 °C / 77 °F			Temperatura do fluido 43 °C / 109 °F		
	Verde / seco	Cor intermed.	Amarelo / úmido	Verde / seco	Cor intermed.	Amarelo / úmido
R-134a	< 30	30 – 100	> 100	< 45	45 – 170	> 170
R-22	< 30	30 – 120	> 120	< 50	50 – 200	> 200
R-32	< 64	64 – 289	> 289	< 116	116 – 459	> 459
R-404A	< 20	20 – 70	> 70	< 25	25 – 100	> 100
R-407A	< 29	29 – 115	> 115	< 48	48 – 192	> 192
R-407C	< 30	30 – 140	> 140	< 60	60 – 225	> 225
R-407F	< 30	30 – 168	> 168	< 60	60 – 240	> 240
R-407H	< 35	35-180	> 180	< 60	60-365	> 365
R-410A	< 66	66 – 266	> 266	< 135	135 – 540	> 540
R-448A	< 28	28 – 110	> 110	< 70	70 – 227	> 227
R-449A	< 29	29 – 105	> 105	< 53	53 – 200	> 200
R-450A	< 23	23 – 148	> 148	< 46	46 – 245	> 245
R-452A	< 20	20 – 79	> 79	< 30	30 – 143	> 143
R-452B	< 70	70 – 260	> 260	< 144	144 – 260	> 260

Continuação da Tabela 71 – Indicador de tipo N para R-134a, R-22, R-32, R-404A, R-407A, R-407C, R-407F, R-407H, R-410A, R-448A, R-449A, R-450A, R-452A, R-452B, R-454B, R-454C, R-455A, R-463A, R-507, R-513A, R-515B, R-1233zd(E), R-1234ze(E), R-1234yf, R-1270, R-744 (CO_2)

R-454B	< 29	29 – 161	> 161	< 58	58 – 250	> 250
R-454C	< 25	25-115	> 115	< 30	30-190	> 190
R-455A	< 20	20-95	> 95	< 25	25-145	> 145
R-463A	< 55	55-280	> 280	< 95	95-435	> 435
R-507	< 15	15 – 60	> 60	< 30	30 – 110	> 110
R-513A	< 22	22 – 75	> 75	< 22	22 – 123	> 123
R-515B	< 20	20-95	> 95	< 20	20-140	> 140
R-1233zd(E)	< 18	18-90	> 90	< 20	20-150	> 150
R-1234ze(E)	< 26	26 – 132	> 132	< 28	28 – 165	> 165
R-1234yf	< 20	20-43	> 43	< 20	20-63	> 63
R-1270	< 16	16 – 62	> 62	< 29	29 – 115	> 115
R-744 (CO_2)	< 80	80 – 195	> 195	-	-	-

Fonte: Danfoss.

8.7 Válvulas solenoides

As válvulas solenoides são dispositivos de bloqueio acionados eletromagneticamente com uma vasta gama de aplicações em sistemas de refrigeração. Sua função é simplesmente ligar e desligar o fluxo do fluido refrigerante. A aplicação padrão é colocar a válvula solenoide na linha de líquido, para a simples interrupção do suprimento de líquido, ou nos circuitos de recolhimento. Na maior parte, a válvula solenoide consiste em um corpo de válvula mecânico e uma bobina eletromagnética. Como as válvulas solenoides são operadas eletricamente, sua função liga-desliga pode ser controlada automaticamente por sistemas de controle apropriados. Essa função é extremamente importante em termos do desempenho do sistema de refrigeração.

8.7.1 Operação básica

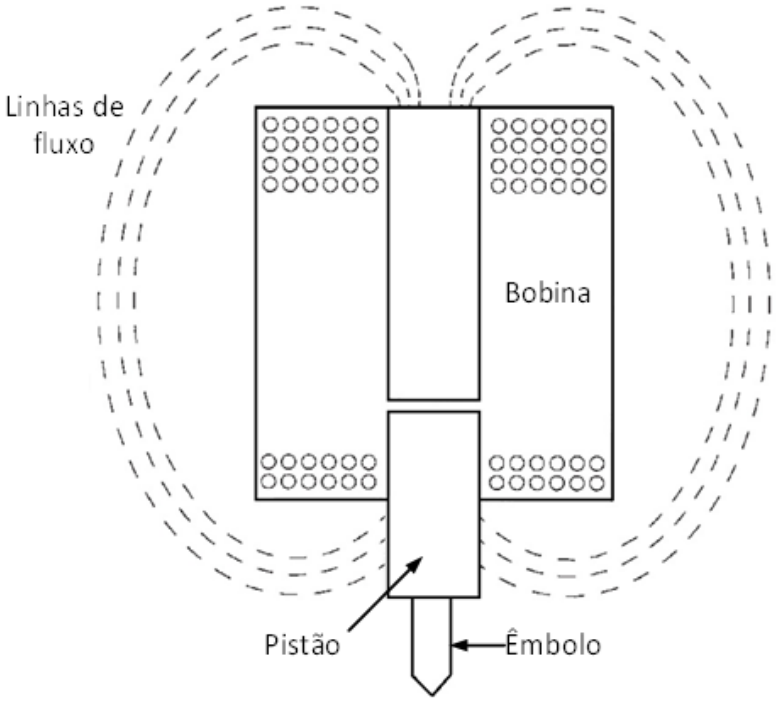
Geralmente, as válvulas solenoides comuns em campo operam somente quando instaladas corretamente no sentido do fluxo, isto é, no sentido indicado pela seta no corpo da válvula. Além disso, assegure-se de que os dados da bobina (tensão e frequência) e a tensão do suprimento sejam correspondentes. Senão, a bobina poderá queimar. Nunca opere a bobina com a corrente elétrica, se a bobina não estiver encaixada adequadamente no corpo da válvula, pois isso pode danificar a bobina. Sempre confira se a válvula e a bobina são correspondentes.

Uma válvula solenoide operada diretamente funciona nestes estágios (veja também a Figura 343):

1. Quando a bobina do solenoide é energizada eletricamente, ela produz um campo magnético que atrai ferro e muitas das suas ligas;
2. Uma armadura de ferro ou pistão é puxado para o núcleo do solenoide;
3. Uma haste e um pino ou êmbolo ligado a esse pistão abre a porta da válvula; e
4. Quando a válvula solenoide é desenergizada, o pistão cai, e o êmbolo fecha a porta da válvula.

Observação: Esse princípio magnético constitui a base do projeto de todas as válvulas solenoides.

Figura 343 – Partes de uma válvula solenoide



Fonte: Rolf Huehren.

8.7.2 Recursos de projetos genéricos

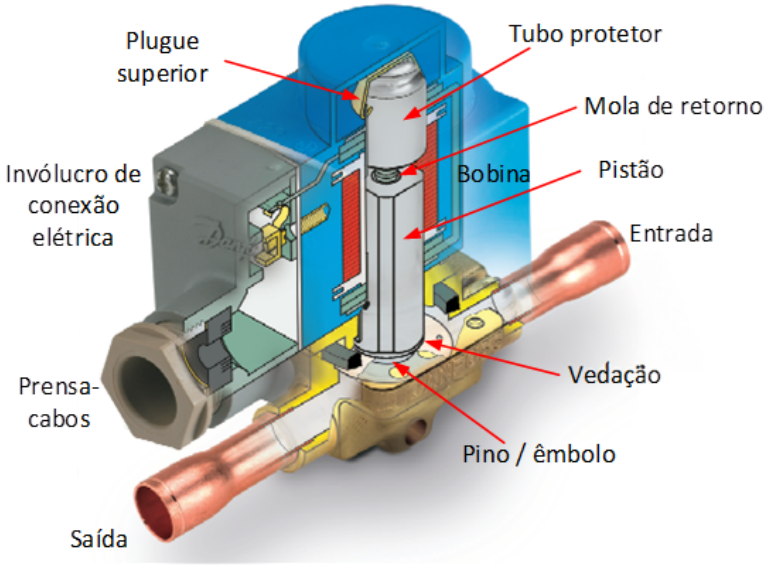
As válvulas solenoides são fornecidas nas larguras nominais de 2 a 200 mm e várias versões (desligamento normalmente fechado ou aberto) para todos os fluidos refrigerantes. O tipo mais comum de solenoide é o tipo normalmente fechado. Quando a bobina é energizada, a válvula é aberta. Quando a alimentação é removida, a válvula é fechada. Em um solenoide normalmente aberto, a válvula é fechada quando a alimentação é aplicada à bobina, e aberta quando a bobina é desenergizada.

Os tamanhos nominais menores (até 6 mm) são de ação direta, ou seja, o disco da válvula é levantado diretamente pela força do eletroímã. Eles, assim, não precisam de pressão diferencial.

As válvulas maiores são servocontroladas e utilizam a diferença de pressão da entrada para a saída via um furo piloto para abrir. Assim, elas precisam de um diferencial de pressão mínimo (0,05 a 0,07 bar, dependendo do tamanho), o que deve ser levado em conta, particularmente em sistemas controlados pela capacidade.

Quando a capacidade é reduzida, a diferença de pressão também diminui, e a válvula solenoide é fechada, o que significa que o diferencial de pressão necessário volta a existir, e a válvula volta a se abrir (ruído).

Figura 344 – Válvula solenoide – atuação direta – corte



Fonte: Danfoss.

Em uma válvula solenoide operada por piloto, o pistão não abre a porta principal diretamente. Em vez disso, ocorre a seguinte operação:

1. O pistão abre uma porta piloto;
2. A pressão em cima do pistão é liberada por meio da porta piloto, criando um desequilíbrio da pressão em todo o pistão;
3. Como a pressão abaixo do pistão agora é maior do que a pressão em cima dele, o pistão vai se mover para cima, abrindo a porta principal;
4. Quando o pistão cai, ele fecha a porta piloto; assim, as pressões acima e abaixo do pistão se equalizam, e o pistão fecha a porta principal; e
5. A diferença de pressão pela válvula, agindo na área da porta principal, mantém o pistão em uma posição bem fechada.

8.7.3 Válvula solenoide para aplicação com R-290 (bobina para aplicação ATEX Zona 2)

Figura 345 – Exemplo de bobina ATEX Zone 2 para corpo EVR de válvula solenoide Danfoss



Fonte: Danfoss.

A bobina BV da DANFOSS é um exemplo de bobina de solenoide com aprovação para ATEX EX zona 2. As bobinas são projetadas para uso com as válvulas solenoides da Danfoss;
Bobinas integradas com longa vida útil mesmo em condições extremas;
Disponível com cabo de 1 m e 3 núcleos;
Montagem segura com sistema de rosca;
Bobinas padrão de 24 a 240 V CA dimensionadas para máxima pressão diferencial de abertura (MOPD) até 21 bar para CA; e
Instale sempre um fusível antes da bobina. Ele não deve exceder 2 A, para bobinas abaixo de 50 V, e não deve exceder 1 A, para as de 50 V ou mais.

8.7.4 **Parada por recolhimento (sistema "*pump down*")**

Na parada por recolhimento, o compressor é controlado juntamente a uma válvula solenoide na linha de líquido, um termostato e um pressostato de baixa pressão. Se não houver demanda de refrigeração, o termostato desliga a válvula solenoide. O compressor tira ainda mais fluido refrigerante do evaporador por meio da linha de sucção até que uma pressão predeterminada seja alcançada, geralmente pouco acima da pressão 0 bar no manômetro. Então, o compressor é desligado por um pressostato de baixa pressão (PSL). Se a pressão subir novamente acima do diferencial de pressão ajustada do PSL, o compressor recomeça a funcionar até que a pressão de corte seja alcançada novamente. Como praticamente não há fluido refrigerante deixado no evaporador, não pode ocorrer nenhuma migração perigosa do fluido refrigerante para o compressor durante o período de ociosidade. O fluido refrigerante é armazenado no tanque de líquido e no condensador. Se a demanda por refrigeração reaparecer, quando o termostato ligar, a válvula solenoide será aberta, a pressão de evaporação subirá, e o pressostato de baixa pressão ativará o compressor novamente.

O compressor também dá a partida se o fluido refrigerante se evaporar do reservatório de óleo, se houver vazamento na válvula solenoide ou se acontecer uma transferência pelo compressor. Isso leva a um ciclo indesejado do compressor.

É necessário fazer uma distinção entre o sistema de parada por recolhimento ("*pump down*") e o sistema "*pump out*".

8.7.5 **Sistema *"pump out"***

Com o sistema "*pump out*", o compressor é desligado após o processo de recolhimento como descrito acima, mas é intertravado para evitar que seja reativado quando a pressão aumentar. O compressor dá a partida somente após uma demanda de refrigeração pelo termostato do ponto de resfriamento.

8.7.6 **O propósito de ambos os sistemas**

O propósito de ambos os sistemas é drenar o líquido do evaporador antes das fases de ociosidade, de forma que nenhuma pressão (imprevisivelmente) alta seja criada durante o aquecimento (por exemplo, durante o degelo elétrico) e nenhum fluido refrigerante líquido possa se deslocar para o compressor (risco de golpe de líquido).

8.7.7 **Golpe de líquido causado pela ativação abrupta da válvula solenoide**

Entretanto, um choque hidráulico também pode ocorrer na linha de líquido, por exemplo, se a válvula solenoide do líquido for aberta ou fechada e isso causar a aceleração ou desaceleração abrupta do líquido. Há risco de liberação do fluido refrigerante em decorrência da ruptura da linha, particularmente com líquido super-resfriado (duro, sem ter sido umedecido pelas bolhas de vapor).

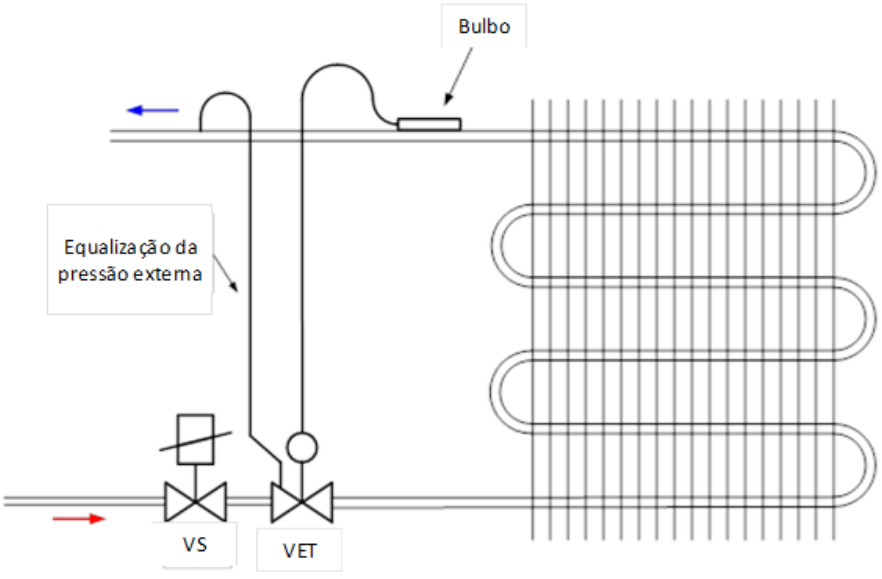
8.7.8 **Instalação da válvula solenoide**

Instale a válvula solenoide (VS) o mais perto possível da válvula de expansão ou, nas linhas de degelo com gás quente, o mais perto possível do evaporador. Instale válvulas umedecidas ou um domo de vapor (pedaço de tubo vertical – veja a Figura 346) acima da válvula solenoide.

O solenoide dever ser preso profissionalmente em uma proteção de montagem para sustentar, com segurança, a válvula durante a operação de ligar e desligar.

Normalmente, as válvulas solenoides instaladas à frente de uma válvula de expansão termostática devem estar perto dessa válvula (veja a Figura 346).

Figura 346 – Colocação da válvula solenoide dentro do circuito de refrigeração



Fonte: Rolf Huehren.

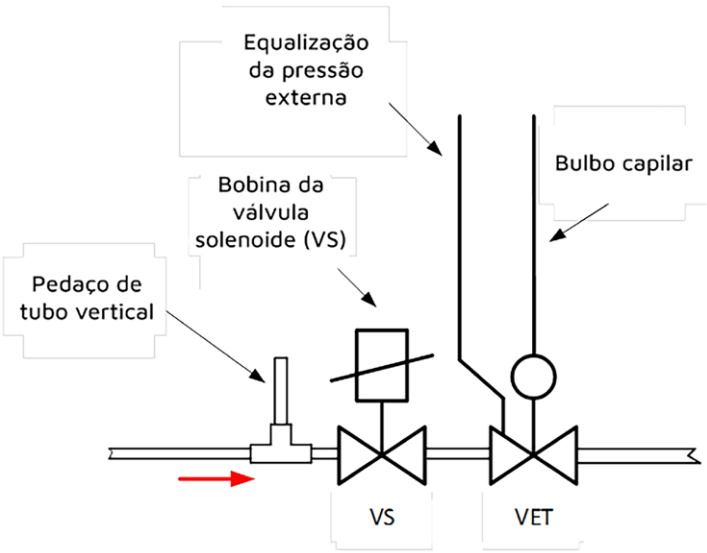
Essa provisão de instalação deve evitar o golpe de líquido (se a válvula solenoide estiver no tamanho certo). A velocidade do fluido refrigerante líquido dentro da tubulação do sistema deve ser considerada.

Golpe de líquido causado pela válvula solenoide	A interrupção rápida do fluxo quando uma válvula é fechada pode produzir pulsações de alta pressão que podem danificar o sistema, e os dispositivos de alívio de pressão podem ser ativados. Ambos os incidentes podem resultar no vazamento do fluido refrigerante até a carga total do sistema (por exemplo, um tubo pode se romper).

Se ocorrer um golpe de líquido quando a válvula solenoide for fechada, isso poderá ser remediado montando-se um tubo vertical selado localizado em uma peça T (domo de gás) à frente da válvula solenoide (veja a Figura 347).

Deve-se garantir que todos os tubos ao redor da válvula estejam instalados adequadamente e presos de forma que não possam ocorrer fraturas (veja a Figura 348).

Figura 347 – Tubo vertical selado para evitar martelo d'água



Fonte: HEAT GmbH.

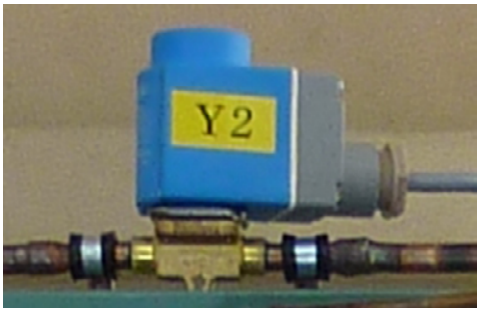
A brasagem de uma válvula solenoide no tubo de transferência de fluido refrigerante normalmente não exige o desmonte do corpo das válvulas (para dimensões menores). Devem ser tomadas providências para evitar o superaquecimento da válvula:

Evitar o superaquecimento com a brasagem do corpo da válvula	Aplique uma pasta de bloqueio de calor ou um pano úmido na junta brasada, entre o conector da junta brasada de cobre e o tubo de transferência do fluido refrigerante; Primeiro, aqueça o tubo de cobre que entra no conector, depois, aplique calor no conector e aplique solda para concluir a conexão; Mantenha sempre a chama direta longe do corpo da válvula; e Recomenda-se usar uma solda de prata para fazer a junta; calor em excesso pode danificar o corpo da válvula solenoide (gaxeta e materiais).

Para válvulas de maiores dimensões, após colocar a válvula no tubo, o corpo da válvula deve ser removido para proteger os *O-rings* e gaxetas do calor aplicado pela brasagem. Para sistemas recém-instalados ou para reparos em geral, sempre que for possível, é recomendado fazer o *flushing* dos tubos e da válvula com OFDN.

Durante o *flushing* com OFDN ou para testes de pressão, todas as válvulas solenoides devem ser abertas, por exemplo, por uma ferramenta de abertura magnética permanente (veja a Figura 349) ou abrindo-se as válvulas manualmente, desde que um fuso de operação manual esteja instalado).

Figura 348 – Exemplo de fixação adequada da válvula solenoide por abraçadeiras colocadas corretamente



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 349 – Ferramenta de abertura da válvula solenoide (ímã permanente) usada para serviços e reparos e testes de pressão do sistema



Fonte: ITE.

8.8 **Equipamentos de segurança**

Pressões de trabalho muito altas podem ocorrer no lado de alta pressão e no de baixa pressão durante a operação e a parada dos sistemas de AVAC-R. Isso exige que as regras e normas aplicáveis sejam observadas durante o projeto, a seleção de componentes e a fase operacional.

Sobrecarregar um sistema com fluido refrigerante também pode levar a pressões que acionem os dispositivos de segurança, também, especificamente quando ocioso, em temperaturas ambientes altas.

Ao selecionar um dispositivo de segurança, deve-se levar em conta a carga do fluido refrigerante, a classificação de segurança do fluido refrigerante, a sobrepressão de operação permitida máxima e o tamanho do vaso ou do tubo.

8.8.1 **Dispositivo de alívio de pressão**

A válvula de alívio de pressão ou disco de ruptura e plugue fusível são projetados para aliviarem o excesso de pressão automaticamente. Esses dispositivos são danificados pela liberação de fluido refrigerante e devem ser trocados seguindo-se as especificações detalhadas do OEM (sigla de "*Original Equipment Manufacturer*", ou "*Fabricante Original do Equipamento*").

Figura 350 – Plugue fusível



Fonte: Dean-wood UK.

O plugue fusível (veja a Figura 350) contém uma membrana que se derrete a uma temperatura predeterminada, correspondendo à pressão de saturação segura do fluido refrigerante.
De acordo com a norma ABNT NBR ISO 5149-2, eles podem ser usados somente quando fluidos refrigerantes A1 e A2L são usados, mas não devem ser usados como o único dispositivo de alívio de pressão entre um componente contendo fluido refrigerante e a atmosfera para sistemas com uma carga de fluido refrigerante maior do que 2,5 kg.

Figura 351 – Disco de ruptura



Fonte: Dive Gear Express.

Discos de ruptura ou rompimento (veja a Figura 351) são projetados para se quebrarem em pressões predeterminadas.

Figura 352 – Válvula de cilindro de duas portas com dispositivo de alívio de pressão



Fonte: Rotarex.

Exemplo de aplicação:
Válvulas de cilindro de latão de duas portas com dispositivo de pressão residual para CO_2 industrial, inerte, mistura e gases inflamáveis. Ambas as saídas da válvula permitem extrair a fase líquida ou gasosa do cilindro.

- Vedação hermética permanente de gás;
- Adaptador de abastecimento específico exigido;
- Execução offline da válvula de pressão residual;
- Marcação de acordo com a diretriz TPED (Equipamentos sob Pressão Transportáveis); e
- Testado de acordo com as normas EN ISO 10297 e ISO 15996.

8.8.2 **Válvulas de alívio de pressão**

Válvula sensível à pressão que é mantida fechada por uma mola ou outros meios e é projetada para aliviar automaticamente a pressão excessiva, começando a se abrir a uma pressão definida e fechando-se novamente após a pressão cair abaixo da pressão definida.

Os requisitos exatos para o uso de válvulas de segurança em sistemas de refrigeração podem variar dependendo das regulamentações locais, códigos de construção locais, normas de segurança (por exemplo, ABNT NBR ISO 5149, EN 378 e ASME BPVC), normas do setor e características específicas do sistema. No geral, entretanto, as válvulas de segurança em sistemas de refrigeração devem ser instaladas onde possa ocorrer sobrepressão, por exemplo, em compressores, condensadores, evaporadores, tanques de líquido, separadores de óleo, acumuladores de líquido ou tubulações.

Prenda todos os tubos e componentes que possam conter fluido refrigerante preso e equipe-os com uma válvula de alívio de pressão interna que, quando acionada descarrega para o lado de baixa pressão do sistema, ou uma válvula de segurança externa;

No caso de válvulas de bloqueio manuais, indique um possível risco de líquidos presos e, se necessário, proteja esses "tubos mortos" com válvulas de segurança; e

Especifique os procedimentos de bloqueio e drenagem no manual de serviço, por exemplo, a sequência de desligamento manual e operação das válvulas.

As válvulas bloqueadas são permitidas:

Entre o compressor e seu dispositivo de alívio na posição aberta;

Entre os dispositivos de alívio de pressão e o vaso de pressão ou outra parte do sistema de refrigeração que elas protegem, desde que estejam presas na posição aberta por uma vedação de chumbo ou equivalente; e

Acima e abaixo de uma válvula de alívio de pressão (independentemente da contrapressão) para sistemas contendo mais de 100 kg de fluido refrigerante, desde que estejam presas na posição aberta por uma vedação de chumbo ou equivalente.

Marcação da vedação de chumbo	Local onde as válvulas bloqueadas devem ficar presas por uma vedação de chumbo ou equivalente. Essa vedação deve ser marcada claramente por profissional qualificado, com a identificação de acordo com a ABNT NBR 17131.

8.8.2.1 Válvula de segurança dependente de contrapressão

A válvula de segurança de alívio depende da contrapressão (se a contrapressão for maior do que a pressão atmosférica, a pressão de abertura será maior do que a pressão definida declarada) e se descarrega no ambiente.

Figura 353 – Válvula de segurança – dependente da contrapressão

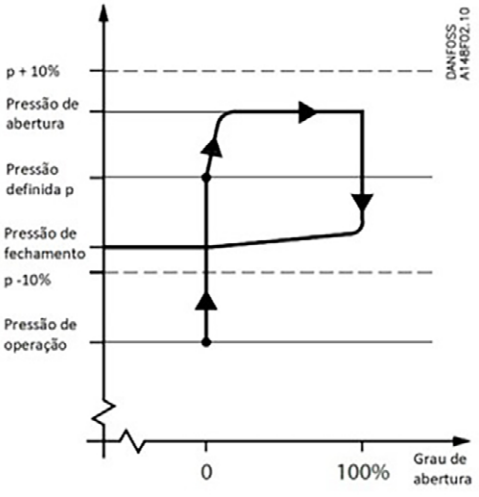


Fonte: SFA, da Danfoss.

Projetada genericamente como uma válvula de segurança de carga direta recomendada especialmente para aplicações de refrigeração. No caso de aumento de pressão (veja também a Figura 354) acima da pressão definida, a válvula de segurança de alívio vai primeiro se abrir levemente para minimizar a descarga de fluido refrigerante para o ambiente.

Se a pressão continuar a aumentar, a válvula vai se abrir totalmente. A válvula de segurança de alívio estará totalmente aberta, antes de a pressão ficar 10% maior do que a pressão definida; e totalmente fechada, antes de a pressão ficar 10% abaixo da pressão definida.

Figura 354 – Curva de alívio da pressão da válvula de segurança



Fonte: SFA, da Danfoss.

Para garantir a operação exata da válvula de segurança de alívio, a válvula deve ser instalada com a carcaça da mola para cima. Quando a válvula está montada, é importante evitar a influência de estresses estático, dinâmico e térmico.

A vedação da válvula pode ser danificada se a sujeira for soprada da tubulação para a válvula.

Recomenda-se que as válvulas de segurança de alívio façam a exaustão para um ambiente aberto, com um tubo em U cheio de óleo no ramal de descarga, para evitar que a sujeira entre na válvula. Um visor de líquido no nível do óleo indicará se o óleo foi descarregado.

O fluido refrigerante descarregado pode ser difundido para o ar por meios apropriados, mas longe de qualquer entrada de ar para o edifício, ou descarregado em uma quantidade compatível de uma substância absorvente adequada (no caso de R-717 ser usado). A conexão das linhas de descarga para dispositivos de descarga deve ser organizada de modo que os testes individuais de estanqueidade (por exemplo, acesso para detecção de vazamento de fluido refrigerante) nos dispositivos de descarga sejam possíveis.

8.8.2.2 **Válvula de segurança independente de contrapressão (válvula de alívio de pressão)**

A válvula de alívio de pressão é recomendada como uma válvula de segurança interna, pois sua função é independente da contrapressão. Entretanto, esta válvula também pode ser usada como uma válvula de segurança externa. A função é equivalente a descrita no item 8.8.2.1. No caso de descarga, o fluido refrigerante é levado, por exemplo, do lado de alta pressão até o lado de baixa pressão do circuito de refrigeração.

Figura 355 – Válvula de segurança – independente da contrapressão



Fonte: BSV, da Danfoss.

8.8.2.3 **Válvula corrediça**

Válvula que contém dois dispositivos de segurança e está disposta de tal forma que apenas um dos dispositivos pode ser desativado por vez. Essas válvulas permitem teste e reparo de dispositivos de segurança contra pressão excessiva durante a operação, desconectando sempre somente um dos dispositivos de segurança, conectados em pares, do sistema a ser monitorado, e conectando o outro. Elas são usadas para sistemas grandes ou vasos de pressão que não podem ser esvaziados sem desligar o sistema.

Figura 356 – Válvula corrediça



Fonte: DSV, da Danfoss.

8.8.2.4 **Considerações para aplicações do R-744**

Se uma válvula de segurança for aberta, haverá formação de gelo seco. A temperatura da superfície do gelo seco é de -78,9 °C (ponto de sublimação em 0,981 bar). Ele se forma quando o CO_2 líquido se expande para uma pressão de menos de 5,18 bar (ponto triplo a -56,6 °C). O gelo seco pode bloquear válvulas e tubos, exigindo assim experiência e conhecimentos apropriados na hora de abastecer e fazer a manutenção de sistemas de CO_2. Na pressão atmosférica, o gelo seco é muito frio, e há o risco de formação de fraturas instáveis no aço dos tubos e componentes. O contato da pele com o gelo seco pode causar queimaduras.

A válvula de alívio pode ser montada afastada do vaso ou de outros equipamentos, que ela está protegendo, para garantir que ela possa fazer o alívio para a atmosfera sem riscos de bloqueio do tubo de saída, desde que a tubulação de entrada para a válvula de alívio seja adequadamente dimensionada de acordo com a ISO 24664.

Os dispositivos de alívio de pressão, que fazem descarga para a atmosfera, podem ser instalados em paralelo com os dispositivos de alívio de pressão, para protegerem o sistema do excesso de pressão oriundo das fontes de calor externas.

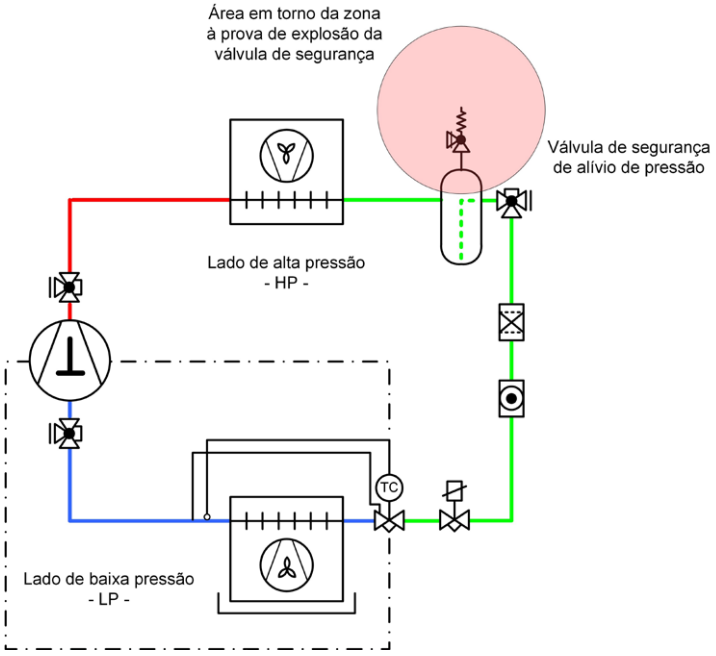
8.8.2.5 **Considerações para aplicações do R-290**

Para válvulas de segurança de purga (descarga), deverão ser tomadas medidas, pelo empregador, de acordo com a avaliação de risco, para garantir que nenhum perigo seja causado pela purga dos fluidos refrigerantes inflamáveis.

Uma Zona 2 para atmosferas potencialmente explosivas deve ser definida e marcada na vizinhança das saídas de purga (veja a Figura 357 e a Figura 358).

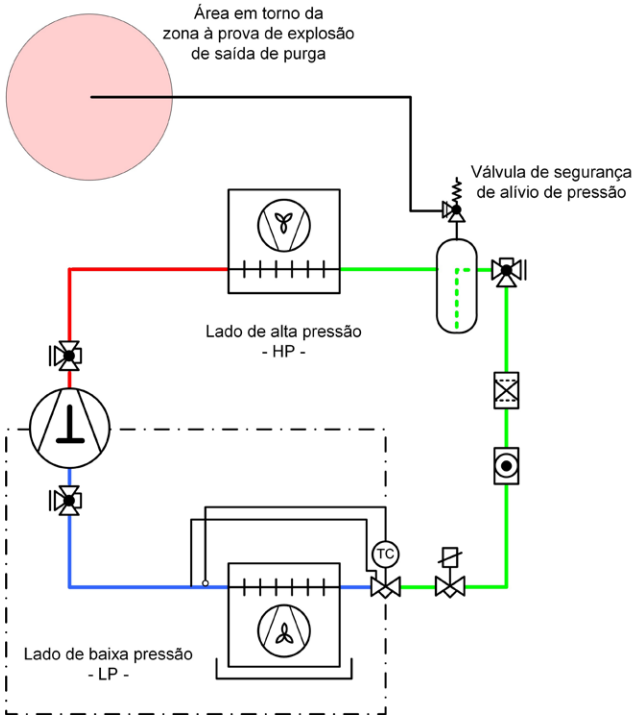
O tamanho da atmosfera potencialmente explosiva deve ser determinado de acordo com a quantidade de fluido refrigerante que pode ser liberada e não deve ter raio inferior a dois metros.

Figura 357 – Purga da válvula de segurança e classificação de zonas à prova de explosão, exemplo 1



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 358 – Purga da válvula de segurança e classificação de zonas à prova de explosão, exemplo 2



Fonte: Rolf Huehren.

A tubulação de purga deve estar protegida contra a entrada de água e contaminação. O fluido refrigerante liberado não deve se acumular, de forma que possa levar a uma atmosfera perigosa, explosiva, asfixiante ou tóxica. Isso também deve ser levado em conta na avaliação de risco do operador/empregador. Uma inspeção regular deve ser feita nesses dispositivos de alívio de pressão, de acordo com as normas aplicáveis.

As medições feitas pelo operador para garantir a descarga segura das saídas de purga podem incluir:

- A válvula de segurança e a saída de purga ficam ao ar livre, em uma área que não cause perigo às pessoas; e

- A linha de purga para o fluido refrigerante é estendida para uma área que não ofereça perigo.

Para o dimensionamento da tubulação, é necessário observar as especificações do fabricante da válvula de segurança.

Se os requisitos de Zona 2 não forem atingidos na purga, será necessário especificar a Zona 1.

8.8.2.6 **Instalação e operação de válvulas de bloqueio simples para válvulas de segurança em série**

Figura 359 – Válvula de bloqueio para instalação com válvulas de segurança em série – proteção com vedação de chumbo



Fonte: Castel.

Figura 360 – Equipamentos de proteção da vedação de chumbo



Fonte: Navacqs.

Figura 361 – Substituição adequada da vedação de chumbo com vedação de segurança marcada



Fonte: Seals.com.

Qualquer intervenção para inspeção periódica ou troca de um dispositivo de segurança instalado torna-se muito difícil se o vaso protegido (componente do sistema de refrigeração) não estiver equipado com uma válvula de bloqueio.

Válvulas de bloqueio instaladas em série entre o componente protegido e a válvula de segurança permitem que o dispositivo seja desmontado para inspeção ou substituição sem purga de todo o fluido refrigerante de uma seção inteira do sistema.

As válvulas em série com uma válvula de segurança devem ser fornecidas com uma tampa do fuso em posição aberta e a proteção da tampa do fuso é vedada com chumbo (ou equivalente, veja a Figura 360).

Qualquer operação para fechar a válvula exige e causa a adulteração da vedação e deve ser executada exclusivamente por:

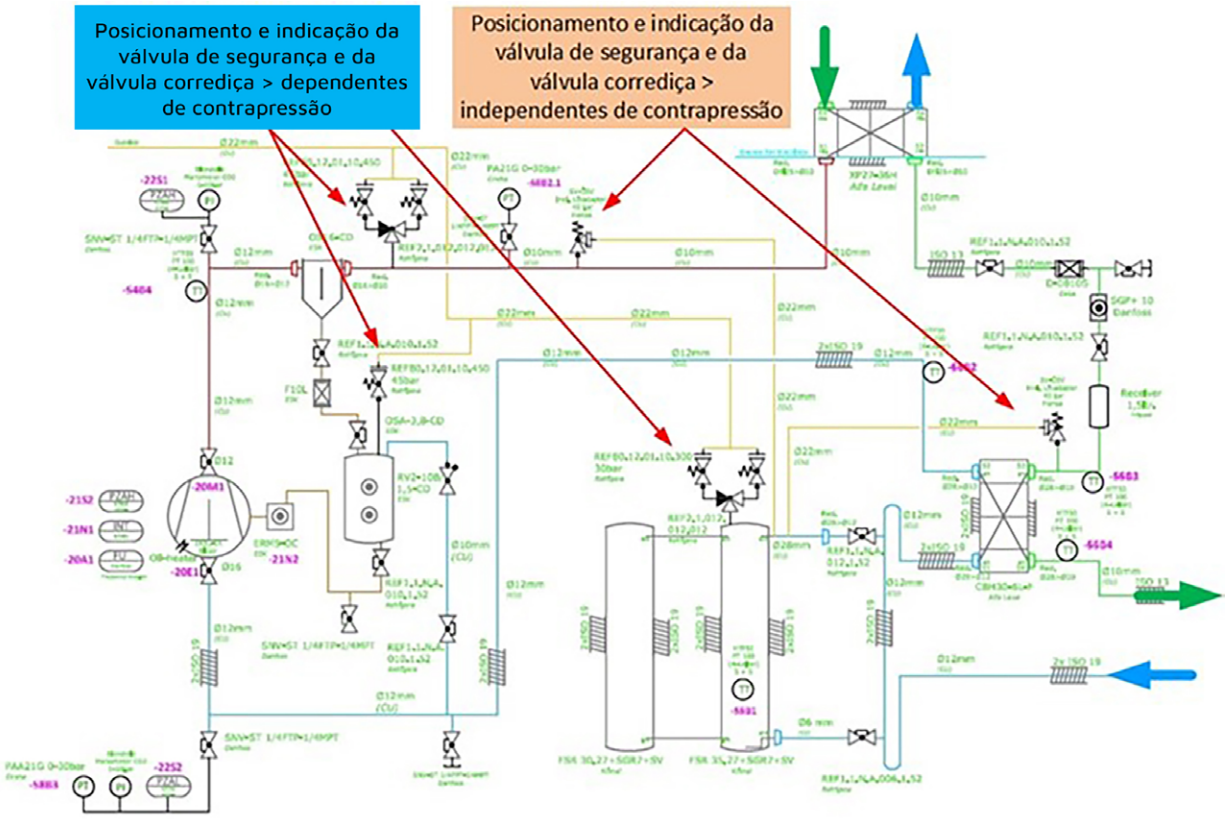
Pessoal autorizado a trabalhar no sistema;
Um operador de um corpo de inspeção competente.

Esses profissionais serão responsáveis pela reabertura subsequente da válvula de bloqueio e a aplicação de uma nova vedação com sua própria vedação de chumbo (gravação ou marcação do pessoal, veja a Figura 361).

8.8.3 Exemplo de aplicação para válvulas de segurança (PID do R-744 subcrítico)

O PID mostrado na Figura 362 foi extraído de um circuito de refrigeração subcrítico do R-744 e mostra um exemplo da organização de segurança para vasos de pressão do circuito e a aplicação de válvulas de segurança dependentes e independentes de contrapressão e a combinação de válvulas corrediças.

Figura 362 – Exemplo de aplicação de válvula de segurança (extrato) para o circuito de refrigeração do R-744 subcrítico



Fonte: Rolf Huehren.

8.8.4 Guia passo a passo para projetar uma válvula de segurança para um sistema de refrigeração

Revise as normas aplicáveis, como ABNT NBR ISO 5149, EN 378 e ASME BPVC, que definem os requisitos para válvulas de segurança. Determine o propósito e sua função, que normalmente é proteger o sistema contra sobrepressão, e quaisquer requisitos adicionais, como prevenir refluxos. Para facilitar os cálculos, pode-se usar um *software*, como o Coolselector2, da Danfoss.

8.8.4.1 Determinar os parâmetros do sistema

- Pressão operacional máxima permitida (PS): Obtenha a mais alta pressão para a qual o sistema foi projetado;
- Tipo de fluido refrigerante: Identifique o fluido refrigerante usado, pois isso impacta os limites da pressão;
- Volume do sistema: Calcule o volume da parte protegida do sistema (por exemplo, evaporador, condensador e tubulação); e

- Temperaturas operacionais: Considere as temperaturas operacionais mínima e máxima do sistema, pois elas influenciam a pressão.

8.8.4.2 **Calcular a capacidade de descarga**

- Fluxo máximo de massa: Estime a quantidade máxima de fluido refrigerante que pode precisar ser liberada durante condições extremas, como entrada de calor máxima ou falha do processo; e
- Considerações quanto ao sistema: Use os métodos de cálculo detalhados em normas, como a EN 13136, para estimativas de taxa de fluxo de massa e volume.

8.8.4.3 **Selecionar a válvula apropriada**

- Pressão definida: Escolha uma válvula com pressão definida levemente abaixo da pressão máxima permitida pelo sistema, mas acima da pressão operacional normal (em geral 10% acima da pressão operacional);
- Capacidade: Assegure-se de que a capacidade da válvula (taxa de fluxo a uma determinada pressão e fluido) seja mais alta que a taxa de descarga máxima calculada;
- Compatibilidade do material: Assegure-se de que o material da válvula seja compatível com o fluido refrigerante e as condições operacionais.

8.8.4.4 **Dimensionar a saída da válvula**

- Dimensionamento da válvula: Selecione um tamanho nominal e um tipo de conexão (por exemplo, flangeada ou rosqueada) adequada para as conexões e capacidade de descarga do sistema;
- Projeto da tubulação: A tubulação de entrada deve minimizar a queda da pressão. A tubulação de descarga deve suportar a taxa de vazão máxima sem causar contrapressão. Siga normas, como a EN 378-2, para orientações quanto às dimensões da tubulação.

8.8.4.5 **Definir local e orientação da instalação**

- Posicionamento: Instale a válvula de segurança para proteger a parte visada do sistema de maneira eficiente (por exemplo, diretamente no vaso, evaporador ou condensador);
- Orientação: Siga as recomendações do fabricante (por exemplo, montagem vertical); e
- Acessibilidade: Assegure-se de que a válvula seja facilmente acessível para inspeção e manutenção.

8.8.4.6 **Validação e documentação**

- Validação do projeto: Verifique as dimensões e a capacidade da válvula por meio de simulações ou cálculos;

- Identificação: Assegure-se de que a válvula esteja identificada corretamente (classificação de pressão, faixa de temperatura e capacidade de vazão); e
- Documentação: Mantenha registros dos cálculos, fichas técnicas das válvulas e protocolos de inspeção.

8.8.4.7 **Fazer manutenção regularmente**

- Inspecione a válvula de segurança regularmente para garantir que ela esteja funcionando adequadamente; e
- Troque a válvula de acordo com as diretrizes do fabricante ou se forem detectados defeitos.

8.8.4.8 **Considerar a declaração geral para instalação de válvulas de segurança e tubulação de purga (conforme EN 13136)**

- Quando se trata da instalação de válvulas de segurança, lembre-se destes pontos básicos:
- As válvulas de segurança devem ser instaladas perto de uma área do sistema em que haja vapores ou gases e não haja turbulência do fluido. Elas devem ser colocadas "em pé" ou o mais próximo possível disso, com o conector de entrada voltado para baixo;
- Vasos unidos por tubulações, de um diâmetro considerado adequado pelo fabricante e pelo usuário, sem válvula de passagem entre eles, podem ser considerados como um só vaso para a instalação de uma válvula de segurança;
- A conexão entre a válvula e o equipamento a ser protegido deve ser a mais curta possível. Além disso, a seção transversal da tubulação não deve ser menor do que a entrada da válvula. Seja como for, a EN 13136 determina que a queda de pressão entre o vaso protegido e a válvula de segurança, na capacidade de descarga, não deve exceder 3% do valor de configuração, p_o, incluindo qualquer acessório na linha; e
- O local selecionado para a instalação da válvula de segurança deve considerar que a operação da válvula envolve a descarga do fluido refrigerante sob pressão, às vezes, em alta temperatura. Onde houver o risco de ferimentos às pessoas próximas, a tubulação de exaustão deve ser fornecida, dimensionada de forma a não comprometer a operação da válvula. A EN 13136 determina que essa tubulação não deve gerar, na capacidade de descarga, uma contrapressão excedendo 10% da pressão p_o, para válvulas convencionais não balanceadas. No caso de muitas válvulas instaladas em paralelo, é altamente recomendável que cada válvula seja equipada com uma linha de exaustão dedicada e não com um só *manifold* para todas as válvulas. O risco dessa última solução é criar sobrepressão no *manifold* determinado, quando uma válvula faz a descarga. Essa sobrepressão pode modificar as características operacionais de todas as outras válvulas instaladas em paralelo.

8.8.5 **Dispositivos de manobra para limitar a pressão**

Geralmente, trata-se de um dispositivo mecânico que responde à pressão e serve para desligar o gerador de pressão, como um compressor.

Pressostato

Dispositivo de manobra de segurança para limitação de pressão que se religa automaticamente. Ele é chamado de **PSH**, para proteção contra pressão excessiva, e **PSL**, para proteção contra pressão baixa.

Limitador de pressão

Dispositivo de manobra de segurança para limitação de pressão que se redefine automaticamente. Ele é chamado de **PZH**, para proteção contra pressão excessiva, e **PZL**, para proteção contra pressão baixa.

Limitador de pressão de segurança

Dispositivo de manobra de segurança para limitação de pressão que pode ser redefinido somente com a ajuda de uma ferramenta. Ele é chamado de **PZHH**, para proteção contra pressão excessiva, e **PZLL**, para proteção contra pressão baixa.

Exemplos da grande variedade de pressostatos disponíveis:

Figura 363 – Exemplo de pressostato para HCs



Fonte: KP-E, da Danfoss.

Os pressostatos KP-E são projetados para uso com hidrocarbonetos em sistemas de AVAC-R para valores de pressão ajustáveis. Eles são equipados com contatos SPDT banhados a ouro e elementos de fole de aço inoxidável.
Os pressostatos de alta pressão têm elementos de fole duplo à prova de falhas.
Os KP-E são adequados para operação em atmosferas potencialmente explosivas, de acordo com a diretiva ATEX.
Os pressostatos para fluidos refrigerantes HCFC, HFC e CHP têm conexões soldadas (¼"), permitindo uma conexão hermética.

Figura 364 – Pressostato de cartucho



Fonte: ACB, da Danfoss.

Limitadores de pressão, como pressostatos do tipo cartucho, por exemplo, válvulas de manobra fixas (13 / 18 bar) e redefinição automática.

8.8.5.1 **Resumo dos pressostatos de alta pressão**

No caso de se exceder a pressão operacional permitida, o compressor é desligado pelo interruptor de alta pressão, como uma função de segurança, e a pressão no lado de alta pressão cai novamente. Um pressostato de alta pressão também é usado para proteger o ambiente da contaminação com fluido refrigerante. Os pressostatos de alta pressão também podem ser usados para a modulação da pressão de condensação em temperaturas ambientes variáveis ligando e desligando o motor do ventilador do condensador.

Uma visão geral dos diferentes pressostatos de alta pressão para esse fim é apresentada na Tabela 72.

Tabela 72 – Visão geral dos controles de alta pressão

	Tipo de controle de pressão	Símbolo	
1.	Limitador de pressão alta com redefinição automática	PSH	Pressão; Limitador; Alta pressão
2.	Limitador de alta pressão (corte) com redefinição manual sem ferramenta (aprovado por tipo > TA)	PZH	Pressão; Ação de segurança; Alta pressão
3.	Limitador de segurança TA de alta pressão que exige uma ferramenta para se executar a redefinição manual.	PZHH	Pressão; Ação de segurança; Alta pressão; redefinição manual com uso de ferramenta

Fonte: Rolf Huehren.

Explicações adicionais quanto ao exposto acima:

1. Com uma versão de redefinição automática, é sempre possível, para o sistema, ser religado automaticamente após a pressão diminuir um determinado valor;
2. Com a redefinição manual sem ferramentas, é necessário executar a redefinição após um desligamento protetivo do compressor atingindo o limite de alta pressão. Nesse caso, deve ser possível iniciar essa redefinição sem o uso de uma ferramenta; e
3. Finalmente, em uma redefinição manual com ferramenta, é necessário usar uma chave de fenda, por exemplo, para remover a tampa de proteção dos controles para fazer a redefinição manual. Recomenda-se proteger a tampa de proteção do dispositivo com vedação de chumbo.

8.8.5.2 **Resumo dos pressostatos de baixa pressão**

Os pressostatos de baixa pressão são geralmente conectados na vizinhança imediata do compressor no lado da sucção. Eles são usados para desligamento protetivo devido a falta de fluido refrigerante, formação de gelo, defeito em algum ventilador no evaporador ou em alguma bomba em aplicação de *chiller* de água. Dessa forma, deve-se proteger o compressor de operar fora de seu limite de compressão máxima. O pressostato de baixa pressão também é usado para proteger o ambiente da contaminação com óleo lubrificante. Uma visão geral dos diferentes pressostatos de baixa pressão para esse fim é apresentada na Tabela 73.

Tabela 73 – Visão geral dos controles de baixa pressão

	Tipo de controle de pressão	Símbolo	
1.	Limitador de baixa pressão com redefinição automática	PSL	Pressão; Limitador; Baixa pressão
2.	Limitador de baixa pressão (corte) com redefinição manual sem ferramenta (aprovado por tipo > TA)	PZL	Pressão; Ação de segurança; Baixa pressão
3.	Limitador de segurança TA de baixa pressão que exige uma ferramenta para a redefinição manual	PZLL	Pressão; Ação de segurança; Baixa pressão; Redefinição manual com uso de ferramenta

Explicações adicionais quanto ao exposto acima:

1. Com uma versão de redefinição automática, é sempre possível, para o sistema, ser religado automaticamente após a pressão diminuir um determinado valor.
2. Com a redefinição manual sem ferramentas, é necessário executar a redefinição após um desligamento protetivo do compressor atingindo o limite de alta pressão. Nesse caso, deve ser possível iniciar essa redefinição sem o uso de uma ferramenta; e
3. Finalmente, em uma redefinição manual com ferramenta, é necessário usar uma chave de fenda, por exemplo, para remover a tampa de proteção dos controles para fazer a redefinição manual. Recomenda-se proteger a tampa de proteção do dispositivo com vedação de chumbo.

Fonte: Rolf Huehren.

Um pressostato de baixa pressão também pode ser usado para fins de controle de liga/desliga no sistema de AVAC-R. Por exemplo, nos sistemas "*pump out*" e "*pump down*" (parada por recolhimento). Eles são usados em máquinas de gelo, em que servem para iniciar o ciclo de coleta.

Em alguns casos, um pressostato de baixa pressão é usado para desligar e religar um compressor na pressão/temperatura da bobina do evaporador para controlar uma temperatura diretamente nos evaporadores. Essa função pode fornecer um meio de descongelar o evaporador em um equipamento de temperatura média.

8.8.5.3 Configuração de dispositivos de rearme automático para limitação da pressão (de acordo com a ABNT NBR ISO 5149)

As seguintes informações não são relevantes para equipamentos fabricados intrinsecamente seguros e alguns sistemas unitários.

Exemplo de PSH e PSL

1. Para ajustar os pressostatos, as seguintes fórmulas se aplicam:

PSL: *Pressão de corte = ativação – diferencial de pressão*

em que:

Corte: Pressão na qual o compressor será desligado pelo pressostato de baixa pressão (PSL), para evitar trabalhos abaixo dos limites operacionais ou em vácuo.

Ativação: Pressão que tem que ser ajustada no PSL na qual o compressor será ativado, considerando-se a pressão diferencial do dispositivo. A partir desse

parâmetro, dependerá de quão rapidamente o compressor pode ser ativado assim que a válvula solenoide da linha de líquido tiver sido aberta.

Diferencial: Diferencial de pressão que tem que ser ajustado no PSL, para que o compressor possa ser operado entre as pressões de corte e ativação.

2. **PSH:** *Pressão de ativação = corte – diferencial de pressão*

em que:

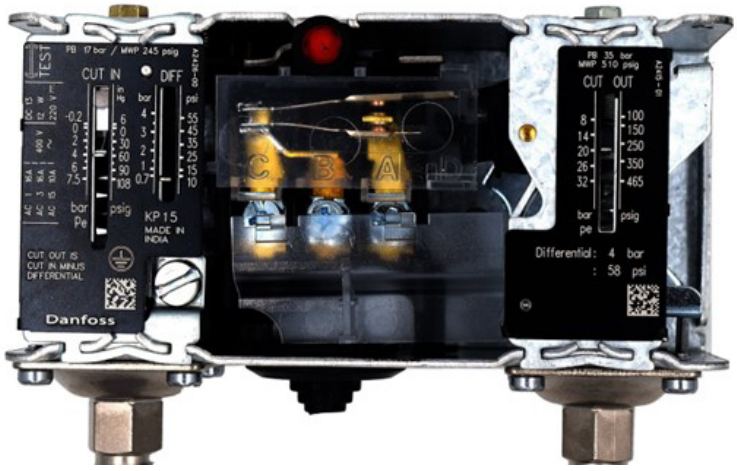
Ativação: Pressão na qual o compressor será ativado pelo pressostato de alta pressão (PSH).

Corte: Pressão que tem que ser ajustada no pressostato de alta pressão, para evitar que o compressor funcione acima dos limites operacionais.

Diferencial: Diferencial de pressão que tem que ser ajustado no PSH, para que o compressor seja operado entre as pressões de corte e ativação automaticamente.

8.8.5.4 Projeto e ajuste do pressostato (exemplo com o pressostato duplo KP17 da Danfoss)

Figura 365 – Exemplo de um projeto de um pressostato duplo PSL (esquerda) e PSH (direita)



Fonte: Danfoss.

À esquerda da Figura 365 está a conexão para o lado de baixa pressão. A escala à esquerda é usada para definir o valor de ativação com a escala DIFF, a diferença entre os valores de ativação e desativação. A sobrepressão sempre é definida (p_g).

O pressostato de pressão baixa evita que a pressão no lado de baixa pressão caia abaixo de um valor mínimo. Para evitar que ar e umidade entrem no circuito de refrigeração, no caso de um desequilíbrio, a pressão de corte é preferencialmente definida para um valor acima da pressão atmosférica.

A pressão de corte resulta do valor de ativação menos a diferença.

Para sistemas de refrigeração de média e alta temperatura, a pressão de corte deve ser definida para um valor que corresponda à diferença de aproximadamente 10 a 15 Kelvin abaixo da temperatura de evaporação normal. Isso também permite que os problemas de funcionamento no sistema sejam monitorados indiretamente.

À direita, da Figura 365, está a conexão para o lado de alta pressão. A escala associada indica o ponto de corte do pressostato de alta pressão. O diferencial de rearme automático é fixo em quatro bar. O pressostato de alta pressão evita que a pressão operacional máxima permitida no lado de alta pressão seja excedida.

Notas para o ajuste de comutação	As escalas de configuração nos dispositivos servem apenas como guias. Assim, os pontos de comutação devem ser definidos sempre em comparação com um manômetro adequado. Os valores definidos são sempre pressões efetivas. É melhor ajustar todos os pressostatos, usando nitrogênio e um manômetro, antes de instalá-los no sistema.

Os dispositivos de segurança para evitar pressão em excesso devem ser posicionados de tal forma que a pressão operacional máxima permitida PS não possa ser excedida. Se dispositivos de alívio de pressão (válvulas de segurança) estiverem instalados, o valor definido não deve exceder 0,9 multiplicado pela PS.

Para evitar que o compressor se desligue e religue com muita frequência, a histerese de comutação não deve ser definida muito baixa.

8.8.6 Dispositivo limitador de temperatura

Os **limitadores de temperatura de segurança (STLs)** são usados em tecnologia de refrigeração para proteger sistemas e componentes das condições operacionais críticas. Eles monitoram as temperaturas e desligam o sistema (ou componentes do sistema) se os limites predefinidos forem excedidos. Isso evita danos e garante a operação segura.

Compressores:

Protege contra o superaquecimento do compressor, que pode ocorrer devido às altas pressões de evaporação, refrigeração insuficiente ou condições operacionais com problemas. Usado comumente para monitorar a descarga do compressor ou as temperaturas da carcaça.

Figura 366 – Termostato duplo para monitorar a linha de descarga e o tanque de óleo do compressor



Fonte: Danfoss.

Para evitar que a temperatura do gás quente exceda o valor máximo permitido durante condições operacionais extremas (pressão de evaporação baixa, pressão de condensação alta e superaquecimento do vapor de sucção alto), o termostato pode ser usado no lado de alta temperatura (HT). Se a temperatura do gás quente ficar muito alta, o fluido refrigerante vai se dissolver, e a válvula de descarga do compressor será danificada.

O risco é maior nos sistemas de refrigeração que operam em uma taxa de compressão alta (por exemplo, em sistemas com NH_3 ou R-22) e em aplicações com desvio de gás quente.

A unidade tem duas funções de termostato separadas. O sensor HT que controla a temperatura do gás de descarga é colocado no tubo de descarga imediatamente após o compressor. Para compressores maiores, o sensor pode ser colocado na linha de descarga.

O sensor de óleo, que controla a temperatura do óleo, fica no tanque de óleo do compressor.

Figura 367 – Sensor de temperatura de contato do tubo



Fonte: Sensorshop24.

Um sensor de contato do tubo com uma unidade de controle associada também pode ser usado para a aplicação de termostato no tubo de pressão. Isso também serve para proteger os compressores de temperaturas finais de compressão extremamente altas. Ao mesmo tempo, o óleo do sistema de refrigeração é protegido contra estresse térmico excessivo e, assim, contra deterioração. Essa medida protetiva é particularmente comum no uso de compressores do tipo scroll. Entretanto, também é recomendada para compressores alternativos.

Circuitos de refrigeração:

Evitam temperaturas que poderiam danificar o fluido refrigerante ou os componentes, como tubos e trocadores de calor.

Condensador:

Evita superaquecimento devido à dissipação insuficiente de calor, por exemplo, quando os ventiladores falham ou o fluxo de ar é bloqueado.

Evaporador:

- Protege contra formação de gelo em sistemas que transportam água (*chiller)*, o que poderia causar danos, como rompimento do evaporador;
- Termostato de segurança de descongelamento serve para proteger as bobinas do evaporador contra superaquecimento.

Figura 368 – Termostato de segurança de descongelamento



Fonte: Express Parts Direct.

Termostato de superfície para montagem nas bobinas do evaporador, para monitorar a temperatura máxima durante o ciclo de descongelamento.

Figura 369 – Termostato de temperatura de contato de tubo/evaporador



Fonte: Danfoss.

Para aplicação em *chiller*

Um termostato adicional, o termostato de proteção de descongelamento, que normalmente fica no evaporador. Junto a uma chave de vazão, ele evita que a temperatura caia abaixo de certos valores de limite, o que poderia levar ao congelamento do circuito de água (em evaporadores com placa específicos) e, assim, à ruptura por congelamento. Isso é um perigo, porque o volume de água aumenta cerca de 10% após a transição do estado de agregação de água para gelo e, assim, pode levar rapidamente a danos significativos, se a água ficar presa.

Aquecedores elétricos:

Em sistemas com elementos elétricos de aquecimento (por exemplo, aquecedores de retorno do óleo), os STLs evitam o superaquecimento que poderia danificar o elemento aquecedor ou os componentes ao redor.

8.8.7 Chave de controle de fluxo de água

Uma chave de controle de fluxo é integrada à tubulação de água fria de um sistema *chiller*, mas não em sistemas de evaporação direta. Uma chave de vazão garante que não ocorram danos por congelamento durante a operação de um sistema de água fria (junto a um termostato de proteção de congelamento). Ela consiste em uma palheta que se move no sentido do fluxo, quando há fluxo no tubo de água refrigerada. Esse movimento leva à atuação de contato sem potencial. Normalmente, o contato fica fechado quando a água está fluindo, e aberto quando a bomba de água fria está ociosa. O *chiller* é intertravado por meio desse contato para evitar que a refrigeração continue mesmo que o lado da água fria não possa mais transferir calor para a rede de água fria. Essa situação acontece se há um defeito na bomba de água gelada. Tal defeito pode ser detectado, com certeza, apenas por uma interruptor de fluxo.

Figura 370 – Interruptor de fluxo para monitorar o fluxo de água gelada



Fonte: Danfoss.

8.8.8 **Monitoramento do nível do fluido refrigerante líquido**

De acordo com a ABNT NBR ISO 5149, os indicadores de nível de tanques de líquido são exigidos em sistemas, que podem ser isolados, contendo mais de:

1. 100 kg de fluido refrigerante do grupo A1;
2. 25 kg de fluido refrigerante dos grupos A2, B1 ou B2; e
3. 2,5 kg de fluido refrigerante dos grupos A3 ou B3.

Nesses casos, os sistemas deverão ser fornecidos com um indicador de nível de líquido para mostrar, pelo menos, o nível máximo do fluido refrigerante. A pressão de teste para um indicador de nível de líquido deve ser, pelo menos, igual àquela da parte do sistema à qual está conectada (de acordo com a EN 12178 cláusula 4.7.3). Não devem ser usados indicadores de nível líquido feitos de tubos de vidro.

Exceção: Os tubos de vidro com indicador de nível de líquido com válvulas de bloqueio automáticas podem ser usados somente se protegidos contra danos externos e se forem compatíveis.

Os visores de nível de líquido do tipo olho de boi não são considerados tubos e devem ser integrados no tanque de líquido (veja a Figura 371).

Figura 371 – Tanque de líquido com visores de líquido de vidro para indicação de níveis mínimo e máximo



Fonte: Schultze ESK GmbH.

Figura 372 – Exemplo de dispositivo de controle de nível eletrônico



Fonte: Schultze ESK GmbH.

Os tanques de líquido são usados para armazenar fluido refrigerante líquido e são projetados para manterem a carga de todo o sistema quando manutenção for necessária. Como já explicado, o visor de líquido de vidro tem que ser integrado para fins de monitoramento.

Os tanques de líquido podem ser equipados com dispositivos eletrônicos de controle de nível e são adequados para fluidos refrigerantes HFC e (H)CFC, bem como para o R-744 (CO_2). É possível detectar hidrocarbonetos (R-290, R-600a), mas o OEM deve declarar sua aprovação de acordo com as diretivas ATEX europeias.

O sensor foi projetado para reconhecer óleos e fluidos refrigerantes em reservatórios de óleo e tanques de líquido. O módulo eletrônico pode ser usado como controle de níveis mínimo ou máximo.

As informações sobre a situação do nível dentro de um vaso são sinalizadas através de um relé. O sensor optoeletrônico envia luz infravermelha por um LED. No caso de não haver líquido disponível, a luz é refletida pelo prisma para o receptor de luz.

A conexão removível entre o prisma e o módulo eletrônico permite mudar o dispositivo eletrônico sem abrir o ciclo de refrigeração.

O relé se desarma três segundos após conectar a tensão do suprimento, se o nível do líquido estiver disponível (controle de nível baixo) / não disponível (controle de nível alto). Durante uma mudança de nível no prisma, o dispositivo eletrônico verifica a condição por cinco segundos antes de reagir. O atraso evita taxas altas de comutação em condições não claras, por exemplo, formação de espuma e bolhas no líquido.

09

TUBULAÇÃO DO FLUIDO REFRIGERANTE (COBRE)

9 Tubulação do fluido refrigerante (cobre)

A tubulação é parte importante e integral dos sistemas de refrigeração. O projeto e a construção incorretos dos tubos do fluido refrigerante podem levar a perigos públicos e ambientais, defeitos ou até mesmo danos ao sistema de refrigeração.

9.1 Requisitos

A tubulação do sistema de refrigeração deve garantir o transporte perfeito do fluido refrigerante (isso é, sem bolsas de líquido e vapor) e o retorno correto do óleo com a menor queda de pressão possível. Esses requisitos, por si só, já são contraditórios, também em relação ao dimensionamento da tubulação. Além disso, há o requisito de força e proteção suficientes do compressor contra o martelo d'água.

Geralmente, os materiais da tubulação devem ser adequados para o fluido refrigerante (em particular, o R-717 e o R-744).

9.2 Rupturas na tubulação

Rupturas na tubulação de sistemas de refrigeração causam gastos altos porque a carga de fluido refrigerante caro precisa ser reposta, os custos de reparo são inevitáveis, e a interrupção da refrigeração causa danos aos bens, entre outros. Felizmente, tal problema é raro. Dependendo do fluido refrigerante, também há o dano ambiental.

As causas possíveis de rupturas na tubulação são:

- Estresse mecânico causado por vibrações;
- Vibrações do compressor (especialmente em compressores alternativos);
- Pulsações de pressão;
- Golpe hidráulico em linhas de líquido;
- Instalação inadequada da tubulação;
- Fixação inadequada da tubulação;
- Suportes inadequados da tubulação;
- Influências químicas em juntas soldadas; e
- Corrosão seletiva com solda contendo fósforo devido ao sulfeto de hidrogênio e ao dióxido de enxofre.

Todos esses fatos devem ser levados em conta durante as etapas do projeto, instalação e manutenção do sistema de AVAC-R.

9.3 **Roteamento e marcação da tubulação do fluido refrigerante**

Os requisitos mencionados anteriormente resultam em regras básicas para roteamento de tubulação:

- Proteção pessoal (nenhuma conexão destacável nas áreas de tráfego com fluidos refrigerantes inflamáveis ou tóxicos);
- Proteção contra danos mecânicos;
- Suporte adequado às tubulações de transferência de fluido refrigerante;
- Conexões sem estresse;
- Proteção contra entrada de calor;
- Boa acessibilidade; e
- Espaço para isolamento térmico.

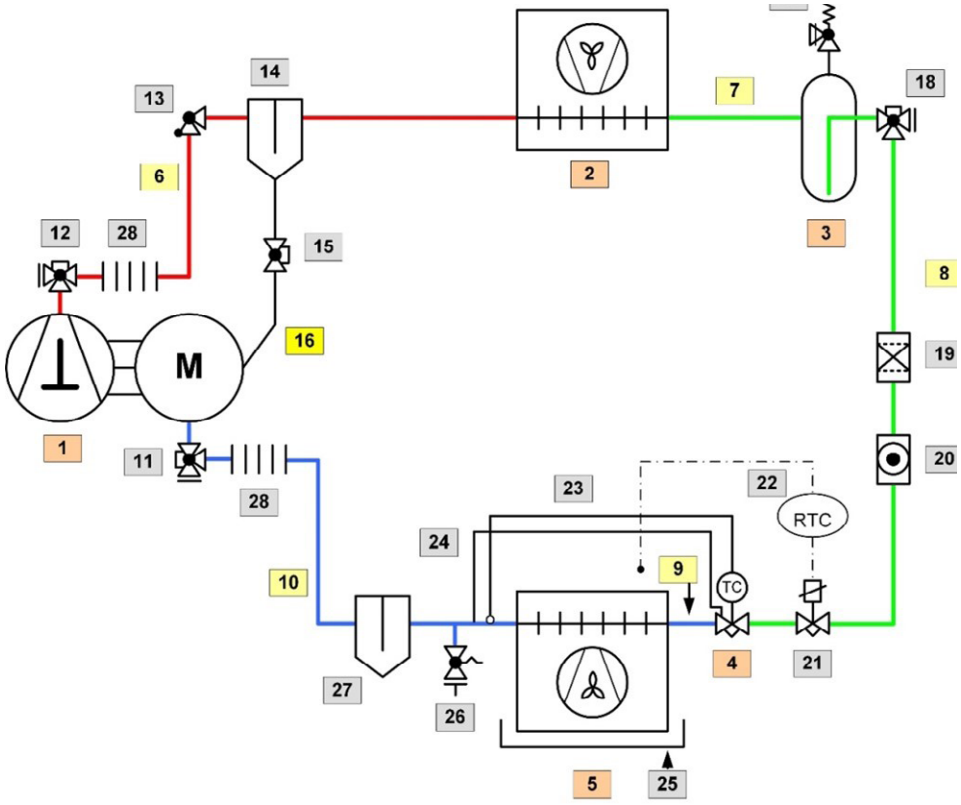
As tubulações dos sistemas de refrigeração podem ser categorizadas como descritos na Tabela 74 e na Figura 373:

Tabela 74 – Designação da tubulação de um sistema de refrigeração

Finalidade da tubulação	Pressão interna	Posição	Condição do fluido refrigerante	Código de cores
Linha de sucção	p_0	Evaporador – Compressor	Gás de sucção superaquecido	azul
Linha de descarga	p_C	Compressor – Condensador	Gás de descarga superaquecido	vermelho
Linha do condensado	p_C	Condensador – Tanque de líquido	Condensado + vapor saturado	verde
Linha de líquido	p_C	Tanque de líquido – Dispositivo de expansão	Líquido sub-resfriado	verde
Linha de injeção	p_0	Elemento de expansão – Evaporador	Vapor úmido	azul
Linha de gás quente	p_C	Compressor – Evaporador, por exemplo	Gás comprimido superaquecido	vermelho
Linha de retorno do óleo	p_C	Separador de óleo – compressor	Gás comprimido	marrom
Linha de impulso	Pressão e posição variáveis e sem transporte de fluido refrigerante			-/-
Linha do sensor	Não conectado à tubulação e somente contato térmico			-/-

Fonte: Rolf Huehren.

Figura 373 – Designação, coloração e local da tubulação do fluido refrigerante



1	Compressor semi-hermético	**17**	Válvula de segurança (dispositivo de alívio de pressão)
2	Condensador refrigerado a ar	**18**	Válvula de passagem com válvula de serviço (tubo de líquido do tanque de líquido)
3	Tanque de líquido	**19**	Filtro secador
4	Válvula de expansão termostática (VET)	**20**	Visor de líquido com indicador de umidade
5	Evaporador de ar forçado	**21**	Válvula solenoide
6	Tubo de descarga	**22**	Controle de temperatura da sala (ponto de resfriamento)
7	Tubo de condensado	**23**	VET do bulbo de temperatura com capilar
8	Tubo de líquido	**24**	VET de compensação de pressão externa
9	Tubo de injeção	**25**	Evaporador da bandeja do condensado
10	Tubo de sucção	**26**	Válvula de serviço (¼" SAE)
11	Válvula de passagem com válvula de serviço (baixa pressão)	**27**	Acumulador de líquido
12	Válvula de passagem com válvula de serviço (alta pressão)	**28**	Tubo de sucção do amortecedor de vibração
13	Abafador do gás de descarga	**29**	Tubo de descarga do amortecedor de vibração
14	Tubo de descarga da válvula de retenção	**30**	Pressostato de baixa pressão
15	Separador de óleo	**31**	Pressostato de alta pressão
16	Tubo de retorno do óleo com válvula de passagem	**32**	Controle da velocidade do ventilador do condensador

Fonte: Rolf Huehren.

Como regra geral, as tubulações nos sistemas de refrigeração recebem um revestimento neutro e são marcadas, de acordo com o fluido de fluxo, com etiquetas coloridas com uma seta para indicar o sentido do fluxo. As etiquetas contêm as abreviações do fluido de fluxo bem como marcações adicionais, como estado da substância, vapor ou líquido.

Se a tubulação for pintada com a cor do fluido de fluxo, o sentido do fluxo deve ser marcado claramente, com espaçamento suficiente, usando-se setas. As etiquetas adicionais devem ser organizadas de acordo.

A diferenciação nas cores do tubo é essencial para fins de manutenção adequada e combate eficiente a incêndios.

A norma internacional DIN 2405 — Tubulações em sistemas de refrigeração e equipamento de refrigeração – identificação — especifica, entre outras coisas, como a tubulação com fluido refrigerante e salmoura deve ser projetada e que ela deve ser instalada fora de um sistema autocontido (veja a Figura 374).

Finalidade da seta na etiqueta	A seta aponta no sentido do fluxo. Os fluidos refrigerantes inflamáveis (A2, A2L, A3 e B2L) recebem uma seta vermelha. Para fluidos refrigerantes não inflamáveis, a seta é amarela.

Figura 374 – Exemplo de etiqueta de identificação de tubos carregando fluido refrigerante inflamável de acordo com a DIN 2405. Gás de sucção (azul), fluido refrigerante R-290, inflamável = seta vermelha



Fonte: Rolf Huehren.

O Instituto Internacional de Refrigeração com Amônia (IIAR) oferece diretrizes padronizadas para identificação de tubulação no boletim no. 114.

De acordo com as diretrizes, as etiquetas devem ser colocadas em vários locais, incluindo antes e depois de uma mudança no sentido; onde a tubulação termina no equipamento; antes e após uma penetração na parede ou no teto; no mínimo, a cada 12 m (40 pés) de tubulações retas; e, pelo menos, uma vez em cada área pela qual a tubulação passe.

As diretrizes também especificam como deve ser a aparência da etiqueta (veja a Figura 375).

Figura 375 – Identificação da tubulação de amônia



Fonte: IIAR.

9.4 **Dimensões e especificações da tubulação**

As dimensões da tubulação tipicamente são especificadas pelo **diâmetro externo, espessura da parede** e **diâmetro nominal**. A seguir, uma visão geral das principais medições e termos:

Diâmetro externo: O diâmetro externo representa o diâmetro da tubulação a partir da parte de fora. Geralmente, é indicado em milímetros (no sistema métrico) ou em milímetros e polegadas (no sistema imperial). Para refrigeração, frequentemente é usado o diâmetro externo nominal no sistema imperial em polegadas.

Diâmetro nominal (DN): O diâmetro nominal é um número padronizado que indica o tamanho da tubulação, independentemente da espessura da parede. É um valor sem dimensões, por exemplo, DN 50 ou DN 100. As larguras nominais das tubulações, conexões dos tubos, acessórios e partes moldadas correspondem aos diâmetros internos aproximados e à largura disponível em milímetros e são um recurso característico de peças correspondentes. O diâmetro nominal em si não recebe uma unidade. Ele é designado pelas letras DN do código, seguidas por um valor numérico, que corresponde aproximadamente ao diâmetro interno em milímetros. Variações do diâmetro interno real resultam de espessuras diferentes da parede, com o mesmo diâmetro externo. Isso resulta, inevitavelmente, do processo de manufatura, pois a produção é baseada em diâmetros externos escalonados.

Espessura da parede: A espessura da parede também é fornecida em milímetros (mm) e indica a espessura do material do tubo. Ela influencia a estabilidade e a resistência à pressão do tubo.

Diâmetro interno: O diâmetro interno é derivado do diâmetro externo menos duas vezes a espessura da parede. Esse diâmetro é essencial para se determinar o volume do fluxo da tubulação. Nos desenhos e documentos técnicos, as dimensões frequentemente são fornecidas no formato **Diâmetro externo x Espessura da parede**, por exemplo, **22 x 1 mm ou 28 x 1,5 mm**.

Várias normas descrevem as dimensões dos tubos de cobre para uso em aplicações de refrigeração:

- EN 12735-1 – Cobre e ligas de cobre – Tubos redondos sem emenda para ar condicionado e refrigeração – Parte 1: Tubos para sistemas de tubulação; e
- ASTM B280-20 – Especificação padrão para tubo de cobre sem emendas para serviços de ar condicionado e refrigeração.

Os níveis de resistência dos tubos (macio/semirrígido/rígido) não têm influência na força da pressão máxima permitida, pois, por razões de segurança, todos os cálculos devem ser baseados na condição do material macio. A redução esperada na robustez devido ao tratamento de calor (brasagem e solda) é, assim, levada em conta antecipadamente, não tendo efeito no resultado.

9.5 Seleção do material da tubulação para a aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis (R-290)

Para aplicações com fluidos refrigerantes inflamáveis, a tubulação de cobre deve atender a requisitos materiais específicos para garantir a segurança e a eficiência. Tubulações de aço inoxidável e cobre padrão podem ser usadas (veja também a Tabela 75).

Resistência à pressão:

A tubulação de cobre deve ser classificada quanto à pressão operacional do respectivo fluido refrigerante e ter paredes espessas o suficiente para minimizar o risco de vazamentos.

Resistência à corrosão:

Como os fluidos refrigerantes frequentemente são voláteis e inflamáveis, a tubulação de cobre deve ser resistente à corrosão para garantir a durabilidade e a segurança a longo prazo.

União:

A estanqueidade durável e alta da conexão é essencial para evitar vazamentos de gases inflamáveis. Os tubos devem ser fáceis de brasar ou soldar para criar conexões seguras à prova de vazamento. Conexões mecânicas devem ser evitadas.

Aterramento e segurança elétrica:

Para fluidos refrigerantes inflamáveis, a tubulação de cobre deve ser adequadamente aterrada para evitar acúmulo de eletricidade estática e evitar potenciais fontes de ignição.

9.6 Seleção do material da tubulação para a aplicação do fluido refrigerante R-744 (CO2)

Este capítulo aborda a seleção do material da tubulação para a aplicação do fluido refrigerante R-744 (CO_2) tanto em aplicações subcríticas como em aplicações transcríticas.

9.6.1 Aplicações subcríticas

Para aplicações subcríticas do R-744, podem ser usadas tubulações de aço inoxidável e cobre padrão, mas determinadas condições devem ser atendidas.

Requisitos de pressão:

Os sistemas subcríticos do R-744 tipicamente operam a pressões de até 45 a 60 bar, o que está dentro da faixa que a maioria das tubulações de cobre convencionais para refrigeração pode aguentar. Os tubos de cobre padrão de classe de refrigeração, frequentemente classificados até 80 bar, geralmente são adequados. Entretanto, é essencial comparar os requisitos de pressão específicos do sistema às especificações da tubulação.

Espessura da parede:

Para aplicações com R-744, devem ser usadas somente tubulações de cobre com espessura da parede suficiente para garantir a segurança e a resistência à pressão exigidas.

Resistência à temperatura:

A tubulação de cobre também deve ser resistente à temperatura em aplicações subcríticas, pois temperaturas maiores podem ocorrer perto do compressor com R-744.

Tabela 75 – Tubos de cobre para tecnologia de refrigeração de acordo com a EN 12735-1

Dimensão diâmetro externo métrico	Dimensão diâmetro externo imperial	Pressão operacional máxima	Condição de entrega
mm	Polegadas ASTM	bar	Rm (Mpa)
6 x 1	¼"	194	Rígido (R-290)
8 x 1	5/16"	139	Rígido (R-290)
10 x 1	3/8"	109	Rígido (R-290)
12 x 1	½"	89	Rígido (R-290)
15 x 1	5/8"	70	Rígido (R-290)
18 x 1	¾"	57	Rígido (R-290)
22 x 1	7/8"	46	Rígido (R-290)
28 x 1	1 1/8"	36	Rígido (R-290)
28 x 1,5	1 1/8"	55	Rígido (R-290)
35 x 1,5	1 3/8"	43	Rígido (R-290)
42 x 1,5	1 5/8"	36	Rígido (R-290)
54 x 1,5	2 1/8"	28	Rígido (R-290)
64 x 2	2 5/8"	31	Rígido (R-290)

Fonte: EN 12735-1.

9.6.2 Aplicações transcríticas

Para aplicações transcríticas com fluido refrigerante R-744 (CO_2), a tubulação de cobre deve atender a requisitos materiais específicos para suportar as demandas da alta pressão. Geralmente, podem ser usados aço inoxidável e cobre como o K65 (Wieland / Baenninger).

Figura 376 – Exemplo de acessório de cobre cotovelo curto K65



Fonte: Connex / Baenninger.

Requisitos gerais para tubulação de cobre:

Resistência à alta pressão: A tubulação de cobre deve ter resistência à pressão adequada para condições operacionais na refrigeração com CO_2, particularmente em aplicações transcríticas com pressões de até 130 bar.

Requisitos para tubulação K65:

Material:

O K65 é uma liga de cobre-ferro (CuFe2P) especificamente desenvolvida para aplicações com CO_2 de alta pressão.

Resistência à pressão:

A tubulação K65 tem uma tolerância maior à pressão do que o cobre comum, sendo adequada para pressões de até 130 bar, o que é ideal para aplicações transcríticas.

Método de união:

A liga K65 de cobre-ferro pode ser processada tão facilmente quanto o cobre normal. Os tubos K65 podem ser conectados aos acessórios K65 por brasagem. Atualmente, todas as varetas de brasagem prata com um conteúdo de prata mínimo de 2% devem ser usadas. Em suma, a tubulação K65 é particularmente adequada para aplicações com CO_2 em sistemas subcríticos e transcríticos, pois ela pode aguentar demandas mais altas de pressão e é adequada para a instalação.

9.7 Instalação da tubulação

A instalação correta da tubulação é crucial para o funcionamento correto do sistema de refrigeração. Todos os tubos que transportam fluido refrigerante sempre devem ser colocados de maneira simples e pela rota mais curta possível. De acordo com as regulamentações de construção para tubulações feitas de materiais metálicos, todos os tubos devem ser direcionados acima do solo e facilmente acessíveis.

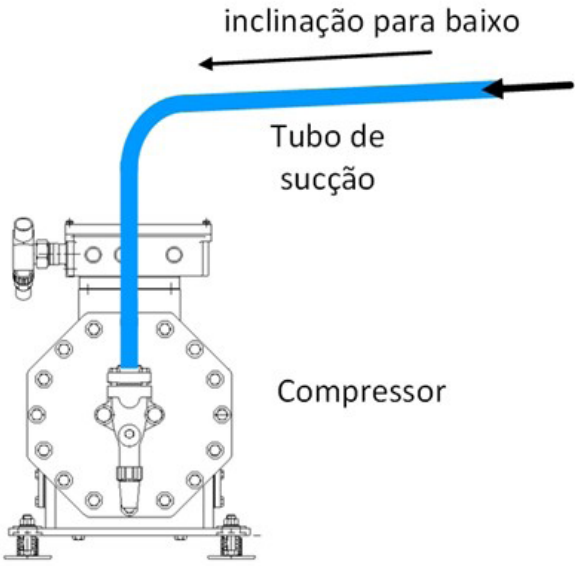
Entretanto, se a situação do edifício fizer com que seja necessário direcionar as linhas de fluido refrigerante sob o solo, os pontos a seguir deverão ser observados:

- As tubulações sob o solo devem ser colocadas em um tubo de empuxo ou um duto;
- É recomendável colocar os tubos em um duto construído e ventilado adequadamente; e
- Não é permitido fazer conexões flangeadas nas seções da tubulação sob o solo! Use exclusivamente a brasagem para conectar seções da tubulação com aberturas de inspeção nos pontos em que a união com brasagem ocorreu.

Para facilitar o retorno do óleo	Todos os tubos horizontais transportando fluido refrigerante devem ser colocados com um declive no sentido do fluxo (cada 1 m de tubo corresponde a uma diferença de elevação de 5 mm (0,5%)).

A linha de sucção deve ser instalada inclinada para baixo no sentido do compressor. Um sifão ou um separador de líquido, acima do compressor, protege o compressor do fluido refrigerante que possa se mover do evaporador para a linha de sucção, durante o período de inatividade.

Figura 377 – Direcionamento do tubo de sucção no compressor



Fonte: Rolf Huehren.

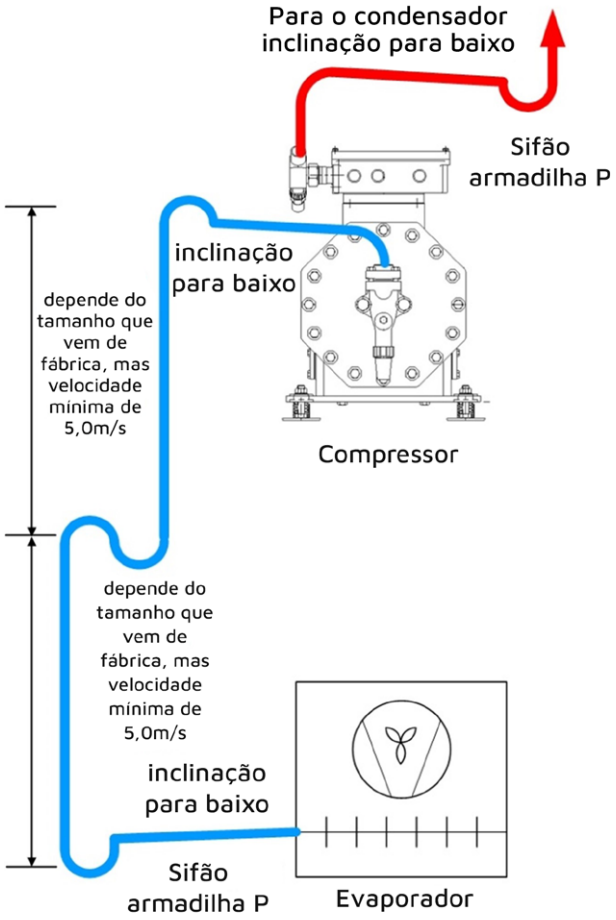
Tubo de sucção ascendente para instalações em que o evaporador está instalado em um nível mais baixo do que o compressor.

Em sistemas de RAC, no caso de o evaporador ser instalado abaixo do compressor, é necessário um dimensionamento do tubo de sucção ascendente do fluido refrigerante para permitir que o fluido refrigerante flua do evaporador até o compressor. Esse projeto exige considerações especiais para garantir que o sistema opere de modo eficiente, com a velocidade adequada do fluido refrigerante, e garanta o retorno do óleo suficiente para o compressor. Isso normalmente é conseguido usando-se um tubo de diâmetro menor para manter o gás em velocidade mais alta. O transporte eficiente do óleo é conseguido mantendo-se a taxa de vazão correta do fluido refrigerante, o que, por sua vez, depende do dimensionamento do tubo do fluido refrigerante.

Armadilhas P: Instalar uma ou mais "armadilhas P" (seções em formato de U da tubulação) na base do tubo ascendente ajuda a acumular fluido refrigerante suficiente na linha de sucção para criar uma "lama" que pode empurrar o óleo pela tubulação. Uma armadilha P na base e outras armadilhas a cada 4 a 10 metros da subida vertical são comuns (dependendo da aplicação).

O diâmetro do tubo deve ser selecionado cuidadosamente, não ficando nem muito pequeno (o que pode causar queda excessiva de pressão), nem muito grande (o que reduz a velocidade, arriscando prejudicar o retorno do óleo). Os tubos ascendentes de sucção geralmente são menores do que as linhas de sucção horizontais para aumentar a velocidade.

Figura 378 – Tubo ascendente de sucção vertical – evaporador mais baixo do que o compressor – carga constante



Fonte: Rolf Huehren.

Tubo ascendente de sucção dupla para proteger o transporte de óleo com flutuação de carga (baixa carga).

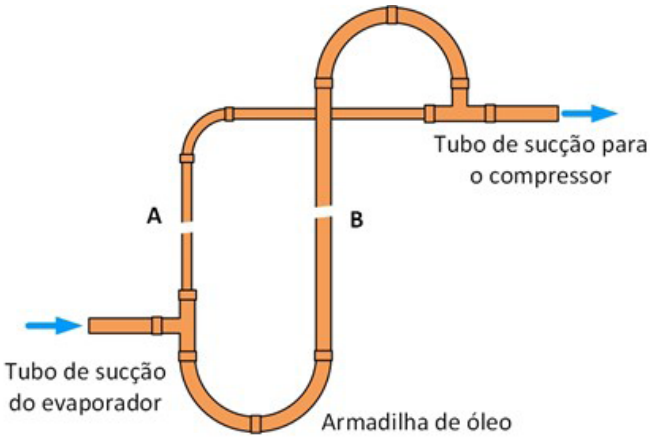
Neste caso, ocorre a divisão do tubo ascendente de sucção (menos frequentemente, o tubo de descarga) em dois subtubos de diferentes tamanhos nos sistemas de AVAC-R regulados pela capacidade, para manter a velocidade do fluxo mínima para o retorno do óleo (veja a Figura 379).

O tubo ascendente estreito (A) deve ser dimensionado de tal forma que garanta a velocidade de fluxo mínima necessária para o retorno do óleo na capacidade mínima (carga). Durante a operação de carga parcial, o tubo ascendente (B) se fecha porque o óleo não está sendo sugado da armadilha de óleo. A sucção agora acontece com velocidade suficiente via tubo ascendente (a), o que garante o transporte de óleo novamente.

Quando a capacidade aumenta rumo à operação com carga total, o óleo da armadilha de óleo é sugado pelo tubo ascendente (B), e o fluido refrigerante e o óleo são transportados através de ambos os tubos ascendentes.

Para evitar um golpe de óleo no compressor, a armadilha de óleo não deve ser muito grande.

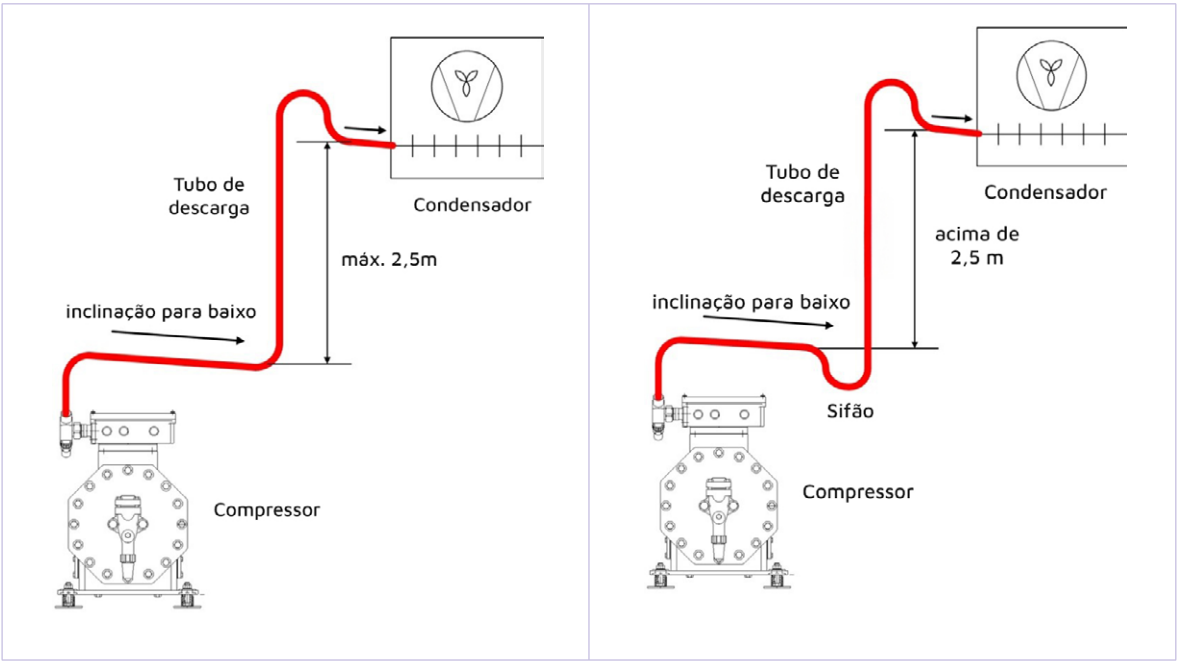
Figura 379 – Tubo ascendente duplo na linha de sucção vertical



Fonte: Rolf Huehren.

Para o tubo de descarga, recomenda-se que o tubo funcione afastado do compressor. Se o condensador estiver em um nível mais alto, sempre deverá haver uma seção do tubo descendente após a conexão de descarga. Se o condensador estiver a mais de 2,5 m acima do compressor, será necessário instalar um sifão na linha de pressão.

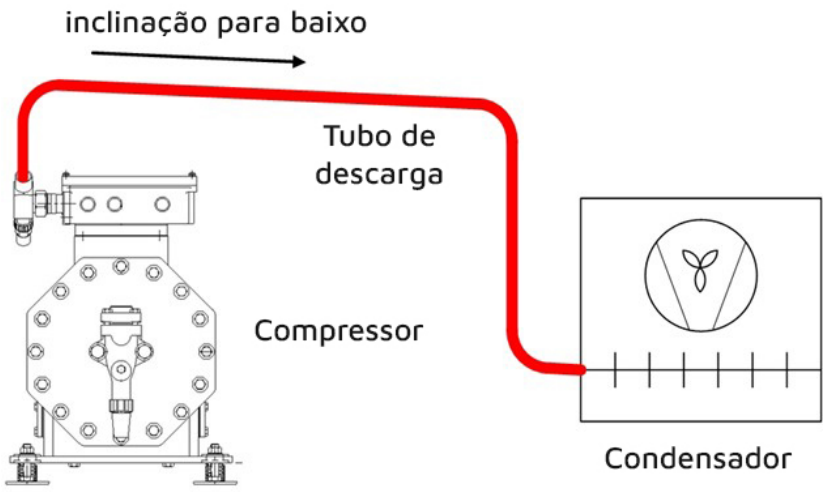
Figura 380 – Direcionando o tubo de descarga para um condensador localizado acima



Fonte: Rolf Huehren.

O sifão facilita o retorno do óleo por meio de um tubo ascendente mais alto. Se o óleo tiver sido coletado no sifão, após algum tempo de funcionamento, a seção transversal do fluxo será estreitada, e o óleo será puxado junto. Além disso, nenhum óleo ou fluido refrigerante líquido sofrerá um refluxo no cabeçote do cilindro em ociosidade, o que pode levar a problemas na hora da partida. Se o condensador estiver mais baixo ou à mesma altura que o compressor, a linha de pressão pode subir diretamente após a conexão do compressor.

Figura 381 – Direcionando o tubo de descarga para um condensador no mesmo nível



Fonte: Rolf Huehren.

9.8 Tecnologias de união de tubulação

Em geral, é importante notar que, por questões legais, a tubulação de transporte do fluido refrigerante deve ser instalada apenas por profissionais qualificados do setor de refrigeração. Esse é o único jeito de garantir a instalação adequada e o tratamento prescrito dos fluidos refrigerantes.

A brasagem é a técnica de união recomendada usando-se ligas de brasagem de acordo com a ISO 17672. Se necessário, deve ser usado o fluxo de acordo com a ISO 18496.

Antes e durante o processo de união por brasagem ou solda, a tubulação deve passar por um *flushing* com um gás de proteção seco, para evitar a formação de incrustações nas superfícies internas e, em alguns casos, para a aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis. Entre os gases de proteção, estão os gases inertes (gases inertes, nitrogênio e misturas deles) ou gases marcadores como misturas de gás de proteção comercialmente disponíveis (por exemplo, nitrogênio-hidrogênio, nitrogênio-argônio, etc.). Por razões de segurança, o conteúdo do hidrogênio não deve exceder um valor máximo de 4% por volume.

Ao se usar a tecnologia de pressão, a etapa do *flushing* não é, naturalmente, exigida, pois não ocorre formação de incrustações nessa tecnologia de união a frio.

Os fluidos refrigerantes modernos (como R-744, R-32, R-1270 e R-410A) geralmente levam a temperaturas operacionais e/ou a pressões operacionais maiores do que as usadas anteriormente. Ao se usarem acessórios de qualquer tipo, o respectivo fabricante deve ser consultado quanto às possíveis áreas de aplicação e, em particular, às pressões operacionais máximas permitidas.

Se for necessário cortar os tubos no comprimento certo, siga as seguintes instruções:

1. Sempre use equipamentos de proteção individual (EPIs) apropriados;
2. Encurte os tubos usando um cortador de tubos, não um arco de serra. Não use lubrificantes ou líquidos de arrefecimento ao cortar, por exemplo, com ferramentas elétricas!

3. Se for realmente necessário usar uma serra, mantenha a extremidade aberta do tubo para baixo durante o processo, se possível. Isso permite manter lascas e sujeira fora da tubulação;
4. Use uma lima semi-redonda para remover rebarbas ou, se necessário, um rebarbador tipo caneta ou faca;
5. Ao fazer isso, certifique-se também de que nenhuma lasca entre na tubulação!
6. Limpe por dentro e por fora as extremidades dos tubos a serem unidos só na hora de fazer a brasagem, para evitar oxidação na superfície. Limpar o tubo permite que o material de enchimento flua para a abertura de modo mais eficiente, o que leva à maior estabilidade e estanqueidade da conexão com brasagem; e
7. Use uma escova de aço ou palha de aço macia para limpar as superfícies interna e externa. Papel abrasivo não é adequado porque causa arranhões no cobre macio.

9.9 Suporte da tubulação

A tubulação do sistema de refrigeração está sujeita a estresses mecânicos (vibrações e pulsações de pressão) e térmicos (dilatação). Assim, ela precisa ter um suporte adequado, levando-se as condições locais em conta. As abraçadeiras para tubos de cobre não devem ter contato metálico direto (fricção do cobre).

As distâncias máximas recomendadas entre os suportes para tubos de cobre são indicadas na EN 378-2 e na ABNT NBR ISO 5149-2.

9.9.1 Espaçamento dos suportes do tubo

A tubulação deve ter o suporte adequado para seu tamanho e peso de serviço. O espaçamento máximo recomendado para os suportes da tubulação é mostrado nas tabelas abaixo.

Tabela 76 – Espaçamento máximo recomendado dos suportes para tubo de cobre

Diâmetro externo em mm	Espaçamento em m
15 a 22 macio	2
22 a < 54 semirrígido	3
54 a 67 semirrígido	4

Observação: Informações sobre tubos macios e semirrígidos são fornecidas nas normas EN 12735–1 e EN 12735–2.

Fonte: EN 378.

9.9.2 Seleção de abraçadeiras para os tubos

Como já especificado, os tubos devem ter o suporte adequado de acordo com seu tamanho e seu peso operacional.

A organização espacial, em particular a posição dos tubos individuais, as condições de fluxo (fluxo de duas fases, fornecimento de óleo na operação de carga parcial), os processos de condensação, a expansão térmica, vibração e a boa

acessibilidade devem ser levados em conta. O direcionamento e o suporte da tubulação têm uma influência significativa na segurança operacional e na capacidade de manutenção do serviço e de um sistema de AVAC-R.

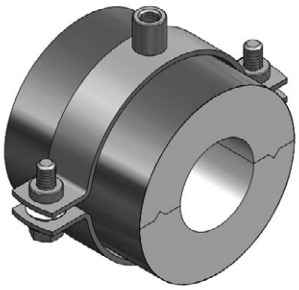
É muito importante tomar precauções, no planejamento e na instalação dos suportes dos tubos, para evitar vibrações ou pulsações excessivas. Em particular, é necessário tomar cuidado para evitar a transmissão direta de ruídos ou vibrações para ou através da estrutura de suporte. Também é necessário evitar a perda de energia através da condução de calor da estrutura externa do edifício pelos suportes da tubulação. A seleção cuidadosa das abraçadeiras e suportes das tubulações de transferência de fluido refrigerante podem minimizar os problemas do isolamento térmico, ruídos oriundos da estrutura e a transmissão de vibrações dos tubos para as paredes e edificações desde o início.

Figura 382 – Abraçadeira de tubo com inserções de borracha no perfil coladas na braçadeira do tubo



Fonte: HILTI - MP-L-I.

Figura 383 – Suporte de tubo isolado para tubos de sução e temperaturas de -80 °C a 120 °C



Fonte: MEFA RG80 ALU/PU Alemanha.

Figura 384 – Abraçadeira de tubo com inserções de silicone para temperaturas médias e altas até 220 °C



Fonte: Fischer FRS-H.

9.9.3 Roteamento dos tubos de descarga do compressor

O tubo de descarga do compressor tem que aguentar cargas térmicas e mecânicas altas; assim, os seguintes pontos devem ser considerados:

1. Use suportes de tubo com uma inserção de borracha de silicone!
2. Use materiais isolantes com uma resistência de isolamento de até 150 °C!
3. Ao determinar os pontos fixos e deslizantes, leve em conta a possível expansão dos tubos; e
4. Nos condensadores com dois pontos de conexão para o tubo de distribuição do gás comprimido, é essencial garantir que a linha de conexão seja direcionada corretamente! Para evitar danos aos acessórios e tubulações, o direcionamento do tubo deve ser selecionado de modo que quaisquer mudanças no comprimento possam ser compensadas.

9.9.4 Roteamento de tubos de condensado do fluido refrigerante

A velocidade do fluxo no tubo de condensado do fluido refrigerante deve ser restrita aos valores listados na Tabela 78. Isso é conseguido selecionando-se corretamente as dimensões do tubo de condensado.

Como regra geral, o tamanho da linha do condensado deve ser sempre um tamanho maior do que a linha de líquido.

O direcionamento do tubo de condensado deverá ter uma queda contínua de 2% a 4% do condensador para o tanque de líquido. A diferença na altura do tubo de condensado no sentido do fluxo permite que o fluido refrigerante seja drenado sem obstruções, de ambas as seções, garantindo uma separação de fase entre líquido e vapor (fluxo de duas fases).

9.9.5 **Amortecedor de vibração**

Vazamentos acidentais, originados das partes funcionais dos sistemas de refrigeração e ar condicionado, incluindo a tubulação, devem ser reduzidos recorrendo-se às boas práticas de instalação e à escolha de componentes confiáveis.

Os amortecedores de vibração são projetados para minimizarem a transmissão da vibração, que pode ocorrer nos sistemas de refrigeração e ar condicionado. Essas vibrações originam-se de vários lugares, como a partida e o ciclo de funcionamento dos compressores, e podem ocorrer nas linhas de sucção e descarga. Essas vibrações podem avançar pelas linhas de transferência de fluido refrigerante e ressoar, criando um ruído desagradável e, no pior dos casos, podem enfraquecer as juntas e fazer a tubulação quebrar, resultando em emissões de fluido refrigerante e reparos onerosos. A instalação de amortecedores de vibração nas linhas de conexão dos compressores vai minimizar os possíveis efeitos prejudiciais da vibração. Os amortecedores de vibração comuns são de aço inoxidável e trançados em vários tamanhos.

Normalmente, o amortecedor de vibração consiste em um tubo corrugado, que é revestido por um trançado, e as peças de conexão (veja a Figura 385). O aço inoxidável é usado no corpo, e o cobre, na conexão. Após a produção, os amortecedores de vibração passam por testes de pressão e vazamento de 100%. Por causa do seu projeto, os amortecedores de vibração não precisam ser refrigerados durante a brasagem. Os eliminadores de vibração devem ser instalados perpendicularmente ao sentido da vibração. Quando houver vibrações nos dois planos, devem ser usados dois eliminadores de vibração. A pressão operacional máxima (PS) é ≤ 70 bar, e a temperatura operacional permitida é de -50 °C até 140 °C.

Figura 385 – Exemplo de amortecedor de vibração



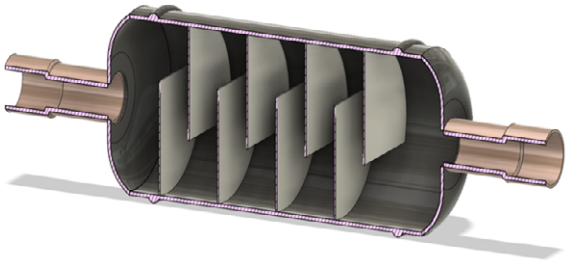
Fonte: ESK Schultze Alemanha.

9.9.6 **Abafador de ruído**

Com sistemas de AVAC-R de maior capacidade e exigência de segurança operacional, podem ocorrer ruídos de pulsação nos tubos de descarga. Se os tubos forem direcionados por salas adjacentes, poderá haver transferência de pulsações e ruídos incômodos. Para evitar isso, pode ser instalado um abafador de ruído na linha de descarga do sistema de refrigeração.

Conforme a Figura 386, o abafador consiste em várias placas internas que são montadas deslocadas em uma carcaça. Conforme o fluido refrigerante gasoso é desviado, o som bate nas placas e é reduzido. Como o fluido refrigerante transporta o óleo, ele também para nas placas. Para evitar que o abafador se torne uma armadilha de óleo, ele deve ser instalado verticalmente no sentido do fluxo.

Figura 386 – Vista em corte simplificada de um abafador de ruído



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 387 – Exemplo de abafador de ruído



Fonte: URI.

9.10 **Condensado do evaporador e drenagem de água**

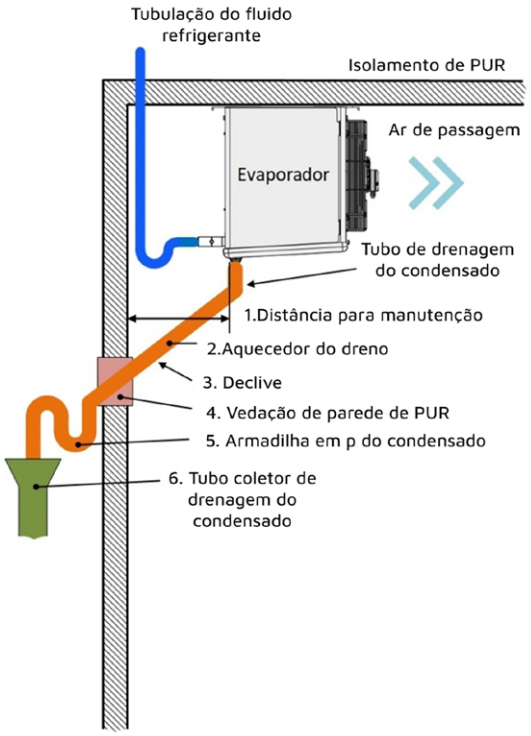
Os evaporadores sujeitos a temperaturas de evaporação abaixo de 0 °C tendem a acumular placas de gelo nas aletas e tubulação. O descongelamento é feito por meio do aquecimento da resistência elétrica ou de gás quente (gás frio) e pode ser adaptado a qualquer caso de operação para controle automático e ser usado com todos os tipos de evaporadores e refrigeradores de ar.

Com o descongelamento elétrico, os elementos de aquecimento são integrados a bolsas especiais no bloco de aletas do evaporador e transferem seu calor para os tubos e as aletas durante o descongelamento. Dependendo das condições de

temperatura, a bandeja coletora e o tubo de drenagem também são aquecidos. O processo de descongelamento é controlado por tempo.

A Figura 388 ilustra os aspectos gerais a serem considerados na instalação de drenagens de condensado de AVAC-R.

Figura 388 – Drenagem de água do condensado



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 389 – Exemplo de válvula de corte



Fonte: Tasco.

1. **Distâncias para manutenção:** Deve ser guardada uma distância suficiente entre a parede e a traseira do evaporador (por exemplo, 500 mm) para facilitar a manutenção. Isso também é importante para permitir um fluxo de ar suficiente para o evaporador fazer a transferência de calor necessária. A distância é determinada pelo fabricante.
2. **Aquecedor de drenagem:** Principalmente nas aplicações de congelamento, é importante instalar aquecedores elétricos de baixo consumo de energia e funcionamento constante, para evitar o congelamento do condensado e possíveis obstruções da drenagem. Os detalhes técnicos desse aquecedor são geralmente fornecidos pelo fabricante do evaporador.
3. **Inclinação:** Uma inclinação suporta o fluxo de água entre o evaporador e a drenagem.
4. **Vedação:** O orifício que foi feito para se passar o tubo de drenagem deve ser adequadamente vedado usando-se espuma em spray e silicone à prova de fungos.
5. **Armadilha dupla P:** Quando o condensado se acumula na armadilha, ele evita a formação de odores do sistema de drenagem e impede que o ar frio saia da câmara fria (câmara frigorífica).

Em vez de se usar a armadilha P para o sistema de drenagem, pode-se instalar uma válvula de corte de ar. As válvulas de corte de ar estão disponíveis em diferentes diâmetros e substituem a armadilha P no tubo de drenagem. A entrada e a saída são de borracha e seladas com abraçadeiras de tubo.

9.11 Isolamento térmico das tubulações de transferência de fluido refrigerante

Geralmente, podemos diferenciar dois tipos de proteção contra a transferência de energia térmica nas construções de sistemas de AVAC-R:

1. Proteção contra o calor: A temperatura do objeto é maior do que a temperatura ambiente;
2. Proteção contra o frio: A temperatura do objeto é menor do que a temperatura ambiente.

Ambos os tipos de proteção de energia térmica devem ser encontrados em sistemas de AVAC-R. Encontramos normalmente a proteção contra o frio em sistemas de refrigeração em que as construções são isoladas para se reduzir o volume da transferência de calor do ambiente mais quente para câmaras frigoríficas, salas refrigeradas, trocadores de calor, tubulações, etc. O isolamento térmico evita que o calor entre nos sistemas de refrigeração, o que aumentaria a energia exigida para os processos de refrigeração ou condicionamento de ar. O isolamento térmico em construções também deve evitar uma queda de temperatura abaixo do ponto de orvalho com o ambiente ao redor, o que levaria à formação de condensação com efeitos de deterioração assustadores, como a corrosão.

O isolamento eficiente otimiza o desempenho de AVAC-R, reduz o consumo de energia e diminui os custos operacionais, o que acaba por estender a duração do equipamento de refrigeração.

Os seguintes requisitos devem ser atendidos para se isolar a construção de maneira profissional:

1. O trabalho de proteção contra corrosão deve ser realizado, se necessário;
2. A construção deve estar seca;
3. As distâncias mínimas devem ser respeitadas (veja informações sobre a DIN 4140 abaixo);
4. A superfície deve estar livre de contaminação bruta;
5. Os suportes da estrutura de suporte devem estar presos ao objeto;
6. As fundações devem estar concluídas;
7. Colares e discos de vedação devem estar presos à construção;
8. As pontas dos tubos na construção devem ser, pelo menos, longas o suficiente para que os flanges fiquem fora do isolamento e possam ser parafusados sem obstruções;
9. Os suportes devem estar projetados de tal forma que os materiais isolantes, as barreiras de vapor e o revestimento possam ser presos adequadamente;
10. O isolamento deve ser feito sem obstruções, como andaimes;
11. O trabalho de soldagem, brasagem e colagem já deve ter sido feito na construção; e
12. A instalação (aplicação) do isolamento antes dos suportes do tubo já deve ter sido feita.

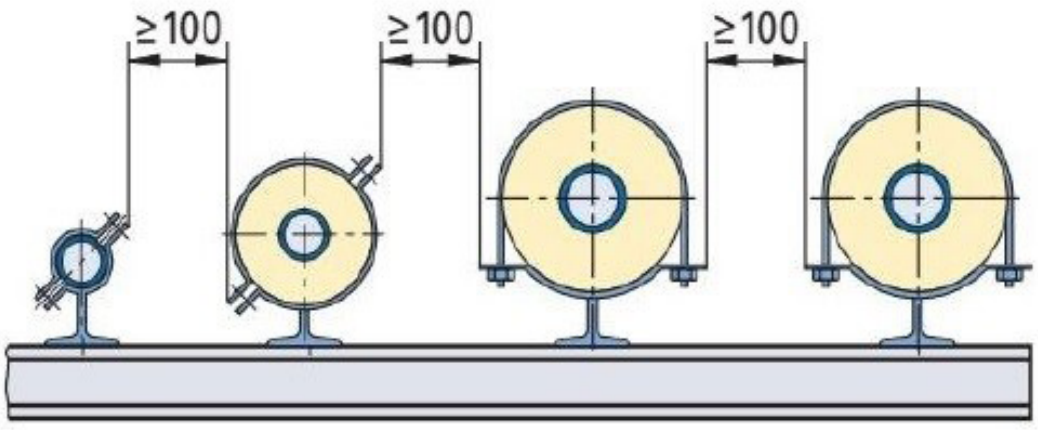
Para a tubulação, é necessário seguir as seguintes instruções:

- Sempre siga os requisitos definidos pelos fabricantes, para garantir que o isolamento térmico seja aplicado corretamente!
- Para trabalhos de isolamento em sistemas de refrigeração, a ABNT NBR 11752 e ABNT NBR 15220 devem ser observadas;
- Consulte as fichas de dados de segurança (FDS) específicas antes de usar materiais de isolamento e adesivos;
- Deve haver espaço suficiente entre os tubos individuais! O espaço mínimo deve corresponder à espessura do material de isolamento. Se o espaço for muito pequeno, não haverá uma troca de ar adequada na superfície do isolamento térmico. Se a temperatura cair abaixo do ponto de orvalho, isso significa que o isolamento ficará gradualmente impregnado com umidade e perderá suas propriedades isolantes;

- Os tubos com isolamento térmico devem ser direcionados com um espaço em relação ao chão! O espaço mínimo deve ser 5 mm! Em particular, certifique-se de que haja um espaço adequado abaixo do gabinete refrigerado! Em alguns casos, pode ser necessário usar um exaustor axial abaixo do gabinete refrigerado para evitar o acúmulo de condensação;
- Certifique-se de que haja circulação de ar adequada entre os tubos termicamente isolados, acima de tudo quando as linhas forem direcionadas em dutos; e
- O isolamento térmico dos tubos, que transportam fluido refrigerante, exige dimensões especiais, quando colocados em estacionamentos subterrâneos, já que o ar nesses ambientes costuma ficar saturado de umidade nos dias chuvosos. Nesses casos, é recomendável usar isolamento térmico em duas camadas.

Para o espaçamento entre as tubulações isoladas, Figura 390 serve como guia para as atividades de tubulações paralelas.

Figura 390 – Espaçamento entre os tubos de transferência de fluido refrigerante isolados acima do nível do solo

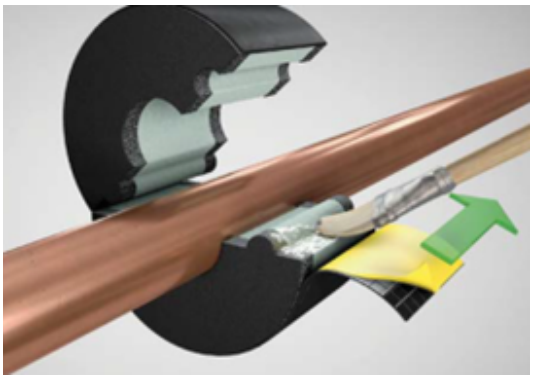


Fonte: DIN 4140.

Os suportes dos tubos não isolados tornam-se um ponto fraco em sistemas de isolamento nos quais a ponte térmica pode causar condensação, perdas de energia, corrosão e onerosos danos secundários. Isolar termicamente o tubo das abraçadeiras de fixação, usando suportes isolados, oferece uma solução de longo prazo para o controle de condensação.

Use segmentos PET (polietileno tereftalato), com uma camada externa de isolamento, para compatibilidade do sistema com o isolamento adjacente. Cubra as folhas de PVC externas pretas. Selecione o tamanho correto do suporte levando em conta a espessura de isolamento a instalar e o diâmetro do tubo a isolar. Para temperaturas de serviço máxima de 80 °C e mínima de -30 °C. A Figura 391 a Figura 395 apresentam um guia de instalação passo a passo (exemplo Armaflex Ecolight).

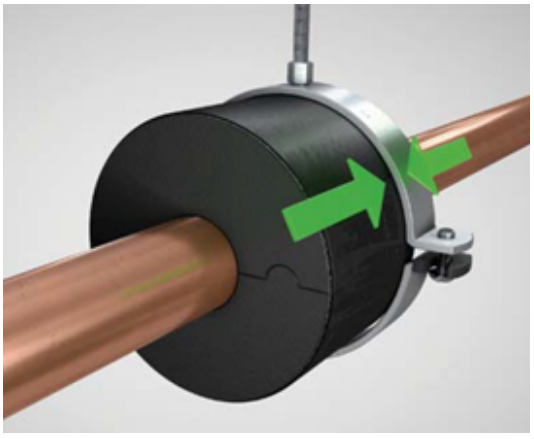
Figura 391 – Etapa 1 – Instale o suporte de isolamento no tubo



Fonte: Armaflex Ecolight.

1. Instale o suporte de PVC ao redor do tubo, vede a superfície usando adesivo apropriado e feche a sobreposição autoadesiva.

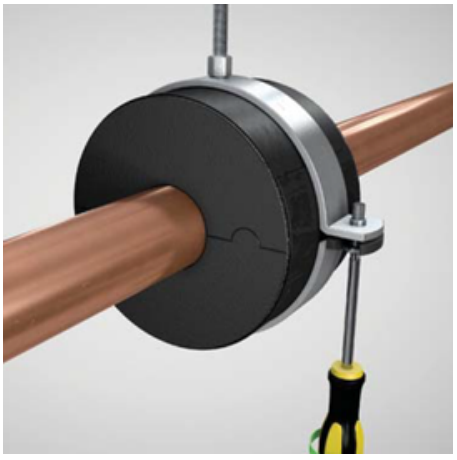
Figura 392 – Etapa 2 – Feche a sobreposição



Fonte: Armaflex Ecolight.

2. Feche a sobreposição aplicando uma pressão firme. Instale a abraçadeira metálica pelo exterior do suporte.

Figura 393 – Etapa 3 – Aperte os parafusos



Fonte: Armaflex Ecolight.

3. Aperte os parafusos.

Figura 394 – Etapa 4 – Aplique o adesivo no suporte



Fonte: Armaflex Ecolight.

4. Antes de aplicar o isolamento no tubo aplique também o adesivo no suporte colando-o ao tubo.

Figura 395 – Etapa 5 - Vedação da zona de contato



Fonte: Armaflex Ecolight.

5. Garanta a vedação da zona de contato entre o isolamento e o suporte utilizando adesivo adequado e aplicando uma leve pressão.

9.12 **Dimensionamento da tubulação**

Ao dimensionar as tubulações dos sistemas de refrigeração, os custos de investimento favorecem as menores tubulações possíveis, enquanto a baixa queda de pressão e, portanto, os baixos custos operacionais favorecem trabalhos grandes. Além disso, o transporte de óleo nos tubos de sucção e de alta pressão deve ser levado em conta pelas velocidades de fluxo mínimas.

Apesar de o mesmo fluxo de massa ser transportado para qualquer lugar dentro de um circuito de refrigeração sem ramais, há um fluxo de volume diferente em cada tubo devido à mudança na pressão, temperatura e estado da matéria.

A perda de pressão na tubulação influencia a capacidade de refrigeração do sistema. Além de uma menor capacidade de refrigeração, isso também resulta em uma exigência maior de energia do compressor. As perdas de pressão sempre são especificadas de acordo com a queda de temperatura de saturação em Kelvin (K).

Um máximo de 0,5 K é aceitável na linha de líquido, pois as quedas de pressão podem causar bolhas de vapor no líquido, impossibilitando o controle correto do superaquecimento do dispositivo de expansão. Os valores práticos mostrados na

Tabela 77 aplicam-se às velocidades do fluxo. A velocidade do fluxo é limitada, no nível mais alto, pelas diferenças de pressão e problemas de ruído que ocorrem.

Conforme o óleo no vapor de sução e na linha de gás quente é transportado pela velocidade do fluxo do fluido refrigerante, é necessário garantir uma velocidade mínima do fluxo. Isso é particularmente importante na operação com carga parcial e com um compressor controlado pela capacidade. O retorno do óleo insuficiente leva à falha do compressor. As velocidades do fluxo recomendadas na Tabela 78 são valores práticos nos quais o funcionamento correto do retorno do óleo é conseguido. Esses são valores típicos de orientação, mas podem variar dependendo da configuração do sistema específico, diâmetro do tubo, intervalo de temperatura e pressão do sistema.

Por esse motivo, cada tubo deve ser dimensionado separadamente, levando-se em conta a perda de pressão apropriada e as velocidades do fluxo do fluido refrigerante.

Tabela 77 – Perda na capacidade de refrigeração devido à perda de pressão

Perda de pressão na tubulação		
Perda de pressão em K	Capacidade de refrigeração em %	Perda de pressão recomendada em K relativa a 30 m de tubulação (reta) equivalente
2 K no tubo de sucção	92,2%	1
2 K no tubo de descarga	98,8%	1
0,5 K no tubo de líquido	98,0%	0,5

Fonte: Rolf Huehren.

Perda de pressão expressa em Kelvin (K)	Na refrigeração, há um relacionamento direto entre a pressão e a temperatura de saturação do fluido refrigerante. Assim, é comum quantificar a perda de pressão como uma diferença de temperatura (em Kelvin). Essa diferença de temperatura indica o quanto a temperatura do fluido refrigerante muda devido à perda de pressão no tubo, sem qualquer calor extra sendo adicionado ou removido.

Tabela 78 –Velocidade do fluxo de fluido refrigerante recomendado

Velocidade do fluxo de fluido refrigerante recomendado em m/s				
Tipo de tubo	**HFCs**	**R-290**	**R-744 (CO_2)**	**R-717 (NH_3)**
Tubo de sucção	5 – 14 m/s	10 – 14 m/s	5 – 10 m/s	15 – 22 m/s
Tubo de descarga	8 – 15 m/s	6 – 10 m/s	6 – 12 m/s	15 – 25 m/s
Tubo de condensado	0,5 – 1 m/s	0,5 – 1 m/s	0,5 – 1 m/s	2 – 3 m/s
Tubo de líquido	0,5 – 1 m/s	0,4 – 0,8 m/s	0,5 – 1 m/s	0,4 – 0,8 m/s
Tubo de injeção	6 – 13 m/s	6 – 15 m/s	8 – 18 m/s	10 – 20 m/s

Fonte: Rolf Huehren.

9.12.1 Considerações relevantes do dimensionamento da tubulação para o R-744 (CO_2)

A consideração do estado operacional (transcrítico ou subcrítico) é importante.

Como o R-744 é operado em estado transcrítico a determinadas temperaturas e pressões, sua densidade e, assim, o comportamento do fluxo mudam significativamente.

Isso significa que, na faixa subcrítica, o R-744 pode ser tratado como um fluido refrigerante convencional, mantendo a perda de pressão e a taxa de fluxo dentro da faixa normal.

Na área transcrítica, a pressões acima de aproximadamente 73 bar, o R-744 se comporta como um gás, e o dimensionamento do tubo deve levar os requisitos de alta pressão em conta.

9.12.2 Considerações relevantes do dimensionamento da tubulação para o R-290 (HC)

Os tamanhos dos tubos para hidrocarbonetos são similares àqueles dos fluidos refrigerantes fluorocarbonetos, levando-se em conta uma pressão de vapor comparável. Apesar de que, devido à menor viscosidade, os diâmetros podem ser incrementalmente menores. O dimensionamento da tubulação das linhas de retorno do óleo depende de condições específicas.

9.13 Cálculo da perda de pressão e do diâmetro interno das tubulações

Este capítulo apresenta os cálculos de perda de pressão na tubulação do fluido refrigerante e das dimensões da tubulação.

9.13.1 Perda de pressão na tubulação do fluido refrigerante

Perda de pressão estática:

$$\Delta p_1 = \lambda \cdot \frac{l + l'}{d} \cdot \varrho \cdot \frac{\omega^2}{2}$$

Perda de pressão causada pela diferença de altura:

$$\Delta p_2 = \varrho \cdot g \cdot \Delta h$$

Perda de pressão total:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2$$

Δp_1	Perda de pressão causada pelo fluxo em Pa
λ	Coeficiente de fricção do tubo – (sem dimensões)
l	Comprimento em m
l'	Comprimento do tubo equivalente em m
d	Diâmetro interno em m
ϱ	Densidade em kg/m³
ω	Velocidade em m/s

Observação:

g = 9,81 m/s²	
ϱ obtenha das "Tabelas de pressão de vapor" > veja Tabela 81 e Tabela 82	
Δp	Perda de pressão total em Pa
Δp_1	Perda de pressão causada pelo fluxo em Pa
Δp_2	Perda de pressão causada pela diferença de altura em Pa

Tabela 79 – Comprimento do tubo equivalente para válvulas de corte e cotovelos em m

Comprimento do tubo equivalente para válvulas de corte e cotovelos em m							
Diâmetro externo do tubo de cobre em mm	Diâmetro externo do tubo de cobre em pol.	Válvula de corte reta	Válvula de corte curva	Cotovelo 45°	Cotovelo 90°	Cotovelo 180°	Arco de desvio
6	1/4	-/-	-/-	0,10	0,10	-/-	-/-
8	5/16	-/-	-/-	0,10	0,10	-/-	-/-
10	3/8	-/-	-/-	0,15	0,20	0,25	-/-
12	1/2	2,2	1,5	0,15	0,20	0,40	0,7
15	5/8	3,2	2,10	0,20	0,25	0,60	1,0
18	3/4	5,2	3,10	0,25	0,35	0,80	1,4
22	7/8	7,7	2,7	0,35	0,50	1,05	1,8
28	1 1/8	17,2	11,9	0,45	0,65	1,40	-/-
35	1 3/8	9,5	6,6	0,60	0,90	1,95	-/-
42	1 5/8	12,40	8,6	0,80	1,10	1,70	-/-
54	2 1/8	27,60	19	1,10	1,55	3,0	-/-
64	2 5/8	-/-	-/-	1,10	2,0	-/-	-/-
76	3 1/8	60	42	1,25	2,15	-/-	-/-

Fonte: FAS Alemanha.

Tabela 80 – Comprimento do tubo equivalente para componentes e acessórios em m

Comprimento do tubo equivalente para componentes e acessórios em m							
Diâmetro externo do tubo de cobre em mm	**Diâmetro externo do tubo de cobre em polegadas**	**Filtro secador**	**Tubo flexível**	**Peça T** 	**Peça T** 	**Peça T** 	**Visor de líquido**
6	1/4	0,4	0,5	0,3	0,7	0,2	0,52
8	5/16	-/-	0,72	0,45	1,1	0,3	0,52
10	3/8	2,7	1,0	0,6	1,45	0,45	0,52
12	1/2	2	1,2	0,8	1,8	0,55	0,52
15	5/8	1,95	1,55	1,0	2,35	0,7	0,7
18	3/4	-/-	1,9	1,25	2,9	0,85	0,9
22	7/8	6,7	2,4	1,55	3,6	1,10	1,10
28	1 1/8	7,9	3,0	1,95	4,5	1,35	0,76
35	1 3/8	4,95	3,8	2,5	5,75	1,75	0,82
42	1 5/8	6,5	4,7	3,0	7,0	2,1	0,9
54	2 1/8	9,0	6,0	3,90	9,0	2,7	1,2
64	2 5/8	-/-	7,2	4,7	10,8	3,25	1,4
76	3 1/8	-/-	9,1	5,6	13,0	3,9	1,6

Fonte: Alco & Baenninger.

9.13.2 **Cálculo do diâmetro interno**

$$di = \sqrt{\frac{\dot{Q}_0 \cdot 4 \cdot v}{q_0 \cdot w \cdot \pi}}$$

$$di = \sqrt{\frac{\dot{m}_R \cdot 4 \cdot v}{w \cdot \pi}}$$

d_i	Diâmetro interno em m
$\dot{Q}_0$	Exigência de refrigeração em kW
q_o	Entalpia específica do evaporador em kJ/kg
$\dot{m}_R$	Fluxo de massa do refrigerante em kg/s
	Densidade em kg/m³
v	Volume específico em m³/kg
A	Superfície em m²
ω	Velocidade em m/s
h_{o2h}	É a entalpia específica do fluido refrigerante na saída do evaporador em kJ/kg

$$w = \frac{\dot{m}_R \cdot 4 \cdot v}{\pi \cdot d_i^2}$$

$$\dot{m}_R = \frac{w \cdot \pi \cdot d_i^2}{4 \cdot v}$$

$$q_0 = h_{02h} - h_{E2}$$

A recíproca da densidade é o volume específico:

$$v = \frac{1}{\varrho}$$

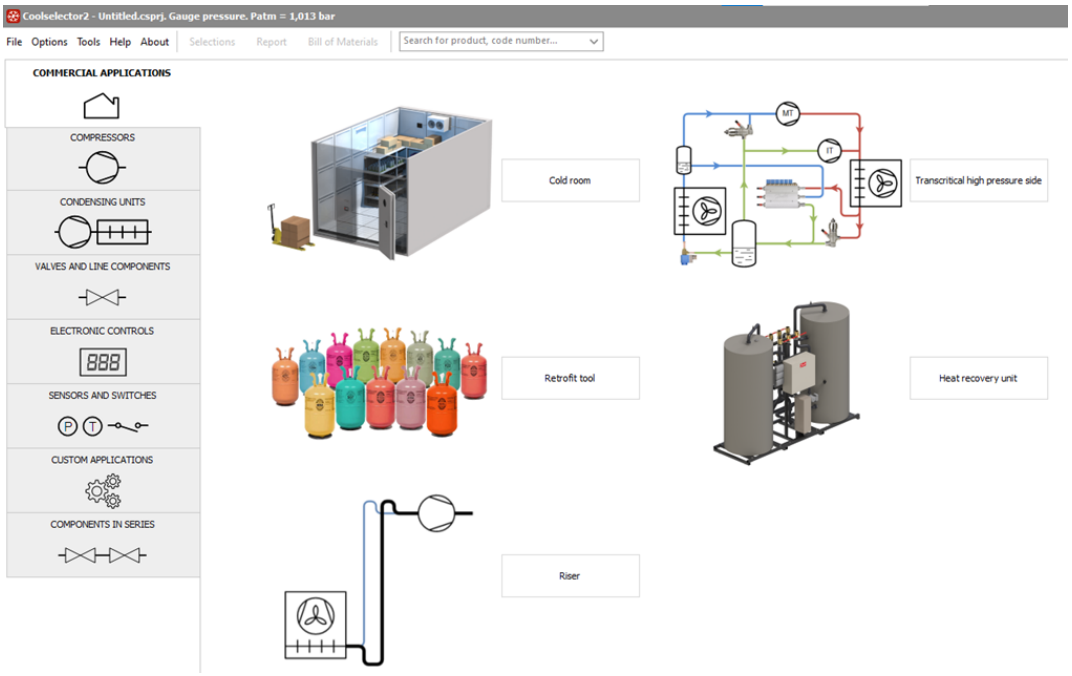
$$\varrho = \frac{1}{v}$$

h_4	É a entalpia específica do fluido refrigerante na entrada da válvula de expansão em kJ/kg
Insira os valores específicos para o volume específico v	
v_1	Para o tubo de sucção (entrada do compressor)
v_2	Para o tubo de descarga (saída do compressor)
v_3	Para o tubo de líquido (entrada do dispositivo de expansão)
Observação:	
ϱ	obtenha das "Tabelas de pressão de vapor" > veja Tabela 81 e Tabela 82
v	v obtenha das "Tabelas de pressão de vapor" > veja Tabela 81 e Tabela 82
q_0	q0 obtenha a diferença da entalpia dos diagramas log P/h ou do *software* de termodinâmica

9.14 *Software* de seleção da tubulação

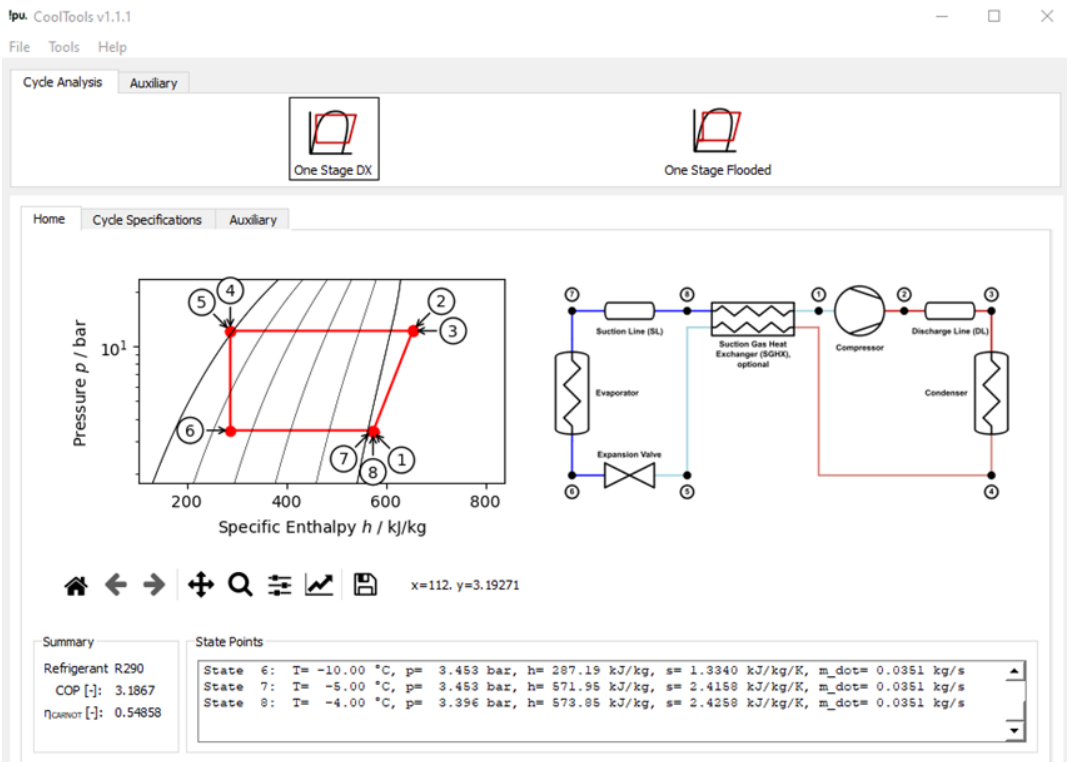
Esta seção recomenda os recursos do software CoolSelector 2, da Danfoss, e do *software* Cooltools v1.1.1, da IPU (DK), que podem ser usados como ajuda para projetar e selecionar o diâmetro das tubulações. Esses programas foram selecionados devido à sua simplicidade e porque eles podem ser baixados gratuitamente. Não obstante, pode haver programas similares ou até mais complexos no mercado, que podem ser usados para projetar a tubulação de um sistema de AVAC-R.

Figura 396 – Captura de tela do CoolSelector 2



Fonte: CoolSelector 2, da Danfoss.

Figura 397 – Captura de tela do CoolTools v1.1.1



Fonte: Cooltools v1.1.1, da IPU (DK).

9.15 **Vapor – Tabela de pressão**

As Tabelas 81 e 82 apresentam as tabelas de pressão do vapor do R-290 e do R-744, respectivamente.

Tabela 81 – Tabela de pressão do vapor do R-290

R-290 – C_3H_8							
Tabela de pressão do vapor							
Temperatura	**Pressão**	**Densidade**		**Entalpia**		**Entropia**	
°C	**bar**	**kg/m³**		**kJ/kg**		**J/kg*K**	
		líquido	**gás**	**líquido**	**gás**	**líquido**	**gás**
-60	0,427	601,08	1,084	60,81	504,44	0,4294	2,5107
-59	0,45	599,97	1,138	62,99	505,64	0,4396	2,5066
-58	0,474	598,86	1,195	65,17	506,85	0,4497	2,5026
-57	0,499	597,75	1,253	67,35	508,05	0,4598	2,4986
-56	0,525	596,64	1,314	69,54	509,25	0,4699	2,4948
-55	0,552	595,52	1,376	71,73	510,46	0,4799	2,491
-54	0,581	594,4	1,442	73,93	511,66	0,4899	2,4874
-53	0,61	593,28	1,509	76,13	512,87	0,4999	2,4838
-52	0,641	592,15	1,579	78,33	514,07	0,5099	2,4802
-51	0,673	591,03	1,652	80,54	515,27	0,5198	2,4768
-50	0,706	589,9	1,727	82,75	516,48	0,5298	2,4734
-49	0,74	588,76	1,805	84,97	517,68	0,5396	2,4701
-48	0,776	587,63	1,885	87,19	518,88	0,5495	2,4669
-47	0,813	586,49	1,968	89,42	520,08	0,5593	2,4637
-46	0,851	585,35	2,054	91,65	521,29	0,5692	2,4606
-45	0,891	584,2	2,143	93,88	522,49	0,5789	2,4575
-44	0,932	583,06	2,235	96,12	523,69	0,5887	2,4546
-43	0,974	581,91	2,33	98,36	524,89	0,5984	2,4517
-42	1,018	580,75	2,427	100,61	526,08	0,6082	2,4488
-41	1,064	579,59	2,528	102,87	527,28	0,6178	2,446
-40	1,111	578,43	2,633	105,12	528,48	0,6275	2,4433
-39	1,16	577,27	2,74	107,39	529,67	0,6372	2,4407
-38	1,211	576,1	2,851	109,65	530,87	0,6468	2,438
-37	1,263	574,93	2,965	111,93	532,06	0,6564	2,4355
-36	1,317	573,76	3,083	114,2	533,26	0,666	2,433
-35	1,372	572,58	3,204	116,49	534,45	0,6755	2,4306
-34	1,43	571,4	3,329	118,77	535,64	0,6851	2,4282
-33	1,489	570,22	3,458	121,07	536,83	0,6946	2,4259
-32	1,55	569,03	3,59	123,36	538,01	0,7041	2,4236
-31	1,613	567,84	3,727	125,67	539,2	0,7136	2,4213
-30	1,678	566,64	3,867	127,97	540,38	0,7231	2,4192
-29	1,745	565,44	4,011	130,29	541,57	0,7325	2,417
-28	1,814	564,23	4,16	132,61	542,75	0,7419	2,415
-27	1,886	563,03	4,312	134,93	543,93	0,7514	2,4129
-26	1,959	561,81	4,469	137,26	545,11	0,7607	2,4109

Continuação da Tabela 81 – Tabela de pressão do vapor do R-290

-25	2,034	560,6	4,63	139,6	546,28	0,7701	2,409
-24	2,112	559,38	4,796	141,94	547,46	0,7795	2,4071
-23	2,192	558,15	4,966	144,29	548,63	0,7888	2,4052
-22	2,274	556,92	5,141	146,64	549,8	0,7982	2,4034
-21	2,358	555,69	5,32	149	550,97	0,8075	2,4016
-20	2,445	554,45	5,505	151,36	552,13	0,8168	2,3999
-19	2,534	553,21	5,694	153,73	553,3	0,826	2,3982
-18	2,626	551,96	5,888	156,11	554,46	0,8353	2,3965
-17	2,72	550,71	6,087	158,49	555,62	0,8446	2,3949
-16	2,817	549,45	6,292	160,88	556,77	0,8538	2,3933
-15	2,916	548,19	6,501	163,28	557,93	0,863	2,3918
-14	3,018	546,92	6,716	165,68	559,08	0,8722	2,3903
-13	3,123	545,65	6,937	168,09	560,22	0,8814	2,3888
-12	3,23	544,37	7,163	170,5	561,37	0,8906	2,3874
-11	3,34	543,09	7,395	172,92	562,51	0,8998	2,3859
-10	3,453	541,8	7,632	175,35	563,65	0,909	2,3846
-9	3,568	540,5	7,876	177,78	564,79	0,9181	2,3832
-8	3,687	539,2	8,125	180,22	565,92	0,9273	2,3819
-7	3,809	537,9	8,38	182,67	567,05	0,9364	2,3806
-6	3,933	536,59	8642	185,12	568,18	0,9455	2,3794
-5	4,06	535,27	8,91	187,59	569,3	0,9546	2,3781
-4	4,191	533,95	9,185	190,05	570,42	0,9637	2,3769
-3	4,325	532,62	9,466	192,53	571,54	0,9728	2,3758
-2	4,461	531,28	9,754	195,01	572,65	0,9819	2,3746
-1	4,601	529,94	10,05	197,5	573,76	0,9909	2,3735
0	4,745	528,59	10,35	200	574,87	1	2,3724
1	4,891	527,24	10,66	202,5	575,97	1,0091	2,3713
2	5,041	525,88	10,98	205,02	577,06	1,0181	2,3703
3	5,194	524,51	11,3	207,54	578,16	1,0271	2,3692
4	5,351	523,13	11,63	210,06	579,24	1,0362	2,3682
5	5,511	521,75	11,97	212,6	580,33	1,0452	2,3672
6	5,675	520,36	12,32	215,14	581,41	1,0542	2,3663
7	5,842	518,96	12,67	217,69	582,48	1,0632	2,3653
8	6,013	517,56	13,03	220,25	583,55	1,0722	2,3644
9	6,188	516,15	13,4	222,82	584,61	1,0812	2,3635
10	6,366	514,73	13,78	225,4	585,67	1,0902	2,3626
11	6,548	513,3	14,17	227,98	586,73	1,0992	2,3617
12	6,734	511,86	14,57	230,57	587,77	1,1082	2,3608
13	6,924	510,42	14,97	233,18	588,82	1,1171	2,36
14	7,118	508,97	15,39	235,79	589,85	1,1261	2,3592
15	7,315	507,5	15,81	238,4	590,89	1,1351	2,3583
16	7,517	506,03	16,25	241,03	591,91	1,144	2,3575
17	7,723	504,55	16,69	243,67	592,93	1,153	2,3567
18	7,932	503,06	17,14	246,32	593,94	1,162	2,3559
19	8,146	501,57	17,61	248,97	594,95	1,1709	2,3552

Continuação da Tabela 81 – Tabela de pressão do vapor R-290

20	8,365	500,06	18,08	251,64	595,95	1,1799	2,3544
21	8,587	498,54	18,57	254,31	596,94	1,1888	2,3537
22	8,814	497,01	19,06	256,99	597,93	1,1978	2,3529
23	9,045	495,47	19,57	259,69	598,91	1,2067	2,3522
24	9,281	493,92	20,09	262,39	599,88	1,2157	2,3514
25	9,521	492,36	20,62	265,11	600,84	1,2247	2,3507
26	9,765	490,79	21,16	267,83	601,8	1,2336	2,35
27	10,01	489,21	21,71	270,56	602,74	1,2426	2,3493
28	10,27	487,62	22,28	273,31	603,68	1,2515	2,3486
29	10,53	486,01	22,86	276,07	604,61	1,2605	2,3479
30	10,79	484,39	23,45	278,83	605,54	1,2695	2,3471
31	11,06	482,76	24,06	281,61	606,45	1,2784	2,3464
32	11,33	481,12	24,68	284,4	607,35	1,2874	2,3457
33	11,61	479,46	25,31	287,2	608,25	1,2964	2,345
34	11,89	477,79	25,96	290,01	609,13	1,3053	2,3443
35	12,18	476,1	26,62	292,84	610,01	1,3143	2,3436
36	12,47	474,41	27,3	295,68	610,87	1,3233	2,3429
37	12,77	472,69	27,99	298,52	611,72	1,3323	2,3421
38	13,07	470,96	28,7	301,39	612,56	1,3413	2,3414
39	13,38	469,22	29,42	304,26	613,4	1,3503	2,3407
40	13,69	467,46	30,17	307,15	614,21	1,3594	2,3399
41	14,01	465,68	30,92	310,05	615,02	1,3684	2,3392
42	14,34	463,89	31,7	312,96	615,81	1,3774	2,3384
43	14,67	462,08	32,5	315,89	616,6	1,3865	2,3376
44	15	460,25	33,31	318,83	617,36	1,3955	2,3368
45	15,34	458,4	34,15	321,79	618,12	1,4046	2,336
46	15,69	456,54	35	324,76	618,86	1,4137	2,3352
47	16,04	454,65	35,87	327,75	619,58	1,4228	2,3344
48	16,4	452,75	36,77	330,75	620,29	1,4319	2,3335
49	16,76	450,82	37,69	333,77	620,98	1,441	2,3326
50	17,13	448,87	38,63	336,8	621,66	1,4502	2,3317
51	17,51	446,9	39,59	339,85	622,32	1,4594	2,3308
52	17,89	444,9	40,58	342,92	622,96	1,4685	2,3298
53	18,28	442,88	41,6	346	623,58	1,4778	2,3288
54	18,67	440,83	42,64	349,11	624,19	1,487	2,3278
55	19,07	438,76	43,71	352,23	624,77	1,4962	2,3268
56	19,48	436,66	44,8	355,37	625,34	1,5055	2,3257
57	19,89	434,54	45,93	358,53	625,88	1,5148	2,3246
58	20,31	432,38	47,08	361,71	626,4	1,5241	2,3234
59	20,74	430,19	48,27	364,91	626,89	1,5335	2,3222
60	21,17	427,97	49,49	368,14	627,36	1,5429	2321

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 82 – Tabela de pressão do vapor R-744

R-744 – CO_2							
Tabela de pressão do vapor							
Temperatura	**Pressão**	**Densidade**		**Entalpia**		**Entropia**	
°C	**bar**	**kg/m³**		**kJ/kg**		**J/kg*K**	
		líquido	**gás**	**líquido**	**gás**	**líquido**	**gás**
-55	5,54	1172,9	14,67	83,09	430,99	0,5352	2,13
-54	5,781	1169,2	15,28	85,06	431,34	0,5441	2,1243
-53	6,029	1165,6	15,91	87,02	431,69	0,553	2,1186
-52	6,286	1161,9	16,56	88,99	432,03	0,5618	2,113
-51	6,55	1158,3	17,23	90,97	432,36	0,5706	2,1074
-50	6,823	1154,6	17,93	92,94	432,68	0,5794	2,1018
-49	7,105	1150,8	18,64	94,92	432,99	0,5881	2,0963
-48	7,395	1147,1	19,37	96,91	433,29	0,5968	2,0909
-47	7,694	1143,4	20,13	98,89	433,58	0,6055	2,0855
-46	8,002	1139,6	20,91	100,88	433,86	0,6142	2,0801
-45	8,318	1135,8	21,72	102,87	434,13	0,6228	2,0747
-44	8,645	1132	22,55	104,87	434,39	0,6314	2,0694
-43	8,98	1128,1	23,4	106,87	434,64	0,64	2,0642
-42	9,325	1124,2	24,28	108,88	434,88	0,6486	2,0589
-41	9,68	1120,3	25,19	110,89	435,11	0,6571	2,0537
-40	10,05	1116,4	26,12	112,9	435,32	0,6656	2,0485
-39	10,42	1112,5	27,08	114,92	435,53	0,6741	2,0434
-38	10,81	1108,5	28,07	116,95	435,72	0,6826	2,0382
-37	11,2	1104,5	29,09	118,98	435,9	0,6911	2,0331
-36	11,61	1100,5	30,14	121,01	436,07	0,6995	2,0281
-35	12,02	1096,4	31,22	123,05	436,23	0,7079	2023
-34	12,45	1092,4	32,33	125,1	436,37	0,7163	2,018
-33	12,89	1088,3	33,47	127,15	436,51	0,7247	2,0129
-32	13,34	1084,1	34,64	129,2	436,62	0,7331	2,0079
-31	13,8	1079,9	35,85	131,27	436,73	0,7415	2,0029
-30	14,28	1075,7	37,1	133,34	436,82	0,7498	1,998
-29	14,76	1071,5	38,38	135,41	436,9	0,7582	1,993
-28	15,26	1067,2	39,7	137,5	436,96	0,7665	1,988
-27	15,77	1062,9	41,05	139,59	437,01	0,7748	1,9831
-26	16,29	1058,6	42,45	141,69	437,04	0,7831	1,9781
-25	16,83	1054,2	43,88	143,79	437,06	0,7914	1,9732
-24	17,38	1049,8	45,36	145,91	437,06	0,7997	1,9683
-23	17,94	1045,3	46,88	148,03	437,04	0,808	1,9633
-22	18,51	1040,8	48,44	150,16	437,01	0,8163	1,9584
-21	19,1	1036,3	50,05	152,3	436,96	0,8246	1,9535

-20	19,7	1031,7	51,7	154,45	436,89	0,8328	1,9485
-19	20,31	1027	53,4	156,61	436,81	0,8411	1,9436
-18	20,94	1022,3	55,16	158,77	436,7	0,8494	1,9386
-17	21,58	1017,6	56,96	160,95	436,58	0,8577	1,9337
-16	22,24	1012,8	58,82	163,14	436,44	0,8659	1,9287
-15	22,91	1008	60,73	165,34	436,27	0,8742	1,9237
-14	23,59	1003,1	62,7	167,55	436,09	0,8825	1,9187
-13	24,29	998,14	64,73	169,78	435,89	0,8908	1,9137
-12	25,01	993,13	66,81	172,01	435,66	0,8991	1,9086
-11	25,74	988,06	68,97	174,26	435,41	0,9074	1,9036
-10	26,49	982,93	71,19	176,52	435,14	0,9157	1,8985
-9	27,25	977,73	73,47	178,8	434,84	0,9241	1,8934
-8	28,03	972,46	75,83	181,09	434,51	0,9324	1,8882
-7	28,82	967,12	78,26	183,39	434,17	0,9408	1,883
-6	29,63	961,7	80,77	185,71	433,79	0,9492	1,8778
-5	30,46	956,21	83,36	188,05	433,38	0,9576	1,8725
-4	31,3	950,63	86,03	190,4	432,95	0966	1,8672
-3	32,16	944,97	88,79	192,77	432,48	0,9744	1,8618
-2	33,04	939,22	91,65	195,16	431,99	0,9829	1,8563
-1	33,94	933,38	94,6	197,57	431,46	0,9915	1,8509
0	34,85	927,43	97,65	200	430,89	1	1,8453
1	35,78	921,38	100,8	202,45	430,29	1,0086	1,8397
2	36,73	915,23	104,1	204,93	429,65	1,0172	1,834
3	37,7	908,95	107,5	207,43	428,97	1,0259	1,8282
4	38,69	902,56	111	209,95	428,25	1,0346	1,8223
5	39,7	896,03	114,6	212,5	427,48	1,0434	1,8163
6	40,72	889,36	118,4	215,08	426,67	1,0523	1,8102
7	41,77	882,55	122,3	217,69	425,81	1,0612	1,8041
8	42,83	875,58	126,4	220,34	424,89	1,0702	1,7977
9	43,92	868,44	130,7	223,01	423,92	1,0792	1,7913
10	45,02	861,12	135,2	225,73	422,88	1,0884	1,7847
11	46,15	853,6	139,8	228,49	421,79	1,0976	1,7779
12	47,3	845,87	144,7	231,29	420,62	1,107	1,771
13	48,47	837,91	149,8	234,13	419,37	1,1165	1,7638
14	49,66	829,7	155,1	237,03	418,05	1,1261	1,7565
15	50,87	821,21	160,7	239,99	416,64	1,1359	1,7489
16	52,11	812,41	166,7	243,01	415,12	1,1458	1,7411
17	53,37	803,27	172,9	246,1	413,5	1,1559	1,7329

Continuação da Tabela 82 – Tabela de pressão do vapor R-744

18	54,65	793,76	179,6	249,26	411,76	1,1663	1,7244
19	55,96	783,81	186,6	252,52	409,89	1,1769	1,7155
20	57,29	773,39	194,2	255,87	407,87	1,1877	1,7062
21	58,65	762,4	202,3	259,33	405,67	1,1989	1,6964
22	60,03	750,77	211,1	262,93	403,26	1,2105	1,686
23	61,44	738,36	220,6	266,68	400,63	1,2225	1,6749
24	62,88	725,02	231,1	270,61	397,7	1,2352	1,6629
25	64,34	710,5	242,7	274,78	394,43	1,2485	1,6498
26	65,84	694,46	255,9	279,26	390,71	1,2627	1,6353
27	67,36	676,36	271	284,14	386,39	1,2783	1,6189
28	68,92	655,28	289,1	289,62	381,2	1,2958	1,5999
29	70,51	629,36	312	296,07	374,61	1,3163	1,5763
30	72,14	593,31	345,1	304,55	365,13	1,3435	1,5433

Fonte: Rolf Huehren.

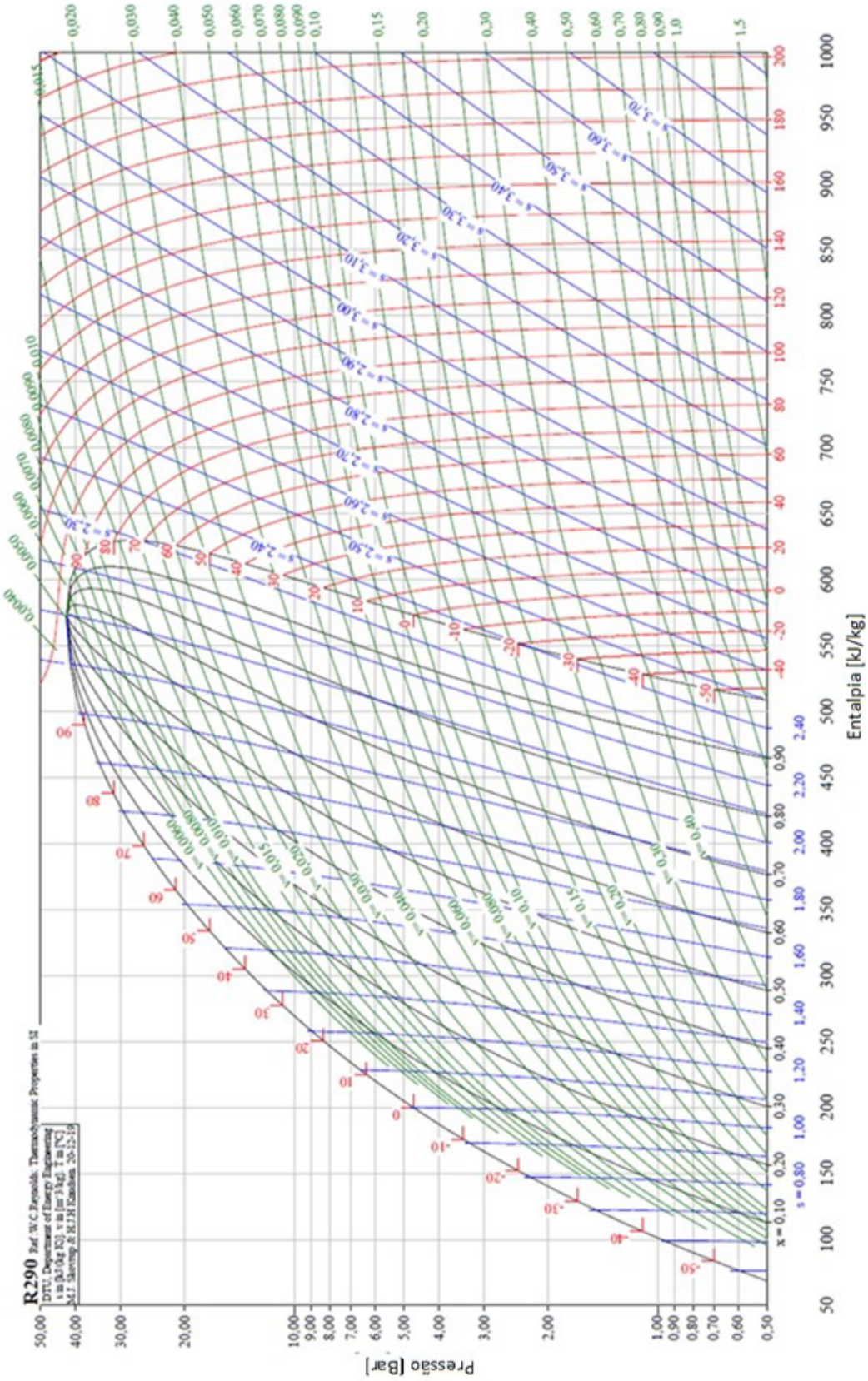
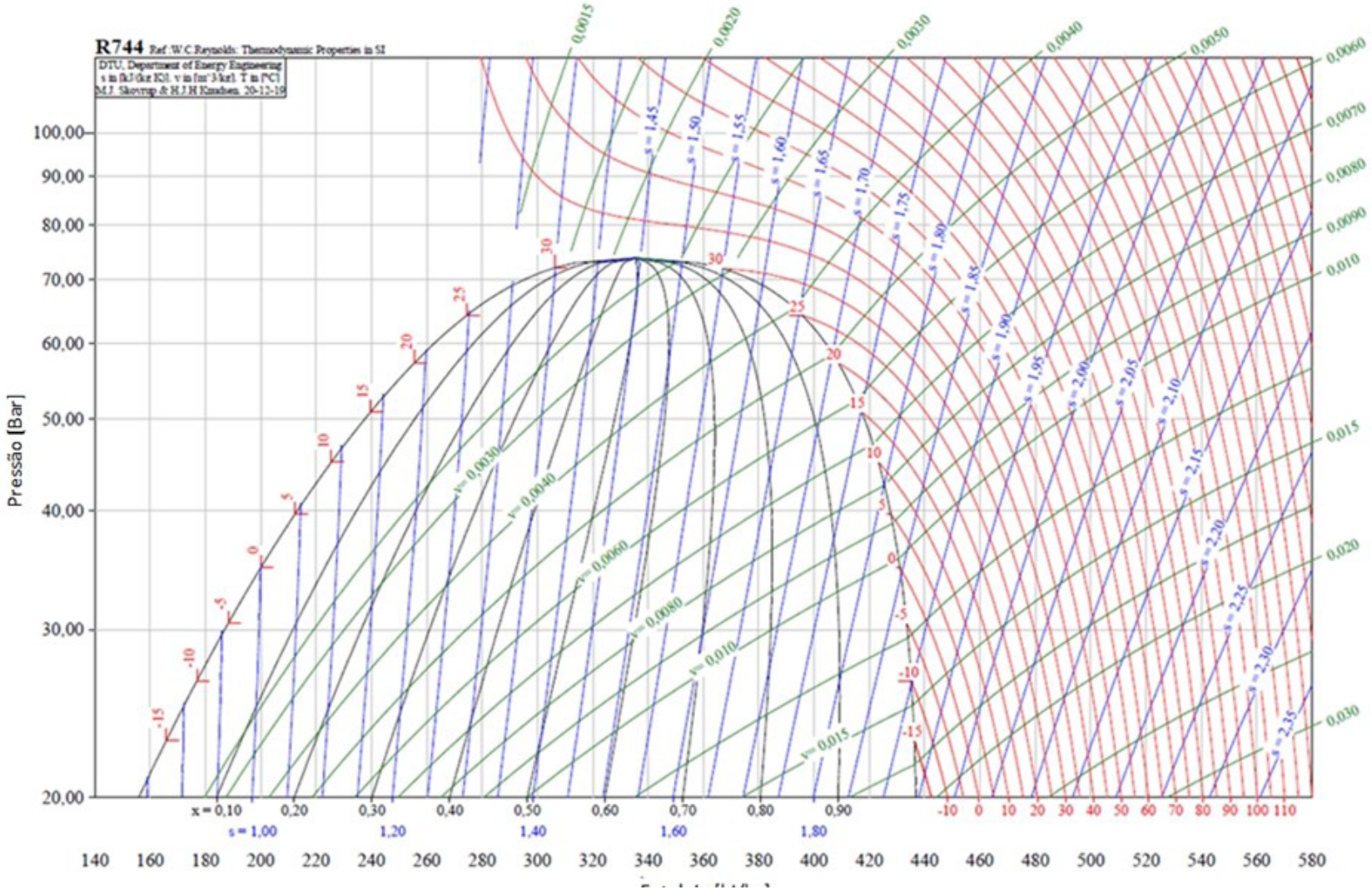


Figura 398 – Diagrama log P/h do R-290

Fonte: DTU Engineering Technology Denmark.

Figura 399 – Diagrama log P/h do R-744



Fonte: DTU Engineering Technology Denmark.

10

SEGURANÇA ELÉTRICA & CONTROLES DO SISTEMA

10 Segurança Elétrica & Controles do Sistema

As regulamentações e normas referentes a instalações elétricas e práticas associadas a instalações hidráulicas, de gás, aquecimento e ventilação bem como refrigeração variam de acordo com o país. A seguir relacionamos algumas normas nacionais e internacionais importantes, que também são mencionadas ao longo destas instruções:

EN 60204-1: Segurança de máquinas – Equipamentos elétricos – Parte 1: Requisitos gerais;
ABNT NBR 17094-1: Máquinas elétricas girantes – Parte 1: Motores de indução trifásicos – Requisitos;
IEC 60364-8-1: Instalações elétricas de baixa tensão – Aspectos funcionais. Eficiência energética;
IEC 60364-1: Instalações elétricas de baixa tensão – Parte 1: Princípios fundamentais, características gerais e definições;
ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão (baseada na IEC 60364);
IEC 60529 / ABNT NBR IEC 60529: Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP) ;
EN 61010-2-030: Define as categorias de medição (CAT) (Requisitos de segurança para equipamentos elétricos para medição, controle e uso em laboratório – Parte 2–030: Requisitos específicos para circuitos de ensaio e medição);
EN 61010-031: Requisitos de segurança para equipamentos elétricos para medição, controle e uso em laboratório. Requisitos de segurança para medidores manuais usados em medições e ensaios elétricos;
IEC 61140: Proteção contra choque elétrico – aspectos comuns em instalações e equipamentos elétricos;
ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas;
EN 61243-3: Trabalhos em tensão. Detectores de tensão. Tipo bipolar de baixa tensão;
IEC 61557-8: Especifica os requisitos para dispositivos de monitoramento de isolamento (IMD) que monitoram permanentemente a resistência de aterramento RF de sistemas AC não aterrados, sistemas AC IT;
IEC 61558-2-6: Segurança de transformadores para tensões de alimentação de até 1.100 V;
ISO 7000/IEC 60417: Símbolos gráficos usados em equipamentos; e
EN 60617: Símbolos gráficos para diagramas;
ABNT NBR 5444: Símbolos gráficos para instalações elétricas prediais[9]; e
NR 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade.

10.1 Símbolos elétricos mais comuns

Para o desenho de diagramas de circuitos elétricos ou outros diagramas que apresentem componentes elétricos, como condutores, baterias, motores, etc., são usados símbolos padronizados. A Figura 400 apresenta alguns símbolos importan-

[9] A norma ABNT NBR 5444 foi cancelada sem substituição em 2014. Enquanto não houver nova norma brasileira, recomenda-se a utilização das normas internacionais EN 60617 e IEC 60417.

tes, necessários para diagramas elétricos em tecnologias AVAC-R simples, como foram definidos na norma EN 60617.

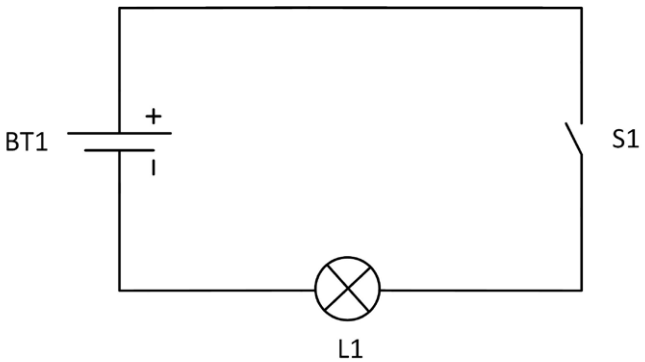
Figura 400 – Símbolos elétricos mais comuns conforme norma EN 60617

	Contato NA		Contato NF		Contator de efeito de ponte		Contator NA acionado manualmente		Contator NA acionado manualmente com retorno automático
	Chave rotativa sem retorno automático		Interruptor com fusível		Interruptor térmico automático		Botoeira de parada de emergência		Relé de partida
	Pilha primária ou secundária		Sinalização, lâmpada, símbolo geral	A	Amperímetro	V	Voltímetro	Ω	Ohmímetro
	Resistor variável		Terra		Ligação à terra de proteção		Massa, chassi		Ligação equipotencial
	Retificador		Inversor		Retificador em ponte		Capacitor		Bobina indutora, enrolamento
	Bobina indutora, enrolamento		Resistor		Fusível		Bobina de comando geral	*	Controlador
	Transformador com dois enrolamentos	M 1~	Motor monofásico	M 3~	Motor trifásico		Ponto de conexão		Terminal

Fonte: EN 60617, com layout de Rolf Huehren.

O exemplo a seguir mostra um diagrama esquemático de um circuito elétrico simples com pilha, interruptor e lâmpada.

Figura 401 – Exemplo de circuito elétrico muito simples com pilha (BT1), interruptor (S1) e lâmpada (L1)



Fonte: Rolf Huehren.

10.2 **Sistemas elétricos - Riscos e medidas de Segurança**

Os conteúdos eletrotécnicos são uma parte importante do treinamento de técnicos/as competentes para a área de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (AVAC-R). Por isso, devem fazer parte dos exames práticos e teóricos nas avaliações de competência.

Exigências gerais de prevenção de acidentes na operação de sistemas elétricos para sistemas AVAC-R.	⚠ A operação em circuitos elétricos é uma das principais causas de acidentes de trabalho dos profissionais da área AVAC-R; ⚠ Um circuito elétrico defeituoso também é o principal motivo de acidentes em um sistema de AVAC-R que, de outra forma, estaria funcionando normalmente; ⚠ Equipamentos elétricos defeituosos representam riscos de segurança no que concerne à Saúde e Segurança do Trabalho (SST), especialmente na operação de sistemas AVAC-R com fluidos refrigerantes inflamáveis; e ⚠ Observe sempre as instruções dos manuais de instalação, segurança e operação do fabricante do equipamento original (OEM).

Os sistemas e equipamentos elétricos só podem ser instalados, modificados, mantidos e reparados por pessoas competentes ou sob a liderança e supervisão de um eletricista qualificado, de acordo com as normas e os regulamentos nacionais aplicáveis de engenharia elétrica.

Além das exigências nacionais, as normas internacionais tratam dos requisitos para instalações elétricas, especificamente da diferenciação e especificação dos requisitos para:

- Eletricistas qualificados;
- Pessoas treinadas em eletricidade; e
- Pessoas leigas em eletrotécnica.

Empregadores e supervisores no setor de AVAC-R são responsáveis por determinar se uma tarefa pode ser executada por um técnico/a de AVAC-R ou se é necessário consultar um eletricista qualificado.

10.3 **Efeitos da corrente elétrica no corpo humano**

Um acidente ou choque elétrico é uma lesão causada pela ação da corrente elétrica em uma pessoa. As consequências mais comuns de acidentes elétricos são efeitos químicos e térmicos (queimaduras), efeitos neurológicos, irritação muscular (por exemplo, cãibras musculares e contrações tetânicas) ou paralisia muscular. Este último caso pode, entre outras coisas, levar a arritmias cardíacas com risco de vida, como fibrilação ventricular, bem como parada cardíaca ou paralisia respiratória, podendo ser fatal. Também não devem ser subestimados os acidentes causados indiretamente, como quedas com consequências significativas.

- A extensão dos danos de um acidente elétrico depende (LUA 2006):
- Da corrente por área (densidade da corrente), conforme as circunstâncias (além da tensão e resistência);
- Do tipo de corrente - CA ou CC;
- Da frequência (somente com corrente contínua CC pulsante ou corrente alternada CA);

- Do deslocamento da corrente pelo corpo (por exemplo, mão - mão, mão - pé, esquerda, direita);
- Da duração da corrente elétrica;
- Da área das superfícies de contato (no caso de contato sem descarga elétrica);
- Da condutividade no ponto de contato (no caso de contato sem descarga elétrica);
- Da tensão de passo (em tempestades ou sistemas elétricos aterrados);
- Do estado de saúde ou a idade da pessoa afetada; e
- Da presença ou ausência de implantes médicos.

10.3.1 **Corrente e Tensão**

Quando uma corrente elétrica passa pelo corpo humano, os músculos se contraem, pois a corrente externa é muito maior do que a corrente do corpo nas vias nervosas. Nos pontos de contato com a pele, podem surgir queimaduras. Com correntes mais altas, a pessoa ferida não consegue se desconectar do ponto de contato. Se a corrente alternada passar pelo coração humano, pode desencadear fibrilação ventricular, o que interrompe a circulação sanguínea. Se o coração parar de funcionar corretamente, não chegará oxigênio suficiente ao cérebro e, em pouco tempo, as células cerebrais são danificadas, podendo levar à morte. Efeitos de corrente mais prolongados também levam a processos de eletrólise no sangue e no plasma das células do corpo. Os produtos resultantes da decomposição tóxica podem causar efeitos mesmo dias após o acidente.

A Tabela 83 apresenta os efeitos para 50 Hz CA de diferentes correntes. Além dos efeitos apresentados, podem ocorrer lesões em tecidos (queimaduras) causadas pelos respectivos valores de corrente na tabela.

Tabela 83 – Valores de corrente e seus efeitos no corpo humano

Corrente	Efeitos no corpo humano
Até 0,5 mA	Imperceptível ou leve formigamento
0,5 - 5 mA	Formigamento significativo até espasmos musculares, em geral passageiros
5 - 15 mA	Contrações dolorosas que ultrapassam o limiar de relaxamento
15 - 25 mA	Obstrução da respiração e circulação
25 - 50 mA	Problemas respiratórios, arritmias cardíacas e aumento da pressão arterial
> 50mA	Fibrilação ventricular e parada cardíaca após um período cardíaco (≤1 s)

Fonte: LUA, 2006.

10.3.2 **Resistência/Impedância**

O corpo humano pode ser considerado como uma resistência ou impedância substituta em um circuito de corrente alternada (CA). Em grande parte, é essa resistência que determina os limites para a prevenção de acidentes elétricos.

Ela consiste na resistência da pele (aproximadamente 10.000 Ω quando seca, aproximadamente 100 Ω para pele molhada) e na resistência do restante do corpo (aproximadamente 700 a 1.000 Ω) (LUA, 2006). No caso de tensões mais altas, a resistência da pele é superada e ocorre uma descarga disruptiva. Quanto maior a tensão tocada, menor é a resistência do corpo. A resistência do corpo, portanto, não é constante e não há relação linear entre a corrente do corpo e a tensão de contato, diferentemente do que ocorre na resistência normal. A resistência do corpo depende da tensão e da sua frequência. Ela muda dependendo de muitos fatores, como a umidade, o deslocamento da corrente através do corpo e características individuais. Pele seca ou uma área de contato isolada do piso reduzem a resistência. Pele molhada e uma superfície de contato condutora são mais perigosas. Em condições extremas, é de se esperar resistências corporais abaixo de 300 Ω.

Exemplo:
Qual é a corrente que passa pelo corpo humano, considerando uma resistência corporal mínima de 1000 Ω (por exemplo, pele molhada e resistência corporal média) e 230 V de tensão de rede?

Se: R = 1000 Ω; U = 230 V

Fórmula (Lei de Ohm): $I = \frac{U}{R}$

Cálculo: I=230 V/1000 Ω = 230 mA

Uma corrente de 230 mA já pode levar à morte no tempo de exposição correspondente!

Espera-se que queimaduras, que representam risco de vida, ocorram somente na faixa de tensão média (1 kV até 52 kV) e de alta tensão (até 1 MV). Na faixa de baixa tensão (CA até 1000 V; CC até 1500 V) pode haver o risco de fibrilação ventricular e os chamados acidentes secundários.

Acidentes secundários são acidentes causados por movimentos súbitos e involuntários em razão de choque ou susto, como a queda de uma escada como reação direta ao toque em uma peça energizada.

Tabela 84 – Resistência elétrica em caso de falha no circuito

Resistências elétricas	Acrônimo	Descrição
Resistência do cabo condutor	RC	Indica a resistência do cabo dos condutores conectados, geralmente de apenas alguns ohms
Resistência da falha	RF	A falha de isolamento entre os condutores de corrente e a carcaça condutiva
Resistência do contato	RC	A resistência entre a carcaça e a pessoa que tocou, por exemplo, pela roupa

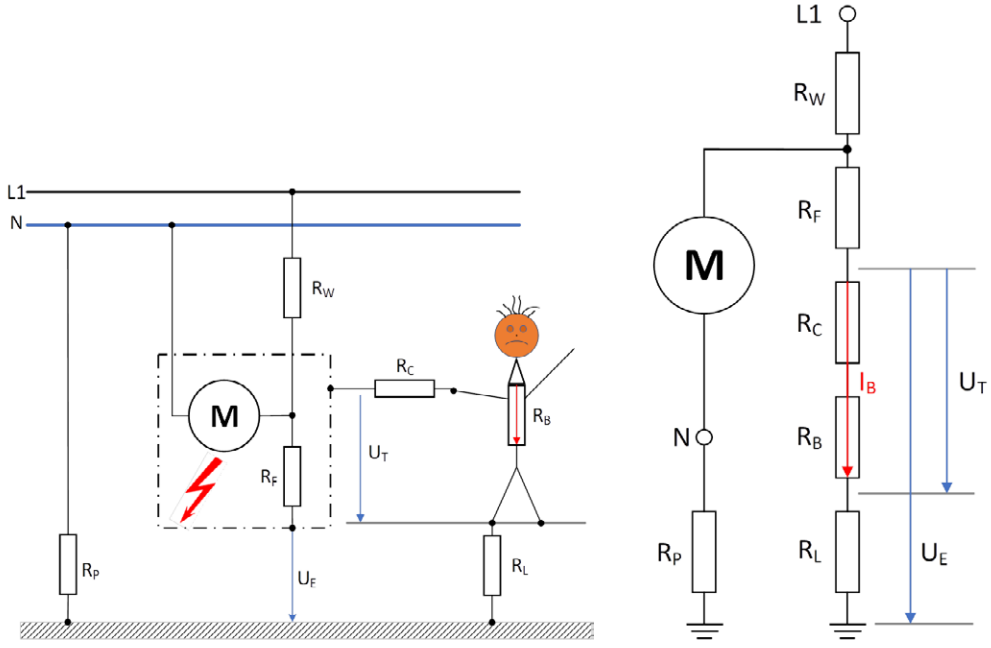
Continuação da Tabela 84 – Resistência elétrica em caso de falha no circuito

Resistência do corpo	RB	Resistência da pele e resistência interna da pessoa que tocou em torno de 1 kΩ
Resistência local	RL	Resistência do isolamento da pessoa ao fio terra, pelos calçados ou do revestimento do piso
Resistência de aterramento da instalação	RP	Resistência de aterramento do sistema da instalação, aterramento da fundação, poucos ohms

Fonte: Rolf Huehren.

A Figura 402 mostra como um ser humano pode se tornar parte de um circuito elétrico energizado e quais correntes fluem através do seu corpo.

Figura 402 – Representação gráfica de uma situação de corrente de falha (esquerda); diagrama de circuito equivalente de uma situação de corrente de falha (direita)



A seta vermelha indica a corrente que passa pelo corpo no caso de situação imprópria

Neutro	**N**	Neutro.
Cabo	**L**	Cabo energizado.
Motor	**M**	Motor genérico.
Tensão da falha	**U_E**	Tensão para a terra em caso de falhas de isolamento entre o condutor e a carcaça dos dispositivos conectados.
Tensão de toque	**U_T**	Tensão de ponte da pessoa entre o ponto de toque e o contato com a terra.
Corrente do corpo	**I_B**	Corrente que flui pela resistência do corpo ao fazer a ponte da tensão de toque.
Corrente de falha	**I_F**	Corrente que pode fluir devido a uma falha de isolamento e a tensão de falha resultante.

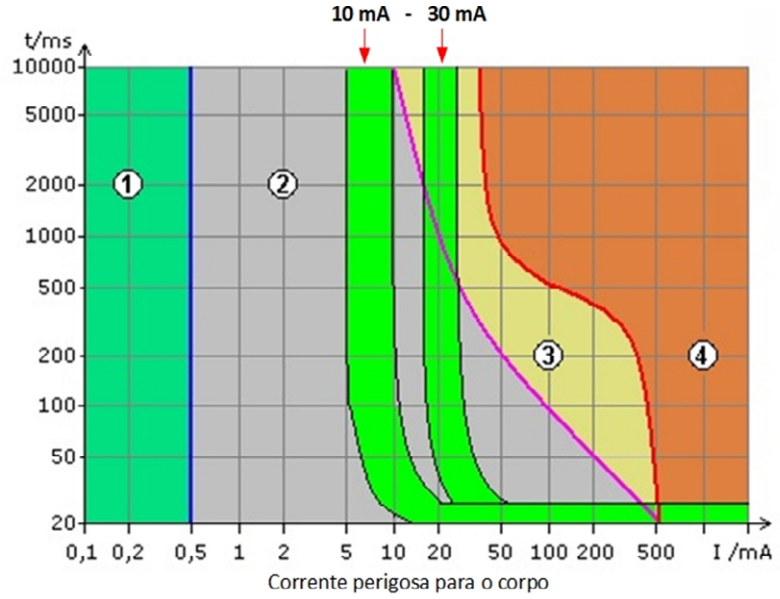
Fonte: HEAT GmbH.

10.3.3 **Duração do contato**

Além da intensidade da corrente que atravessa o corpo e o coração, a duração do impulso elétrico também é importante. Quanto mais demorado o contato, mais graves são os efeitos. Correntes baixas podem ser suportadas por mais tempo sem efeito, enquanto correntes mais altas podem ser fatais em pouco tempo. A Figura 403 mostra correntes perigosas e a duração do contato.

- Área 1 – efeitos de correntes de até 0,5 mA são praticamente inofensivos, mesmo durante um longo período;
- Área 2 – não se espera nenhum dano permanente à saúde até 10 mA e um tempo ≤ 1 s. Para correntes mais altas, o tempo de exposição segura diminui. A 50 mA, a duração máxima do contato pode ser de apenas 200 ms;
- Área 3 – o comprometimento perceptível da saúde física é esperado;
- Área 4 – considerada letal; e
- As áreas verdes claras indicam a operação de dispositivos de corrente residual (RCD) para 10 mA e 30 mA.

Figura 403 – Proteção RCD – Gráfico de corrente corporal perigosa



Fonte: LUA, 2006.

Somente em frequências muito altas, a maior parte da corrente passa na superfície do corpo e apenas uma pequena parte através dele. É importante saber onde a eletricidade entra e sai do corpo (os pontos de contato de transição do corpo), pois isso influencia o deslocamento da corrente pelo corpo. Se o circuito se fecha entre a mão e o corpo ou entre as mãos, o isolamento do local não oferece proteção.

10.4 **Falhas elétricas**

Existem diferentes tipos de falhas elétricas:

1. Curto-circuito

Um curto-circuito significa que há uma conexão condutora, sem uma carga de consumo, entre condutores de tensão, os quais deveriam estar em tensões diferentes, devido a uma falha de isolamento. Esse curto-circuito resulta em

uma corrente de curto-circuito muito alta que, sem uma medida de proteção, pode destruir cabos, dispositivos de comutação e componentes.

2. Falha de aterramento

Uma falha de aterramento é uma conexão condutora defeituosa de um condutor de fase ou de um condutor neutro isolado operacional, à terra ou a partes aterradas.

3. Curto-circuito no condutor

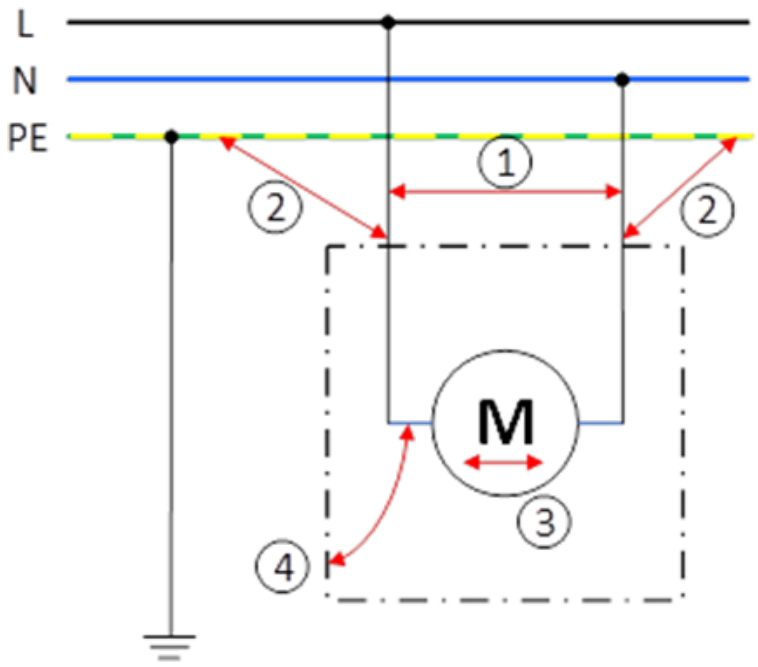
Um curto-circuito no condutor é uma conexão condutora gerada por uma falha entre condutores de tensão em operação quando há uma carga de consumo no circuito danificado.

4. Curto-circuito em um gabinete ou carcaça

Um curto-circuito em um gabinete (carcaça) é uma conexão condutora defeituosa entre o gabinete e as partes ativas do equipamento elétrico.

A Figura 404 abaixo demonstra graficamente a diferença entre os tipos de falhas elétricas mencionadas anteriormente.

Figura 404 – Tipos de falhas elétricas



1.	Curto-circuito	Conexão direta e de baixa resistência entre dois condutores energizados.
2.	Falha à terra	Conexão direta e de baixa resistência de fios energizados à terra.
3.	Curto-circuito no condutor	Partes ou todo o resistor de carga são ligados em ponte no caso de uma falha.
4.	Curto-circuito em um gabinete ou uma carcaça	Falha de isolamento das partes energizadas em relação ao gabinete condutor de eletricidade.

Fonte: HEAT GmbH.

Para o tipo mais comum de falhas elétricas, o curto-circuito, os fusíveis de fusão são os dispositivos de proteção mais antigos da engenharia elétrica. Entretanto, instalações livres de fusíveis de fusão têm se destacado cada vez mais atualmente, substituindo os fusíveis por dispositivos de proteção de última geração. A proteção do fusível de fusão é baseada no princípio de permitir o derretimento de um pedaço de fio, por assim dizer, como um ponto de interrupção predeterminado em um circuito elétrico. As classes de função de um fusível determinam em quais faixas de corrente o elo fusível pode se desligar. A classe "g" significa uso geral e a classe "a" significa fusível acompanhado.

10.4.1 **Proteção contra falhas elétricas**

Para prevenir falhas elétricas, é possível distinguir três níveis de proteção na engenharia elétrica (ver Figura 405).

Figura 405 – Conceito principal de proteção elétrica

Denominação		Proteção da instalação	Proteção do dispositivo
Nível 1	Proteção básica	Proteção contra contato direto com peças energizadas (ativas)	Proteção contra contato direto e corpos estranhos
Nível 2	Proteção contra falhas	Proteção contra contato indireto com peças ativas	Classes de proteção
Nível 3	Proteção adicional	Medidas de proteção contra contato direto com peças ativas, por exemplo, dispositivo de corrente residual com corrente residual nominal de ≤ 30 mA	

Fonte: IEC 60364-4-41:2018-10.

Nível 1: Proteção contra contato direto por meio de isolamento

Prevenção do contato direto entre peças energizadas (ativas) e o terra; ou partes ativas de diferentes potenciais. É a proteção básica contra choque elétrico. Coberturas, revestimentos, obstáculos ou a distância entre as peças e a proteção contra a entrada de corpos estranhos (por exemplo, pinos de metal) são exemplos para isso.

Proteção da instalação

- Isolamento básico;
- Coberturas;
- Gabinetes/carcaças;
- Obstáculos; e
- Distância (depende da tensão).

Proteção do dispositivo

- Proteção contra contato e proteção contra entrada de corpo estranho.

A proteção total é obrigatória para equipamentos e sistemas elétricos usados ou operados por pessoas comuns. Com a proteção parcial, há apenas proteção contra contato acidental, por exemplo, em instalações elétricas fechadas. No caso de uma estrutura de proteção em cascata contra contatos perigosos, a proteção básica também pode ser chamada de primeira medida de proteção.

Essa proteção básica pode falhar em razão de envelhecimento ou de estresse mecânico, térmico ou químico:

- Caso isso ocorra com o isolamento externo ou em coberturas, peças energizadas podem ser tocadas diretamente. Esse dano é visível de forma imediata e é necessário repará-lo para a proteção.
- Se o isolamento interno do equipamento falhar, pode acontecer que as peças condutoras externas recebam tensões de falha. Nesse caso, não fica visível que as peças tocáveis estão sob tensão. Devem ser tomadas medidas para garantir que, em caso de falha no isolamento básico, as peças condutoras externas não absorvam tensões de falha perigosas (tensão mais baixa, isolamento de proteção ou separação de proteção) ou que o dispositivo defeituoso seja desligado automaticamente.

Nível 2: Proteção contra contato indireto com peças ativas por meio de isolamento, cobertura ou caixa de proteção e aterramento de proteção

Nível 2, ou proteção contra falhas, previne danos em caso de falha do isolamento básico.

Isso inclui os isolamentos de proteção internos, as coberturas e a caixa, bem como fusíveis e disjuntores.

Proteção da instalação

- Proteção por desligamento;
- Isolamento de proteção;
- Proteção por espaços não condutores;
- Proteção por ligação equipotencial local (aterramento); e
- Separação de proteção.

Proteção do dispositivo

- Classe de proteção 1 - dispositivos com conexão do condutorde proteção (aterramento);
- Classe de proteção 2 - dispositivos com isolamento de proteção; e
- Classe de proteção 3 - tensão extrabaixa.

Classe de proteção 3 - Proteção por tensão extrabaixa

A experiência tem mostrado que até mesmo a proteção contra falhas pode falhar. Os condutores do aterramento de proteção podem se romper ou ser confundidos. Coberturas podem desaparecer, fazendo com que as peças energizadas fiquem acessíveis ou o equipamento pode cair na água.

Muitas vezes, são estas as ocorrências de erros em que a proteção contra falhas não funciona, por exemplo, se a corrente de contato perigosa não for suficiente para interromper o circuito defeituoso em tempo hábil. Em casos assim, o terceiro nível de proteção pode funcionar, interrompendo as correntes de falha ou limitando-as a valores inofensivos.

Medidas de proteção com aterramento de proteção

O aterramento de proteção estabelece uma conexão elétrica entre as carcaças metálicas acessíveis (corpo do equipamento elétrico) e a barra de aterramento principal, seja por meio de uma conexão permanente ou por meio dos contatos de aterramento de proteção nos soquetes. O cabo de aterramento conecta a barra de aterramento principal a um eletrodo de aterramento (geralmente, ao aterramento da fundação ou a outro eletrodo de aterramento, como um anel de aterramento). O condutor de ligação equipotencial de proteção serve para garantir a ligação

equipotencial e conecta peças condutoras externas (tubulações de água, de aquecimento, ar condicionado, corrimão, etc.) com a barra de aterramento principal.

Aterramento de sistemas de AVAC-R que usam fluido refrigerante inflamável	⚠ O aterramento elétrico é essencial para evitar descargas elétricas, que podem gerar faíscas. Sempre verifique se há esse aterramento antes de deixar uma instalação/aparelho. ⚠ Durante o comissionamento, reparos e o descomissionamento de sistemas AVAC-R, equipamentos como bombas de vácuo, recolhedoras e cilindros de recolhimento devem ser aterrados. ⚠ Evite usar fibras sintéticas, pois elas podem gerar faíscas causadas por eletricidade estática.

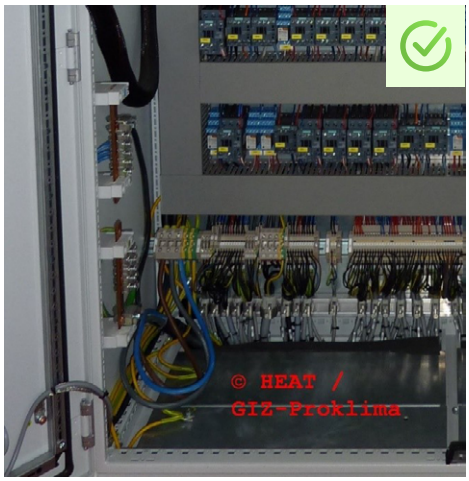
Os condutores de aterramento de proteção, condutores de aterramento e condutores de ligação equipotencial de proteção devem ser colocados e conectados eletricamente de maneira adequada. Os pontos de conexão e de contato devem ser protegidos contra afrouxamento ou corrosão e devem ser acessíveis para inspeção.

Figura 406 – Exemplo de inserção inadequada de cabos elétricos e aterramento



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 407 – Inserção de cabos e colocação de aterramento de última geração em um gabinete de controle



Fonte: HEAT GmbH.

Cabos e conexões de aterramento de proteção devem ser identificados conforme as normas. O aterramento de proteção é um condutor para fins de segurança, por exemplo, para proteger contra choques elétricos em caso de falha.

Os pontos de conexão para o condutor de proteção são identificados com o símbolo do condutor de proteção (símbolo de aterramento em um círculo, veja a Figura 408).

Figura 408 – Símbolo do condutor de proteção



Fonte: EN 60445 (VDE 0197).

Condutores de proteção e condutores neutros não podem continuar conectados uns aos outros a partir do primeiro ponto de separação PEN em um sistema (obviamente também não podem ser trocados). O condutor neutro é um condutor ativo e apto a contribuir na distribuição da energia. Condutores ativos precisam ser protegidos quanto a contato.

Os contatos de aterramento de proteção dos soquetes sempre devem estar em boas condições. Não podem estar dobrados, sujos ou pintados. Os cabos do aterramento de proteção não devem ser equipados com mecanismos de distribuição.

Nível 3: Proteção adicional

A proteção do nível 3 inclui medidas complementares para proteger contra correntes de contato perigosas se a proteção básica e/ou a proteção contra falhas falharem ou não puderem proteger devido à situação de falha específica. Um exemplo é a tecnologia de dispositivo de corrente residual (RCD), que viabiliza a proteção mesmo em caso de falha da segunda barreira contra acidentes elétricos. Essa tecnologia é descrita detalhadamente a seguir.

Há, então, um sistema em cascata de segurança tripla, com o maior grau de proteção. A ligação equipotencial também reduz o risco de contato, mesmo se a proteção contra falhas falhar. Isso também se aplica a pisos e paredes isolantes.

10.4.2 **Condutores de proteção**

Se o condutor de proteção não for parte integrante de um cabo, não for um conduíte, nem conduto ou canalização, e não estiver contido em um compartimento formado pelo sistema de fiação, a área da seção transversal não deverá ser inferior a:

- 2,5 mm^2, se for revestido ou apresentar outra forma de proteção mecânica;
- 4 mm^2, se não houver proteção mecânica.

Há vários tipos de condutores de proteção, como:

- Cabo unipolar;
- Condutor em um cabo;
- Condutor isolado ou nu (cabo de cobre sem revestimento externo) em um compartimento comum, com condutores energizados isolados;
- Condutor fixo nu ou isolado;
- Cobertura metálica, por exemplo, a bainha, a blindagem ou armadura de um cabo;
- Conduíte metálico, sistema metálico de disposição dos cabos ou outra contenção ou sistema de suporte eletricamente contínuo para condutores; e uma
- Parte condutora externa.

Quando o condutor de proteção é formado por um conduíte, uma calha ou conduto metálico ou pela bainha e/ou armadura metálica de um cabo, o terminal de aterramento de cada acessório deve estar conectado por um condutor de proteção separado a um terminal de aterramento integrado à caixa associada ou outro compartimento.

10.4.3 **O uso de dispositivos de proteção contra corrente residual**

Em operação normal, deve haver a mesma corrente nos fios (condutores) energizado e neutro. Qualquer alteração no valor da corrente devido a uma anomalia elétrica indica fuga elétrica, que pode causar choque elétrico e colocar a vida humana em risco. Um dispositivo de corrente residual (RCD, ver Figura 409), ou disjuntor de corrente residual (RCCB), é um dispositivo que detecta fugas elétricas e desarma, instantaneamente, um circuito elétrico, garantindo proteção contra choques.

No Brasil, os RCDs são conhecidos também como Interruptor Diferencial Residual (IDR) ou Disjuntor Diferencial Residual (DDR), mas em outras países há outras denominações, como:

- Estados Unidos e Canadá: Interruptor de Circuito de Falha de Aterramento (GFCI), Interruptor de Falha de Aterramento (GFI) ou um Interruptor de Corrente de Fuga do Aparelho (ALCI);
- Reino Unido: RCD; e
- Austrália: Interruptor de Segurança ou RCD.

Figura 409 – Exemplo de um RCD para aplicação de 30 mA



Fonte: Wylex.

As seguintes caraterísticas do RCD devem ser observadas:

- Em caso de alta corrente (picos ou sobretensão), os RCDs não oferecem proteção contra superaquecimento, riscos de incêndio ou curtos-circuitos;
- Quando há corrente excessiva no circuito, os RCDs muitas vezes são usados junto com um disjuntor, como um fusível ou um disjuntor em miniatura (MCB). Esses são chamados de disjuntor residual com proteção contra sobrecarga (RCBO);
- RCDs são dispositivos que podem ser testados e reinicializados;
- Alguns RCDs desconectam os condutores energizados e de retorno em caso de falha (projeto de "polo duplo"), enquanto outros desconectam apenas o condutor energizado, o que implica que o condutor de retorno esteja no potencial do aterramento (projeto de "polo único"); e
- Se o fio de retorno ficou "flutuando" com a falha ou por qualquer razão ele não estiver no potencial do aterramento, um RCD de polo único vai deixar este condutor ainda conectado ao circuito ao detectar a falha.

10.5 **Dispositivos de segurança elétrica em sistemas de controle de refrigeração**

Desarme de sobrecorrente térmica

Em caso de perigo, o desarme de sobrecorrente térmica desconecta o contator do motor associado e, portanto, o motor conectado por meio de um interruptor auxiliar integrado. Dessa forma, protege efetivamente os motores em caso de sobrecarga, danos no caso de um rotor bloqueado, e garantem a operação sem interrupções dos motores elétricos dentro dos parâmetros prescritos.

Disjuntor de proteção do motor (MPCB)

Os disjuntores de proteção do motor (MPCB) são interruptores operados manualmente que protegem o motor contra sobrecarga e curto-circuito por meio de abertura automática no circuito principal. Além disso, os disjuntores de proteção do motor apresentam um disparo bimetálico para proteção contra sobrecarga em cada via da corrente e uma liberação rápida magnética para proteção contra curto-circuito. Além de abrir no circuito principal, os interruptores podem ser acoplados a contatos auxiliares que sinalizam o estado de comutação ou geram um intertravamento para outros equipamentos elétricos. Os MPCBs podem ser instalados em qualquer ponto do circuito elétrico do motor sem fusível de reserva.

Relé de proteção com termistor

A proteção do motor com termistor é a proteção contra sobrecarga térmica mais eficaz e confiável para motores elétricos. Os fabricantes de compressores (principalmente compressores semi-herméticos) incluíram essa proteção do motor no equipamento elétrico básico. Em geral, os termistores podem ser usados para a proteção contra sobrecargas térmicas. Se estiverem embutidos nos três enrolamentos do motor em um compressor trifásico, servem para proteger contra o desarme de sobrecorrente térmica (bimetálico).

Clixon (interruptor bimetálico)

O Clixon (interruptor bimetálico) funciona como um interruptor de proteção do motor com reinicialização automática, usado principalmente com compressores herméticos em refrigeradores e freezers (sistemas naturalmente seguros).

O bimetal é aquecido por um fio de aquecimento e a corrente contínua sai da carga do motor e passa pelo fio. Seu contato é interrompido se a corrente do motor continua alta demais, por exemplo, depois de dar partida. Portanto, ele protege o motor elétrico de sobrecarga se o mecanismo de partida falhar ou evita danos quando o motor é avariado.

O bimetal desse interruptor é projetado como uma placa com curvatura côncava, tendo, desse modo, um comportamento de ressalto com histerese (superaquecendo e resfriando novamente).

10.6 **Choque elétrico**

Um choque elétrico afeta o sistema nervoso, causando a contração dos músculos e, às vezes, gerando concussão.

Um choque elétrico pode ser recebido por contato direto ou indireto com a eletricidade:

- Contato direto ocorre quando uma pessoa ou um animal entra em contato com peças ou condutores que devem estar energizados em uso normal; e
- Contato indireto é quando uma pessoa ou um animal entra em contato com peças condutoras expostas que ficaram energizadas em razão de alguma falha.

10.6.1 **Remoção de pessoas**

É preciso ter muito cuidado ao remover uma pessoa que tenha entrado em contato com condutores energizados. Os pontos a seguir devem ser observados:

- O socorrista não deve se colocar em situação de perigo;
- Todos os procedimentos necessários devem ser realizados o mais rápido possível; e
- Todos os procedimentos necessários devem ser executados de forma a evitar mais lesões.

Em primeiro lugar, desconecte o fornecimento de energia, sempre que possível. Empurre a vítima para longe dos condutores energizados usando um pedaço de madeira seca ou algo semelhante (cabo de vassoura) para que eles possam ser removidos com eficácia e rapidez.

10.6.2 **Tratamento**

Chame ajuda e uma ambulância (veja também mais referências no Capítulo 3).

Em caso de choque leve, tranquilize o paciente e deixe-o confortável. Informe o acidente ao pessoal apropriado.

Se houver queimaduras, resfrie as áreas afetadas com água fria ou qualquer outro fluido adequado não inflamável que esteja à mão. Remova tudo que for apertado ou que possa comprimir, se possível, como anéis, cintos e botas. Se houver queimaduras graves, resfrie as áreas afetadas e encaminhe o paciente ao hospital sem demora.

Em casos graves de choque, se o paciente estiver inconsciente e não estiver respirando, desobstrua as vias aéreas e faça respiração boca a boca. Lembre-se, não há tempo a perder, pois a falta de oxigênio no cérebro pode causar danos dentro de quatro minutos.

Se ocorrer parada cardíaca, deve ser feita massagem cardíaca, que deve continuar até se receber outra orientação médica.

Se o paciente está respirando e apresenta batimentos cardíacos após o atendimento, coloque-o em posição de recuperação e encaminhe-o ao hospital sem demora.

"Trabalho em linha viva" se refere a atividades em que pessoas ou objetos podem entrar em contato com peças energizadas ou "vivas" da instalação; ou podem se aproximar o suficiente para ficar em uma situação perigosa.

Trabalho em partes energizadas	⚠ No caso de tensões operacionais acima de 50 V de tensão alternada ou 120 V de tensão contínua, o trabalho em partes energizadas só é permitido se essas partes não puderem ser desligadas por razões relevantes, como riscos à saúde, perigos, danos econômicos vultosos ou durante o trabalho no fornecimento público de energia. ⚠ Em locais de trabalho com risco de incêndio, não é permitido trabalhar com partes vivas. ⚠ Ao trabalhar em partes energizadas, observe sempre as cinco regras de segurança. ⚠ Trabalhar em partes vivas (de uma instalação elétrica) é bastante perigoso. Esse tipo de trabalho deve ser realizado somente por pessoas qualificadas para tal e certificadas. Durante o trabalho com peças energizadas, outro funcionário treinado em primeiros socorros deve estar presente.

10.7 As cinco regras de segurança

Para trabalho seguro em equipamento elétrico, mantenha a conformidade com as seguintes regras de segurança na ordem determinada! As regras garantem que as peças ativas de dispositivos ou sistemas sejam desligadas antes de começar a trabalhar e fiquem desse jeito durante o trabalho.

Observação: as peças ativas são condutores ou peças condutoras, a serem usadas para condução de tensão durante a operação normal sem complicações, incluindo o condutor neutro.

Dependendo do sistema e da tensão, podem ser necessárias apenas as etapas de 1 a 3. Esse é o caso, por exemplo, dos aparelhos de ar condicionado do tipo split.

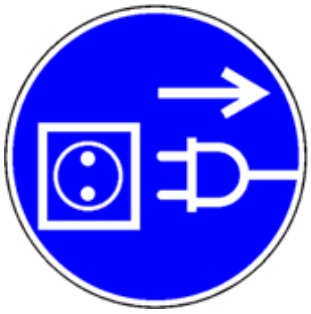


As cinco regras de segurança para trabalhar com sistemas elétricos

1. Desligue a energia;
2. Proteja-se contra a realimentação do circuito elétrico;
3. Certifique-se da ausência de tensão em todos os cabos e dispositivos;
4. Faça aterramento e curto-circuito das fases; e
5. Cubra ou proteja as partes que estejam próximas e sob tensão.

Autorização de trabalho para trabalhos em eletricidade	⚠ Somente após a execução de todas as cinco regras de segurança (aplicáveis), o local de trabalho poderá ser liberado pelo supervisor para a execução de trabalhos! ⚠ Obter autorização de trabalho!

Figura 410 – Regra n°1



Fonte: EN ISO 07010 - M006.

Regra n° 1 – Desligue a energia

- Por motivos de segurança, interrompa o circuito completamente, por exemplo, removendo os fusíveis ou desconectando os disjuntores.

Desligar o equipamento pode não ser o suficiente! Em alguns sistemas, a tensão ainda pode estar presente em relação ao aterramento.

- Em circuitos com capacitores, certifique-se de que, após o desligamento, o elemento seja descarregado por dispositivos adequados, por exemplo, por meio de resistores integrados. A tensão nos capacitores deve cair para um valor abaixo de 50 V em um minuto.

Figura 411 – Regra n°2



Fonte: EN ISO 07010 – P031.

Regra n° 2– Proteja-se contra a realimentação do circuito

- Evite que o sistema seja reiniciado após a realimentação do circuito elétrico. Isso pode ocorrer, por exemplo, quando alguém conecta uma unidade ou insere um fusível que pode ser retirado intencionalmente ou ocorrer automaticamente;
- Bloqueie e proteja os dispositivos de segurança e/ou os interruptores principais contra a ativação automática acidental usando, por exemplo, um cadeado ou retirando os fusíveis; e
- Coloque um aviso no sistema durante o período de trabalho para evitar o religamento acidental por outras pessoas que não sejam as pessoas qualificadas envolvidas.

Figura 412 – Regra n°3



Fonte: Changan Group Co., Ltd.

Regra n° 3 – Verifique se as linhas e os equipamentos estão desligados

- Determine o status de tensão livre por meio de medição **antes de iniciar o trabalho**; e
- Use um testador de tensão bipolar ou um multímetro. Os testadores de tensão unipolares não fornecem resultados confiáveis.

Figura 413 – Regra n°4



Fonte: EN ISO 07010 - W012.

Regra n° 4 – Fases de aterramento e de curto-circuito

- Se a tensão for **igual ou superior a 1000 V**, o cabo terra deve ser aterrado e conectado às partes ativas a serem curto-circuitadas; e
- Determine o status de tensão livre novamente.

Em sistemas com tensões inferiores a 1000 V, isso **não** é necessário. Nesse caso, as regras de 1 a 3 são suficientes.

Figura 414 – Regra n°5



Fonte: Huethig GmbH.

Regra n° 5 – Cubra divisórias ou desligue as seções de linha adjacentes

- No caso de instalações **abaixo de 1000 V**, cubra as partes ativas com capas, lâminas, placas ou moldes isolantes; e
- No caso de tensão **acima de 1000 V** são necessárias placas de segurança, cordas de segurança e placas de advertência adicionais. Nesse caso, o corpo também deve ser protegido separadamente, por exemplo, por meio de um capacete de proteção com proteção facial e luvas altamente isolantes.

O sistema volta a ser operacional com a reversão das ações das regras de segurança mencionadas acima.

1. Remova as coberturas de divisórias ou as telas de seções de linha adjacentes;
2. Remova as linhas de curto-circuito e, em seguida, a linha de aterramento;
3. Verifique se todas as linhas estão inativas;
4. Remova o cadeado e/ou instale/ative os fusíveis; e
5. Ligue o sistema.

Reinicializando em ordem inversa

⚠ As medidas de segurança só poderão ser canceladas depois que:

- Todos os envolvidos no trabalho tenham informado a conclusão do trabalho; e
- O local de trabalho tiver sido devidamente desocupado, por exemplo, depois que ferramentas, equipamentos e escadas foram recolhidos.

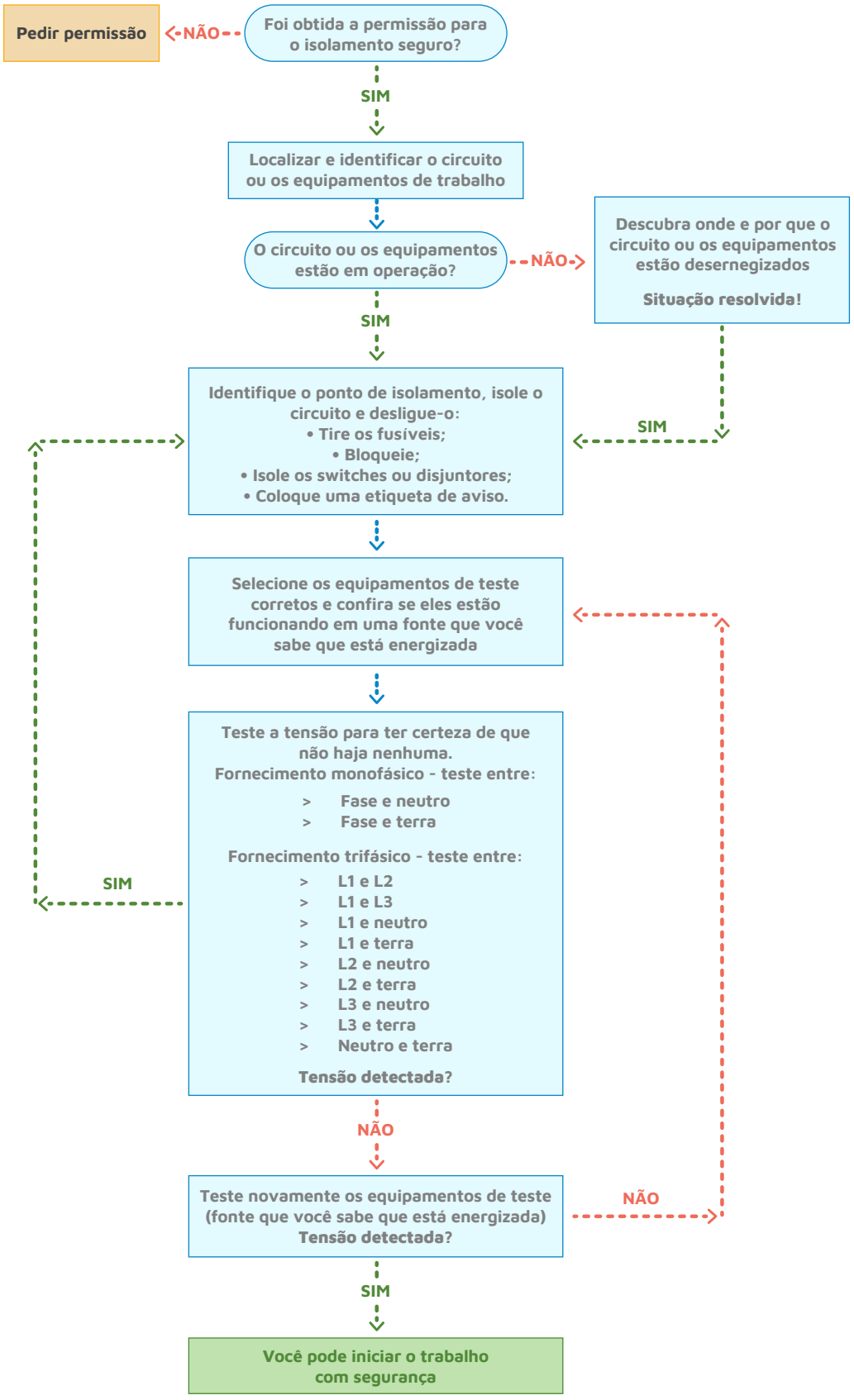
⚠ O sistema só poderá ser reiniciado depois que:

- Todas as pessoas deixaram a área de perigo; e
- Houver aprovação pelo supervisor.

10.8 Precauções de segurança ao seguir o "Fluxograma de Isolamento Elétrico Seguro"

O isolamento do circuito elétrico deve ser realizado seguindo as etapas do fluxo de trabalho Figura 415. Certifique-se de usar somente ferramentas elétricas apropriadas e classificadas para altas tensões (consulte também Capítulo 5.9).

Figura 415 – Fluxograma de isolamento elétrico seguro a ser usado como guia das etapas de trabalho



Fonte: Rolf Huehren.

10.9 **Precauções de segurança ao manusear seções de instalações com circuitos energizados, ferramentas elétricas, conexões de linha e de plugue, máquinas e equipamentos**

Ao trabalhar em uma parte de uma instalação, às vezes não é possível desativar as peças ativas adjacentes. Essas peças podem também não estar protegidas contra contato direto. Nesse caso, deve-se tomar cuidado especial para selecionar as ferramentas adequadas e trabalhar a uma distância segura.

Distância de proteção em relação a partes vivas	A distância de proteção para sistemas com tensão nominal de rede de até 1000 V é de **0,5 m.**

Pessoas que não sejam treinadas como eletricistas qualificados ou pessoas com instruções da área elétrica somente podem trabalhar nas proximidades de seções de instalações com circuitos energizados sob a supervisão de um especialista.

10.9.1 **Precauções de segurança ao trabalhar em seções de instalações com circuitos energizados**

Trabalhar em seções de instalações com circuitos energizados exige um alto nível de conhecimento, habilidades e responsabilidade, tanto do trabalhador quanto do supervisor:

- ⚠ Use sempre equipamentos de proteção individual (EPI), ferramentas, dispositivos e instrumentos apropriados para o tipo de trabalho, o nível de tensão e as condições do ambiente;
- ⚠ Se for necessário trabalhar em componentes ou seções de circuitos energizados, use sempre ferramentas de segurança isoladas. Elas oferecem maior proteção contra contato com fios energizados e choques elétricos;
- ⚠ Avalie os riscos antes de decidir trabalhar e obtenha a permissão do supervisor (se for o caso); e
- ⚠ Observe apenas as condições de trabalho permitidas em componentes de circuitos energizados, conforme a Tabela 85.

Tabela 85 – Condições de trabalho permitidas em componentes de circuitos energizados

Trabalho em seções de instalações com circuitos energizados – Diferenças	
Até 50 V CA Até 120 V CC	**Eletricistas qualificados, pessoas treinadas em eletricidade (conforme IEC 60364-1 e EN 60204-1) e pessoas leigas em eletrotécnica:** • Todos os trabalhos, desde que não exista perigo, por exemplo, de formação de arco elétrico.
Acima de 50 V CA ou 120 V CC Até 1000 V CA e CC	**Eletricistas qualificados, pessoas treinadas em eletricidade (conforme IEC 60364-1 e EN 60204-1):** • Uso de dispositivos adequados de teste, medição e ajuste, por exemplo, detectores de tensão e ferramentas adequadas para mover peças em bom funcionamento; • Preparar instrumentos e materiais de consumo adequados para limpeza e instalar coberturas e barreiras adequadas; • Remover ou inserir fusíveis sem contato direto, por exemplo, fusíveis NH, com acessórios adequados, se for possível sem perigo; • Aspersão de partes de circuitos energizados durante o combate a incêndios; e • Trabalhar em baterias, tomando as devidas precauções.
	Somente eletricistas qualificados: • Localização de falhas em circuitos auxiliares, por exemplo, rastreamento de sinais, bem como teste funcional de dispositivos e circuitos; e • Outros trabalhos, se houver um motivo evidente e a instrução de uma pessoa responsável.

Fonte: Rolf Huehren.

Ferramentas de segurança com isolamento profissional são identificadas por um símbolo no isolamento (veja Figura 416). O ano de fabricação, a abreviação do tipo e a marca de origem são necessárias como informação adicional.

Figura 416 – Exemplo de alicate de eletricistas (cortador diagonal) testado em 1000 Volts com pictograma



Fonte: Knipex.

10.9.2 Precauções de segurança ao trabalhar com ferramentas elétricas, conexões de linha e de plugue, máquinas e equipamentos

Manusear ferramentas elétricas pode ser perigoso. Há riscos causados pela corrente elétrica, mas também riscos que ocorrem ao manusear ferramentas e equipamentos junto com fluidos de trabalho, como fluidos refrigerantes (especialmente substâncias inflamáveis e tóxicas), lubrificantes e outros meios de transferência de calor e materiais de construção.

Regras de segurança e prevenção de acidentes para o uso de ferramentas elétricas:

- Mantenha as ferramentas em boas condições com manutenção regular;
- Use as ferramentas corretas para o serviço;
- Verifique cada ferramenta quanto a danos antes do uso;
- Opere as ferramentas de acordo com as instruções do fabricante; e
- Providencie e use corretamente o EPI adequado.

A seleção incorreta de ferramentas resulta, por exemplo, em danos aos elementos e às ferramentas de conexão, portanto, há risco significativo de lesões, por exemplo, ao escorregar com a ferramenta durante o manuseio. As ferramentas elétricas manuais são uma causa comum de acidentes, requerendo cuidados especiais. Ferramentas elétricas devem ser inspecionadas visualmente quanto a danos externos (por exemplo, carcaça quebrada) e sua integridade deve ser testada regularmente antes do uso.

- A manutenção preventiva também deve ser realizada regularmente nas ferramentas manuais de uso diário, como segue:
- Ferramentas de perfuração e corte devem ser mantidas sempre afiadas;
- Formões não devem apresentar rebarbas;
- O martelo deve estar firmemente preso ao cabo; e
- Chaves de boca e de fenda devem ser adequadas para as porcas e os parafusos escolhidos.

O maquinário deve ser selecionado de acordo com a demanda específica de trabalho; a aprovação de qualquer dispositivo deve ser cuidadosamente examinada (unidade de recolhimento, cilindro de recolhimento, bomba de vácuo, etc.). Especificamente, o uso de equipamentos para manuseio de fluido refrigerante inflamável deve ser aprovado e cuidadosamente mantido.

Máquinas, ferramentas e equipamentos na oficina ou no veículo de serviço devem ser armazenados com cuidado e bem organizados. Isso facilita a localização e evita danos.



Componentes de sistemas de refrigeração, como peças funcionais, tubulação de transferência de fluido refrigerante inflamável, filtros, peneiras, etc., não devem ser removidos do sistema (por exemplo, durante reparos) com uso de ferramentas elétricas (cortadores, furadeiras, esmerilhadeiras, serras, etc.) ou por brasagem (trabalho a quente), se não for seguro fazê-lo (necessita emissão de permissão para trabalho)!

Sempre que possível, corte os componentes com um cortador de tubos ou equipamento semelhante (veja Figura 417). Caso contrário, use a inertização. Acidentes fatais (veja Figura 418), causando morte, danos físicos e/ou a destruição de bens materiais podem ser o resultado do não cumprimento deste procedimento de segurança.

Figura 417 – Exemplo de cortador de tubos





Fonte: Bau- Handwerkerbedarf GmbH.

Inertização

O sistema, a aplicação, ou parte da instalação a ser trabalhada com ferramentas que soltam faíscas, como esmerilhadeiras, deve primeiro ser evacuado e depois limpado intensamente com nitrogênio seco e sem oxigênio (OFDN), para remover o conteúdo residual de fluido refrigerante inflamável, tornando-o inerte.

Figura 418 – Acidente com sistema de refrigeração de hidrocarboneto R-290 (incêndio e explosão), por erro humano fatal, devido ao uso incorreto de ferramentas elétricas, um esmeril de corte (trabalhos a quente em tubulação de cobre sem inertização)



Fonte: HEAT GmbH.

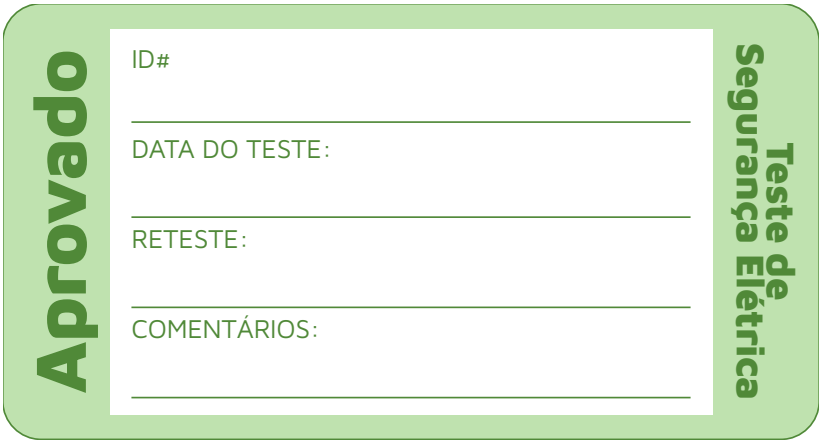
⚠Situações perigosas também podem ser ocasionadas por:

- Dispositivos tipo plug-in com defeito;
- Reparo inadequado ou incompleto;
- Peças quebradas ou faltando na carcaça ou na tampa;
- Fios individuais expostos nas entradas de cabos, por exemplo, na proteção contra dobras ou nos prensa-cabos;
- Isolamento do cabo de conexão desgastado, poroso, dobrado ou cortado; e
- Falta de aterramento.

10.9.3 Testes regulares de segurança de equipamentos elétricos por pessoa competente

É necessário que os equipamentos elétricos sejam testados regularmente por um eletricista qualificado. Após a inspeção, o dispositivo recebe um adesivo de teste com a data do teste e a data da próxima inspeção (veja a Figura 419).

Figura 419 – Adesivo de teste elétrico



Fonte: HEAT GmbH.

Os equipamentos devem ser verificados regularmente e, no mínimo, uma vez por ano. As exigências nacionais devem ser observadas. É responsabilidade do empregador certificar-se de que todas as ferramentas e equipamentos sejam verificados de acordo com as melhores práticas eletrotécnicas. Recomenda-se manter um livro de registros das inspeções como prova.

10.10 Classes e classificações de proteção elétrica

O termo "classe de proteção elétrica" muitas vezes é usado para descrever dois sistemas diferentes.

1. O setor de fabricação de aparelhos elétricos definiu quatro classes de proteção IEC (IEC 61140: Proteção contra choque elétrico – aspectos comuns) para diferenciar os requisitos da conexão de aterramento de proteção de dispositivos contra tensões com riscos de contato.
2. A proteção contra ingresso (IP) é definida por outra norma IEC (IEC 60529: Graus de proteção providos por invólucros e descreve o grau de proteção da carcaça ou caixa contra contato, entrada de projetos estranhos e água.

Normas IEC relevantes:
IEC 61140: Proteção contra choque elétrico – aspectos comuns em instalações e equipamentos elétricos
IEC 60529: Graus de proteção providos por invólucros
ISO 7000/IEC 60417: Símbolos gráficos usados em equipamentos

10.10.1 Classes de proteção contra choque elétrico

Na engenharia elétrica, as classes de proteção são usadas para classificar e rotular equipamentos elétricos, como dispositivos e componentes de instalação, com relação às medidas de segurança existentes e para evitar choques elétricos ou mau funcionamento do sistema de refrigeração, o que pode levar à geração de faíscas. Há quatro classes de proteção para equipamentos elétricos, sendo as classes de proteção I – III as mais comuns.

Em geral, os aparelhos devem estar com seu chassi conectado ao aterramento.

10.10.2 **Classe de proteção "0" – sem proteção especial**

Além do isolamento básico, não há nenhuma proteção especial contra choque elétrico. Não é possível conectar (o equipamento) ao sistema condutor do aterramento de proteção. A proteção deve ser garantida pelo entorno do equipamento.

Não há símbolo para a proteção de classe 0, não é feita uma identificação. Em muitos países, como Alemanha, Áustria, Reino Unido e Nova Zelândia, ela é proibida.

No entanto, equipamentos dessa classe "0" ainda são comuns em muitos países, independentemente de serem oficialmente permitidos ou não.

⚠ Equipamentos que não são aterrados profissionalmente são perigosos quando usados com fluido refrigerante inflamável!

10.10.3 **Classe de proteção "I" – Aterramento de proteção**

Na classe de proteção "I", dispositivos ou aparelhos, as partes condutoras da carcaça dos equipamentos são conectadas ao aterramento elétrico (também chamado de terra elétrico) por um condutor de aterramento separado.

Em geral, as partes metálicas e condutoras expostas em uma casa são conectadas umas às outras para ficarem no potencial de aterramento. Em caso de falha, uma pessoa que vai tocar essas partes estará então protegida contra o choque elétrico.

Na maioria dos países, o condutor de aterramento é verde/amarelo; nos Estados Unidos, no Canadá e no Japão, é somente verde.

Os dispositivos móveis da classe de proteção "I" têm uma conexão de plugue com contato para o condutor de proteção, um plugue com contato de proteção ou um plugue tripolar. A conexão do condutor de proteção é projetada de forma que seja o primeiro contato a ser mantido ao conectar o plugue e o último a ser desconectado em caso de dano (primeiro contato a fazer, último contato a quebrar).

A inserção do cabo de conexão no dispositivo deve ser mecanicamente "destensionada"; quando o cabo for arrancado, o condutor de proteção deve ser rompido por último.

A conexão de aterramento é feita com um cabo de alimentação com fio de 3 condutores, normalmente terminando com um conector CA tripolar, que se conecta a uma tomada CA correspondente. A exigência básica é que nenhuma falha isolada possa resultar na exposição de uma tensão perigosa, que possa causar choque elétrico e que, se ocorrer uma falha, a fonte de alimentação seja desconectada automaticamente (isso, às vezes, é chamado de ADS = desligamento automático da alimentação).

Símbolo do aterramento na classe de proteção "I", para a própria classe de proteção "I" não há símbolo.

Figura 420 – Símbolo do aterramento na classe de proteção "I"



Fonte: EN 60445 (VDE 0197)

10.10.4 **Classe de proteção "0I"**

Na classe de proteção "0I", o chassi é conectado ao aterramento por um terminal separado e não pelo cabo de alimentação. A proteção equivale à da classe "I".

10.10.5 **Classe de proteção "II" – Proteção por isolamento duplo ou reforçado**

O equipamento com classe de proteção "II" tem isolamento reforçado ou duplo no valor da tensão nominal de isolamento entre as partes ativas e tocáveis. Normalmente, elas não estão conectadas ao condutor de proteção. Mesmo que tenham superfícies condutoras de eletricidade, elas são protegidas por um isolamento reforçado ou duplo, que garante proteção completa contra correntes de contato perigosas, mesmo quando o isolamento básico é rompido por uma falha de isolamento. Para a conexão de energia de dispositivos móveis da classe de proteção "II", são usados cabos e plugues de energia que não estão conectados ao condutor de aterramento de proteção.

Símbolo para o isolamento duplo. Aparelhos também podem ser rotulados como classe "II"	**Figura 421 –** Símbolo para o isolamento duplo  Fonte: EN 60445 (VDE 0197).

Fontes de alimentação CA/CC isoladas, como detectores de vazamentos e carregadores de celulares, são normalmente designadas como classe "II".

10.10.6 **Classe de proteção "III" – Tensão de segurança extrabaixa**

Equipamentos da classe "III" só podem ser conectados a fontes de alimentação de tensão de segurança extrabaixa (SELV), incluindo:

- Transformador de segurança conforme IEC 61558-2-6;
- Fonte de energia eletroquímica (bateria, acumulador).

O dispositivo é operado com uma tensão que corresponde ao máximo da tensão de contato permitida. As tensões de contato máximas são:

Tabela 86 – Tensão de segurança extrabaixa

Normal	CC: U ≤ 120 V = CA: U ≤ 50 V ~
Em estábulos / criação de animais	CC: U ≤ 60 V = CA: U ≤ 25 V ~
Para brinquedos infantis	U ≤ 25,0 V
Em ambientes úmidos	U ≤ 12,0 V
Em tecnologia médica	U ≤ 6,0 V

Fonte: Rolf Huehren.

⚠O equipamento da classe de proteção "III" é comumente usado para a aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis.

Símbolo para a classe de proteção III	**Figura 422 –** Símbolo para a classe de proteção III  Fonte: EN 60445 (VDE 0197).

10.10.7 **Proteção contra Ingresso (IP)**

Em aplicações no ramo de AVAC-R, os equipamentos elétricos e eletrônicos devem operar com segurança sob condições ambientais adversas por muitos anos. Para garantir essa condição, um ponto importante é evitar a entrada de corpos estranhos e o estresse mecânico causado pelo impacto.

A norma permite uma comparação objetiva das características, em vez do uso de termos do marketing como "à prova d'água".

A classificação de proteção IP apresenta 2 números característicos, por exemplo, IP 67, conforme Tabela 87.

Tabela 87 – Classe de proteção IP

IP	Primeiro dígito – entrada de objetos sólidos	Segundo dígito – entrada de líquidos
0	Sem Proteção	
1	Proteção contra objetos estranhos sólidos (diâmetro ≥50 mm)	Proteção contra gotas de água ou de condensação que caem verticalmente
2	Proteção contra objetos estranhos sólidos (diâmetro ≥12,5 mm)	Proteção contra jatos de água de até 15° em ambos os lados da vertical
3	Proteção contra objetos estranhos sólidos (diâmetro ≥2,5 mm)	Proteção contra jatos de água de até 60° em ambos os lados da vertical
4	Proteção contra objetos estranhos sólidos (diâmetro ≥1 mm)	Proteção contra respingos de água de qualquer direção
5	Proteção limitada contra entrada de poeira	Proteção contra jatos de água de baixa pressão contra a carcaça, vindos de qualquer direção
6	Proteção total contra entrada de poeira	Proteção contra jatos de água de alta pressão contra a carcaça, vindos de qualquer direção
7	Não aplicável	Imersão temporária na água (1 m por 30 min)
8	Não aplicável	Proteção contra imersão contínua na água por curto período (2 m por 60 min)
9	Não aplicável	Proteção contra fluxo de água de alta pressão contra a carcaça, vindo de qualquer direção

Fonte: IEC 60529.

⚠ Para o uso com fluido refrigerante inflamável, recomenda-se IP 67 como o mínimo para garantir a estanqueidade do gás.
⚠ IP 67: Proteção contra entrada de poeira e imersão temporária na água.

10.11 **Verificação elétrica de aparelhos e sistemas AVAC-R**

Sistemas e aparelhos elétricos devem ser testados antes do comissionamento, tanto após a instalação quanto após modificação. É algo a ser feito por pessoas com qualificação adequada e com equipamentos e ferramentas aprovadas.

Inspeções elétricas geralmente incluem as seguintes etapas:

- Vistoriar o equipamento e tocar, sacudir ou puxar;
- Verificar a firmeza dos cabos e componentes elétricos;
- Verificar a conexão correta;
- Verificar as dimensões corretas, por exemplo, dos cabos e fusíveis;
- Verificar se os terminais dos cabos estão fixados corretamente; e
- Testar os disjuntores de corrente de falha, as medidas de proteção (como compartimentos e carcaças) e a conexão correta do condutor de proteção.

⚠ Negligência ou falta de cuidado pode representar perigo de vida para todos as pessoas que entrarem em contato com o aparelho ou a instalação e para aqueles que forem trabalhar com estes aparelhos e/ou instalações.

10.11.1 **Instrumentação**

Equipamentos de teste elétrico inadequados podem causar queimaduras graves ou choque elétrico. O arco elétrico ou a descarga elétrica causada pelo uso de sondas de teste inadequadas pode resultar em queimaduras. O contato com sondas de teste inadequadas pode resultar em lesões por choque.

Uma vez formados, os arcos ionizam o ar do entorno e outras descargas podem ocorrer. Rapidamente, toda a área de trabalho pode ser afetada, antes que alguém possa escapar.

Os sistemas em que as tensões estão abaixo de 50 V CA ou 120 V CC (tensão extrabaixa) reduzem o risco de choque elétrico a um nível baixo. Se os níveis de energia do sistema forem baixos, é improvável que o arco elétrico cause queimaduras. Recomenda-se que, quando for possível, os testes sejam realizados com tensões reduzidas para reduzir o risco de lesões.

Os equipamentos devem ser montados com terminais isolados e protegidos de forma adequada para minimizar o risco de curtos-circuitos, que podem causar perigo.

Use sempre sondas de teste, condutos, lâmpadas, indicadores de tensão e multímetros adequados, pois equipamentos inadequados podem gerar arcos elétricos devido a:

- Sondas de teste isoladas de forma não adequada (normalmente apresentando comprimento excessivo de metal nu na extremidade do contato) que acidentalmente fazem a ponte entre um condutor energizado e uma estrutura metálica aterrada adjacente; ou
- Consumo excessivo de corrente por sondas de teste, condutos e instrumentos de medição. É o que pode ocorrer quando um multímetro é configurado para a função errada, por exemplo, configurado para medir uma faixa de corrente ou de resistência ao medir tensão.

10.11.2 **Inspeção geral**

Primeiro, é realizada uma inspeção visual geral:

1. O equipamento precisa ser protegido contra influências externas? Como isso está sendo efetuado?

Exemplos de influências externas são outros sistemas elétricos que causam vibrações ou possível contato com água. A fixação do equipamento, caixas de proteção ou encontrar um outro espaço podem ser soluções para excluir os riscos.

2. Os dispositivos de proteção contra sobrecorrente, como fusíveis e disjuntores em miniatura (MCBs), estão dimensionados de acordo com o ponto mais frágil do circuito?

- Exemplo: Cabo 1,5 mm² = 18 A; Soquete = 16 A e Interruptor = 10A;
- Conclusão: Escolha um fusível de 10 A.

3. Todos os circuitos individuais estão identificados corretamente?

Os circuitos principais, os circuitos de controle e os circuitos com baixa tensão devem ser identificados claramente, por exemplo, com cabos de cores diferentes.

4. Os diagramas de fiação estão disponíveis (se for o caso)?

A documentação dos diagramas de circuitos está localizada na própria máquina ou é fornecida separadamente. É necessário verificar se o diagrama pertence à instalação.

10.11.3 **Ligação equipotencial principal**

A ligação equipotencial evita diferenças de potencial ou tensões, que representem risco de vida, entre as peças condutoras e o aterramento de proteção, no caso de uma falha de isolamento. Isso quer dizer que todos os materiais condutivos estão conectados entre si e ao fio terra. Os seguintes sistemas prediais e seus materiais condutivos estão diretamente integrados:

- Redes de telecomunicações;
- Sistema de dados;
- Cabos de energia elétrica;
- Tubulação interna de gás;
- Tubulação metálica de abastecimento de água;
- Tubulação metálica de drenagem;
- Sistema de calefação central;
- Sistema central de tubulação de água refrigerada;
- Eletrodos de aterramento da fundação ou eletrodos de aterramento de proteção contra raios;
- Condutor de aterramento para antenas (se houver);
- Condutor de aterramento para sistemas de telecomunicação (se houver);
- Condutores de proteção da instalação elétrica de acordo com a série VED0100-100:2009-06 (condutor PEN para sistemas TN e condutores PE para sistemas TT ou sistemas IT);

- Condutor da ligação equipotencial principal;
- Revestimentos metálicos de condutores elétricos e eletrônicos;
- Bainhas metálicas de cabos de corrente de alta tensão de até 1000 V; e
- Partes condutoras da estrutura da edificação (por exemplo, trilhos de elevador, estrutura de aço, dutos de ventilação e de ar condicionado).

Instalações com proteção contra corrosão catódica são integradas indiretamente através de distâncias explosivas.

O condutor de aterramento deve apresentar as seguintes condições:

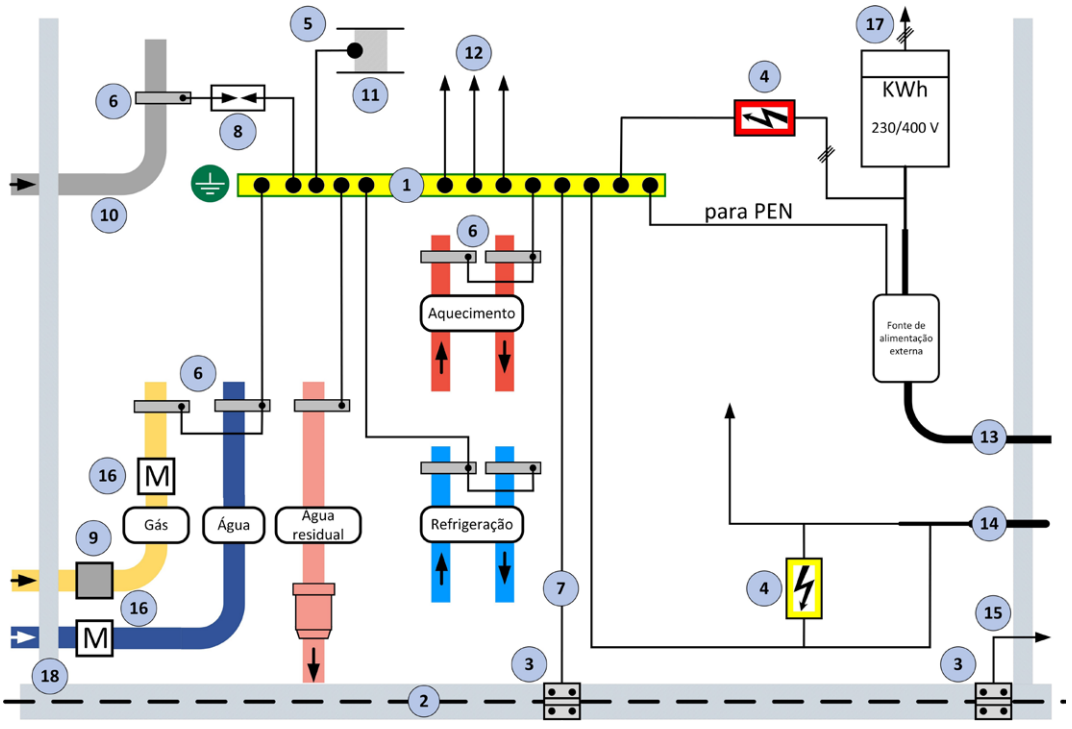
- Resistir a todas as influências externas durante a operação normal;
- Não gerar risco de incêndio;
- Não influenciar a operação de outros equipamentos;
- Ser o mais curto possível, sem curvas acentuadas, arcos e círculos desnecessários;
- As partes na superfície devem ser controláveis; e
- As partes externas devem ser adequadamente protegidas, por exemplo, com painéis ou inseridas em tubos (por exemplo, em locais onde possam ser danificadas).

Elementos de construção condutivos de estruturas metálicas podem ser usados como condutores de aterramento aleatórios. Eles constituem um complexo de conexão contínua, como, por exemplo, suportes de cabos, estruturas de cabos, pilares, trilhos de guindaste, postes de aço, reforço de colunas feitas de concreto extrudado, conduítes de metal, dutos e carcaças de máquinas.

As conexões dos condutores de aterramento e dos eletrodos de aterramento devem ser realizadas corretamente e dimensionadas de forma seletiva. Ao usar braçadeiras, o princípio implica que a braçadeira usada não deve danificar mecanicamente o eletrodo de aterramento (por exemplo, conduíte) nem o condutor de aterramento.

O princípio da ligação equipotencial, incluindo a proteção contra raios em uma edificação e seus elementos genéricos, é apresentado na Figura 423.

Figura 423 – Exemplo de ligação equipotencial



Continuação – Legenda da Figura 423 - Exemplo de ligação equipotencial

1	Ligação equipotencial / terminal principal de aterramento	**7**	Terminal olhal de aterramento da fundação	**13**	Alimentação elétrica & rede de distribuição
2	Eletrodo de aterramento da fundação e do para-raios	**8**	Distância explosiva	**14**	Sistema de TI
3	Conector do eletrodo de aterramento da fundação e do para-raios	**9**	Elemento isolante	**15**	Terminal olhal para proteção externa contra raios
4	Para-raios	**10**	Instalação enterrada, isolada operacionalmente (por exemplo, instalação de tanque com proteção catódica)	**16**	Medidor
5	Terminal	**11**	Elemento metálico que atravessa a edificação (por exemplo, armação, trilhos de elevador, etc.)	**17**	Instalação elétrica da edificação
6	Braçadeira da tubulação	**12**	Antena Sistema de sinalização remota Ligação equipotencial do banheiro	**18**	Fundação e estrutura da edificação

Fonte: Rolf Huehren.

10.11.4 **Medição da resistência do isolamento em sistemas elétricos**

O isolamento sofre desgaste com o tempo, por estresse térmico, químico e mecânico. A deterioração do isolamento é uma das principais causas de falhas em sistemas elétricos. Por essa razão, a resistência do isolamento deve ser medida regularmente. Isso é feito medindo-se o isolamento entre os condutores ativos e o condutor de proteção. As medições da resistência de isolamento podem ser feitas para aparelhos e componentes refrigerados específicos, como compressores, ventiladores e aquecedores.

⚠ Certifique-se de que não haja fluidos refrigerantes inflamáveis ou outras substâncias inflamáveis no ambiente da medição. Se necessário, inertize o equipamento e certifique-se que não ficaram resíduos; e

⚠ Em espaços onde possam ocorrer atmosferas explosivas, todos os condutores são medidos uns contra os outros.

10.11.4.1 **Passo a passo de acompanhamento da medição de resistência do isolamento**

- Conecte dois condutos na barreira de isolamento que deseja testar;
- Aplique uma tensão maior que a tensão de operação;

- Use uma CC regulada e estabilizada, pois a CA pode produzir reatância capacitiva ou indutiva, falsificando o resultado da medição.;
- Desconecte os dispositivos que possam ser danificados pela tensão de medição ou falsificar a medição (por exemplo, transformadores);
- Mantenha todo o sistema sem tensão;
- Se possível/necessário, ligue os fusíveis e interruptores para medir todo o sistema em um sistema sem tensão; e
- Meça o fluxo de corrente de fuga e calcule uma medida de resistência (em megaohms).

10.11.4.2 **Medição da impedância do loop**

Esse teste é usado para verificar se os fusíveis ou disjuntores funcionam com rapidez suficiente para evitar incêndios no caso de uma falha na instalação.

- A impedância do loop é a soma de todas as resistências da rede de distribuição e dos condutores no circuito final;
- A resistência deve ser baixa o suficiente para permitir a passagem de corrente suficiente para disparar os fusíveis, em caso de curto-circuito. Na prática, a impedância do loop é de no máximo 1 Ω; e
- A impedância de loop também pode ser maior que 1Ω, desde que a corrente de curto-circuito continue com força suficiente para disparar o protetor de circuito.

Geralmente, a impedância é determinada com dispositivos de medição multifuncionais (por exemplo, Fluke), que indicam a corrente de curto-circuito e a impedância do loop diretamente.

10.11.4.3 **Medindo as tensões operacionais**

Meça todas as tensões necessárias após ligar o sistema para garantir uma operação segura. Use um testador de tensão bipolar ou um multímetro.

Por exemplo, nas redes domésticas comuns na UE:

- Condutor externo contra condutor externo 400 V;
- Condutor externo contra neutro 230 V;
- Condutor externo contra condutor de proteção 230 V; e
- Condutor neutro contra condutor de proteção 0 V.

10.11.5 **O multímetro**

O multímetro é um instrumento de medição amplamente usado. Esse instrumento às vezes é chamado de AVO porque pode medir ampères, volts e ohms.

A depender da finalidade para a qual o medidor é usado, o multímetro apresenta características muito diferentes e é preciso ter cuidado em qualquer função para a qual ele é empregado. Portanto, obviamente é necessário cautela ao usar um multímetro.

Há muitas marcas e modelos diferentes de multímetros, mas geralmente eles são divididos em duas categorias: os analógicos e os digitais.

Figura 424 – Multímetro digital típico



Fonte: Pixabay.

Figura 425 – Exemplo de um multímetro analógico típico



Fonte: Pixabay.

Os medidores analógicos têm um ponteiro que se movimenta em relação a uma escala, que deve ser interpretada pelo usuário. Ou seja, é preciso atenção ao ler as escalas.

Medidores digitais mostram o resultado em números. Preste atenção ao lugar em que a vírgula decimal é colocada!

Seleção da função e da faixa correta

A chave seletora permite que o usuário escolha a unidade elétrica e a faixa que deseja medir:

- Tensão CC (V);
- Corrente CC (A);
- Tensão CA (V);
- Corrente CA (A); e
- Resistência (Ω).

Preparo do instrumento

Antes do uso, verifique:

- Se o medidor está calibrado (lendo a etiqueta de calibração anexada ao instrumento);
- A condição da bateria; e
- Os cabos de teste do instrumento, para assegurar que estão em boas condições e que são adequados para a finalidade.

Calibração correta

Ajuste a chave de faixa para o valor mais baixo de tensão CC e junte os cabos de teste um contra o outro; o ponteiro deve indicar zero. Se o valor não for zero, a precisão das leituras será afetada. Para ajustar a leitura para zero, o parafuso de ajuste deve ser girado até que o zero seja obtido.

Condição da bateria e continuidade dos cabos de teste

Para testar a bateria, selecione a faixa inferior de ohms e encoste as sondas de teste uma na outra. Se a bateria estiver carregada e os cabos de teste estiverem em condição satisfatória, você poderá zerar a leitura na escala de ohms usando o ajustador. A ausência de movimento do ponteiro indica que os cabos de teste

ou as conexões estão com defeito. Se for detectado movimento, mas você não conseguir zerar o ponteiro, a bateria pode estar com defeito.

Multímetro digital

Muitas vezes, os multímetros digitais têm "variação automática". Isso quer dizer que, para medir a resistência, você apenas precisa selecionar a faixa de ohms (Ω) e o instrumentar medirá de zero até seu valor máximo (por exemplo. 1 mega ohms (1 MΩ)).

Sempre verifique a resistência dos cabos de teste primeiro, pois esse valor terá que ser descontado de qualquer leitura de resistência feita.

Sempre verifique se:

- O medidor está em bom estado e calibrado;
- Os cabos de teste estão em boas condições e a continuidade está correta; e se
- A bateria está em boas condições.

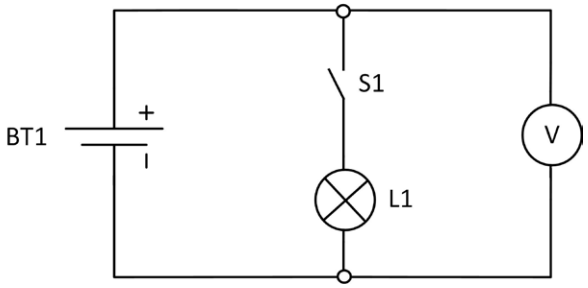
Antes da medição de tensão, resistência e valores baixos de corrente, sempre selecione a função e a faixa corretas.

Se não tiver certeza de qual faixa selecionar, comece com a faixa mais alta e mude progressivamente para uma faixa mais baixa para obter uma leitura razoável e evitar sobrecarga.

10.11.5.1 Medição de tensão

Ao medir a tensão, os cabos do medidor são colocados em ambos os lados do componente para determinar a diferença de potencial entre estes componentes.

Figura 426 – Usando um multímetro para medir tensão (diferença de potencial)



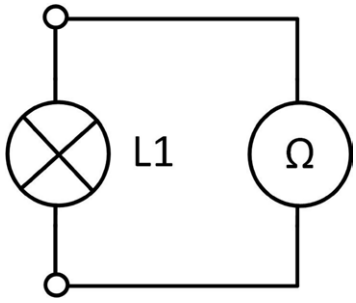
Fonte: HEAT GmbH.

Todas as medidas de segurança devem ser observadas antes de medir a tensão. Atividade de alto risco.

10.11.5.2 Medição de resistência

Para medir a resistência de um componente, os cabos do multímetro são colocados em ambos os lados do componente, como na Figura 426.

Figura 427 – Usando um ohmímetro para medir a resistência



Fonte: HEAT GmbH.

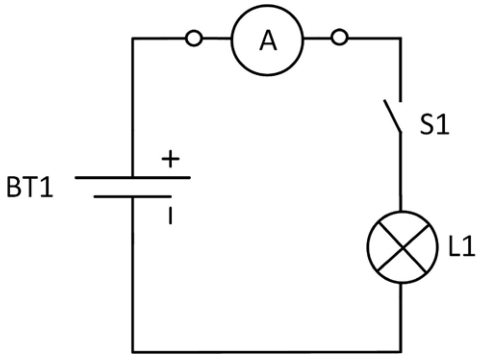
Ao usar um multímetro para medir a resistência, lembre o seguinte, de modo a obter leituras precisas e evitar danos no medidor:

- Nunca conecte o medidor no circuito sob tensão ou pelo qual passa corrente, e
- Sempre se certifique de que o componente ou circuito que você está verificando encontra-se isolado de quaisquer outros componentes ou circuitos.

10.11.5.3 **Medição de corrente**

Ao medir a corrente, os cabos do medidor devem ser colocados no circuito para que seja possível medir a corrente que passa pelo componente, como na Figura 428.

Figura 428 – Usando um multímetro para medir corrente



Fonte: HEAT GmbH.

⚠Todas as medidas de segurança devem ser observadas antes de medir a corrente. Os cabos e terminais do entorno estarão energizados. É uma atividade de alto risco!

Esse método só é adequado para medir pequenas correntes, pois é limitado pela capacidade de condução de corrente do medidor e dos cabos de teste associados. Por isso, esse método de medição de corrente raramente é usado.

A maioria das medições de corrente será feita com o uso de um alicate amperímetro (veja a Figura 429), em que o alicate do medidor é colocado ao redor do fio energizado que fornece (somente) a corrente ao componente. Quando passa mais corrente pelo fio energizado, um campo magnético mais forte é gerado ao redor desse fio. A força do campo magnético é medida pela parte do alicate do medidor e convertida em uma leitura de corrente que é exibida na tela do medidor.

Figura 429 – Usando um alicate amperímetro para medir corrente



Fonte: Fluke.

10.11.5.4 **Segurança do instrumento**

- ⚠ Certifique-se sempre de que o instrumento esteja configurado corretamente para a função e a faixa necessárias;
- ⚠ Ao medir tensão, use cabos de teste com fusível;
- ⚠ Tenha muito cuidado ao medir tensões maiores que 50 V;
- ⚠ Para medir a resistência ou se estiver usando uma função de teste de vibrador/diodo, o circuito ou o equipamento sob teste deve ser desenergizado;
- ⚠ Não use o instrumento em tensões ou correntes que excedam a capacidade do instrumento; e
- ⚠ Os cabos de teste do instrumento devem estar em boas condições e ser adequados para a finalidade, conforme a norma EN 61010-031.

10.11.5.5 **Testes em sistemas de proteção**

Os sistemas de proteção e alarme, como RCDs, monitores de isolamento e dispositivos de parada de emergência, devem ser testados regularmente para garantir que funcionem corretamente.

Exemplos desses testes são:

- Operação dos botões de teste em RCDs e dispositivos de monitoramento de isolamento;
- Comprovação da função dos dispositivos de parada de emergência (usando o botão de teste); e
- Verificação do funcionamento das unidades de sinalização.

Figura 430 – Botão de teste em um dispositivo RCD



Fonte: Wylex.

Ao pressionar o botão de teste de um dispositivo RCD, apenas a função do próprio dispositivo é testada. A função da medida de proteção como um todo e sua eficácia não podem ser comprovadas dessa maneira. As medições são absolutamente necessárias para esse fim!

10.12 Cabos e condutores flexíveis

Para qualquer seleção específica de material de instalação, requisitos de instalação e especificações de aplicação, as normas nacionais devem ser seguidas. Essas normas nacionais podem diferir do conteúdo técnico descrito a seguir.

10.12.1 Instalação fixa de cabos e conexões à rede pública de eletricidade

Somente eletricistas certificados e registrados podem instalar equipamentos elétricos;

Um profissional qualificado para AVAC-R normalmente não tem a qualificação para instalar cabos em um sistema eletrotécnico. No entanto, ele pode, se passou por treinamento adequado, colocar fios em aparelhos de AVAC-R, de acordo com as normas e os regulamentos nacionais.

Como regra geral, a instalação de cabos está sempre sujeita a normas e regulamentos nacionais. As normas relativas à resistência dos cabos, sua proteção e fixação devem ser observadas.

Existe uma grande variedade de cabos e condutores flexíveis disponíveis. A Tabela 88 apresenta vários fatores que levam à seleção correta de cabos e condutores flexíveis para uma situação específica.

Tabela 88 – Fatores para a seleção de cabos

Fatores	Resultado da seleção
Local de instalação? Dentro ou fora da edificação Conforme regras de segurança para esta instalação Instalações fixas ou flexíveis	Tipo de cabo
Qual equipamento deve ser alimentado com eletricidade? Tipo de circuito elétrico? Monofásico, trifásico, com ou sem condutor neutro	Número de fios

Continuação – Tabela 88 – Fatores para a seleção de cabos

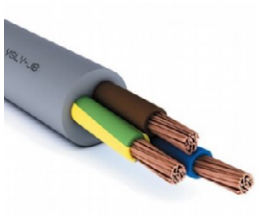
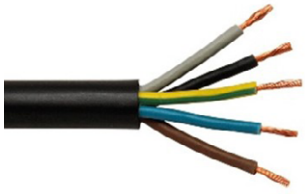
Diâmetro mínimo do condutor conforme requisitos das normas Capacidade mínima de carga de corrente conforme requisitos das normas Proteção necessária para a operação do equipamento a ser alimentado Capacidade de carga de corrente para prevenir incêndios Condições das medidas de proteção para interromper o circuito Queda de tensão	Diâmetro do condutor
Tipos de instalações Distâncias máximas de montagem Raio máximo de curvatura Alívio de tensão	Distância entre os pontos de fixação

Fonte: Rolf Huehren.

10.12.2 **Sistema harmonizado CENELEC na Europa**

Os cabos elétricos foram harmonizados e padronizados na Europa pelo CENELEC em 1976. A rotulagem de cabos elétricos fornece informação sobre a tensão permitida e a estrutura do cabo.

As aplicações de cabos recomendadas como exemplo (também para uso em instalações AVAC-R), como definido nos padrões de harmonização, são as seguintes:

Figura 431 – Exemplo de cabo YSLY-JB  Fonte: La Triveneta Cavi.	Cabo de PVC (YSLY-JB) De uso universal: Cabo flexível de energia, cabo de controle de processos e instrumentação para aplicações industriais e engenharia mecânica para aplicações internas. Para instalação em ambientes secos e úmidos. O cabo é resistente aos produtos químicos mais comuns, a óleo e graxa. Não adequado para movimento constante. Muito comum em instalações de AVAC-R.
Figura 432 – Exemplo de cabo H=5RR-F  Fonte: Foerch.	Cabo de borracha (H05RR-F / H07RN-F), Para uso quando o cabo é submetido a estresse mecânico em áreas secas ou úmidas; Pode ser usado como cabo de alimentação para motores portáteis, aparelhos e eletrodomésticos, ferramentas elétricas e equipamentos agrícolas e aquáticos; Pode ser instalado sobre o reboco ou diretamente em partes estruturais de maquinário pesado; e Uso em AVAC-R.
Figura 433 – Exemplo de cabo H=5RR-F  Fonte: Zhengzhou Jinyuan Wire and Cable Co., Ltd.	Cabo de PVC (H05VV-F) Para uso em escritórios e locais domésticos. Geralmente usado para eletrodomésticos, como máquinas de lavar e geladeiras; Permitido para aplicações de cozinha e aquecimento, desde que o cabo não entre em contato com partes quentes e não esteja sujeito a radiação; e Não adequado para uso em área externa e movimento constante.

10.12.3 **Uso da cor do fio**

Na maioria dos cabos e condutos flexíveis, os fios são codificados por cores, conforme Tabela 89.

Tabela 89 – Codificação geral por cores dos fios

Fio	Brasil (conforme ABNT NBR 5410)	Europa, China, Cingapura, Rússia, Ucrânia, Bielorrússia, Cazaquistão e Argentina	EUA, Canadá, América do Sul e Japão e Tailândia	Austrália e Nova Zelândia
Condutores de fase	vermelho, preto, marrom	preto, marrom, cinza	vermelho, preto	vermelho, branco, outras
Neutro	azul-claro	azul	branco	preto, azul
Condutor de aterramento de proteção e condutor de ligação equipotencial de proteção	verde-amarelo, verde	verde-amarelo	verde	verde-amarelo, verde

Fonte: Rolf Huehren.

Se os cabos apresentarem mais de 5 fios, eles geralmente são numerados. Além desses fios numerados, um condutor é de cor verde-amarela. Se condutores neutros forem colocados nessas linhas, esse fio poderá ser usado com qualquer numeração escolhida. Porém, esse fio também deve ser marcado em azul no ponto de fixação, por exemplo, com fita isolante azul, e deve ser identificado como condutor neutro.

10.12.4 **Colocação e fixação de cabos e condutos flexíveis**

As condições de instalação de cabos e as distâncias de fixação para cabos e fios dependem do tipo de material usado. As disposições, os regulamentos e os padrões locais de conexão devem ser observados, especialmente para a instalação de cabos em edificações.

Cabos fixados à superfície devem ser estendidos de forma organizada e fixados em intervalos regulares, de acordo com as instruções do fabricante do cabo (para isso, pode ser necessário consultar o fabricante para obter informações técnicas específicas). Além disso, é recomendado usar fixações que resistam a altas temperaturas.

Cabos móveis devem ser guarnecidos de alívio de tensão diretamente no ponto de inserção. Isso pode ser feito com o prensa-cabo ou no dispositivo ou na máquina.

Os cabos devem ser inseridos em componentes elétricos e máquinas usando prensa-cabos apropriados, que fornecem a proteção IP, a eliminação de vibrações e o alívio de tensão necessários.

Normalmente, são usados cabos flexíveis (resistentes a produtos químicos e óleo) que podem ser colocados e instalados em dutos de cabos específicos, tubos de proteção ou em trilhos de cabos apropriados.

Figura 434 – Exemplo de instalação elétrica para uso em AVAC-R



Fonte: HEAT GmbH.

10.13 Sistemas de entrada de cabos (prensa-cabos)

Prensa-cabos são usados para inserir e guiar cabos elétricos, bem como mangueiras corrugadas e mangueiras pneumáticas em gabinetes de controle, caixas de distribuição, blocos de terminais, máquinas ou veículos.

Os prensa-cabos oferecem um certo grau de proteção contra:

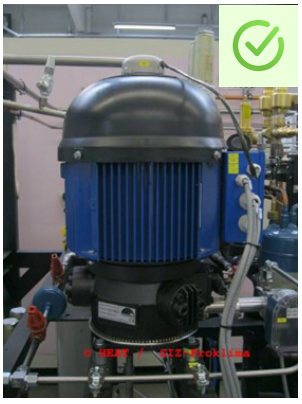
- Entrada de água e poeira;
- Contato;
- Bordas metálicas afiadas; e
- Alívio de tensão quando equipado com uma contraporca.

Figura 435 – Inserção inadequada de mais de um cabo em um terminal de um compressor



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 436 – Colocação e inserção de cabos de última geração nos terminais do compressor



Fonte: HEAT GmbH.

⚠ A classificação de proteção IP e o alívio de tensão são garantidos somente se um cabo for inserido! A passagem de mais de um cabo por um prensa-cabo não é permitida e anula a certificação fornecida (certificação de proteção IP).

Entradas para cabos estão disponíveis em vários tamanhos. Os tamanhos comuns são aqueles que são congruentes com o padrão de perfuração e furo necessários para os pontos de fixação com os dos conectores industriais pesados (10 pinos, 16 pinos ou 24 pinos).

As entradas de cabos redondas geralmente correspondem aos tamanhos dos recortes métricos padrão (M16-M63). Como esses sistemas são usados nas aplicações mais versáteis, é muito importante que atenda a vários padrões. Inclui-se aí, por exemplo, a classificação IP, a homologação UL ou a homologação ATEX para instalações em condições potencialmente explosivas. Esta última é importante em alguns casos para a aplicação de fluido refrigerante inflamável.

A seguir, são apresentados exemplos de sistemas de entrada de cabos (prensa-cabos).

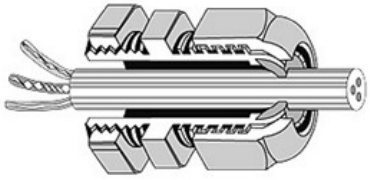
Figura 437 – Prensa-cabo de PVC IP67  Fonte: Superlec.	Prensa-cabo à base de termoplástico, utilizada para uso universal e para segurança funcional na instalação de máquinas e equipamentos. Proteção contra vibração e alívio de tensão e contraporca, faixas de fixação abrangentes e variáveis. Normalmente é a mais usada e recomendada para AVAC-R. **IP67 - 5, testado conforme EN 60529** - Indicada para instalações em ambiente externo, sem proteção, conforme DIN VDE 0100 Parte 737.
Figura 438 – Desenho em corte do prensa-cabo (IP67)  Fonte: Hensel Electric.	Desenho (corte lateral) de um prensa-cabo IP67 com proteção contra vibração, alívio de tensão e contraporca (exemplo)
Figura 439 – Prensa-cabos de latão niquelado IP68  Fonte: Bossard.	Prensa-cabo de latão niquelado, para uso universal e para segurança funcional na instalação de máquinas e equipamentos. Proteção contra vibração e alívio de tensão e contraporca, faixas de fixação abrangentes e variáveis. Recomendado para AVAC-R. **IP 68 – 10 / 30 min para M12x1,5 a M50x1,5 conforme EN 60529.** Sem entrada de poeira, proteção total contra contato físico, proteção contra os efeitos da imersão continuada em água. Indicado para instalações em ambiente externo, sem proteção, conforme DIN VDE 0100 Parte 737.

Figura 440 – Prensa-cabos ATEX para uso em zonas inflamáveis  Fonte: ABB.	ATEX plus prensa-cabo de plástico métrico com alto grau de proteção e inserção de vedação redutora, à prova de explosão. Proteção contra vibração e alívio de tensão e contraporca, faixas de fixação abrangentes e variáveis. Recomendado para AVAC-R e onde a regulamentação ATEX deve ser atendida. **Certificações: CE 0637 Ex II 2G Ex eb IIC Ex II 1D Ex ta IIIC IECEx IBE 13.0027X.** Indicado para instalações em ambiente externo, sem proteção, conforme DIN VDE 0100 Parte 737.
Figura 441 – Prensa-cabos simples IP54  Fonte: Spelsberg.	Prensa-cabos à base de termoplástico para uso universal e faixas de fixação abrangentes e variáveis. **Sem alívio de tensão** e proteção limitada contra vibrações. Mais usado para instalações elétricas prediais, uso limitado/restrito para AVAC-R **IP54, testado conforme EN 60529.** Proteção contra poeira, proteção total contra contato físico, proteção contra água borrifada de todas as direções, entrada limitada permitida.
Figura 442 – Conector escalonado para cabos IP54  Fonte: Spelsberg.	Conector de PVC escalonado para cabos de 5 a 16 mm. Sem alívio de tensão e proteção limitada contra vibrações. **IP54, testado conforme EN 60529.** Proteção contra poeira, proteção total contra contato físico, proteção contra água borrifada de todas as direções, entrada limitada permitida.
Figura 443 – Passa-fio de borracha  Fonte: Vital Parts Ltd.	Passa-fio de borracha para uso universal. Sem proteção contra vibração e alívio de tensão Ampla paleta de aplicações variáveis. Utilizado frequentemente, limitado/restrito para AVAC-R Sem classificação de proteção especificada.

10.14 **Linha elétrica e conexões via plugue**

Extremidades soltas de cabos (em fios flexíveis específicos) podem representar perigo, pois podem gerar arcos elétricos e calor, que são possíveis fontes de ignição na presença de um fluido refrigerante inflamável, resultando em mau funcionamento do sistema ou situações perigosas (incêndio e explosão).

Para evitar essa situação, é crucial instalar terminais de cabos e luvas de fios com encaixe e fixação permanentes e confiáveis. Os terminais de cabos permitem a conexão elétrica de cabos ou filamentos por meio de parafusos (olhal, garfo) ou plugue (conector plano).

Por outro lado, as virolas de extremidade de fio muitas vezes são necessárias para a fixação de cabos em terminais. Condutores sólidos também podem ser fixados diretamente a um loop, dobrando o cabo. Para o aparafusamento de cabos trançados, são usados anéis de crimpagem, em que o fio trançado é inserido em um formato de anel.

A luva isolada dos terminais de cabos isolados apresenta uma cor característica da seção transversal:

- Vermelho para seções transversais de 0,5 a 1,5 mm2
- Azul para seções transversais de 1,5 a 2,5 mm2
- Amarelo para seções transversais de mais de 2,5 até 6 mm2

As Figura 444 a Figura 446 mostram exemplos de terminais de cabos e virolas e ferramentas.

Figura 444 – Ferramenta de desencapar fios usada na preparação de conexões de cabos



Fonte: Knipex.

Para preparar conexões flexíveis de cabos, use um alicate para desencapar fios.
Não devem ser usados alicates de corte diagonal ou facas!
Eles podem danificar os fios finos de cobre individuais. Fios de cobre danificados podem causar arcos elétricos e calor demasiado, o que pode levar à geração de faíscas.

Figura 445 – Exemplo de alicate crimpador



Fonte: Knipex.

Exemplos de alicates crimpadores para cortar cabos, decapar fios e crimpar terminais de cabos e conectores isolados ou não isolados, com orifícios rosqueados para cortar parafusos de cobre ou latão com diâmetro M 2,6; M 3; M 3,5; M 4 e M 5.

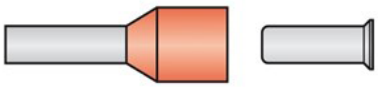
Figura 446 – Pré-ajuste ideal (calibrado) na fábrica para terminais de cabos isolados, conectores e conectores de topo



Fonte: Knipex.

O perfil de crimpagem e a pressão de crimpagem devem ser precisamente ajustados aos conectores usados e ao cabo associado, garantindo que a conexão seja confiável a longo prazo, do ponto de vista mecânico e elétrico.

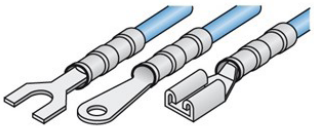
Figura 447 – Luvas de extremidade de fio para conexões de fios flexíveis



Fonte: Knipex.

Luvas de extremidade de fio devem ser usadas onde for possível (contatores, controles, etc.) para proporcionar um contato elétrico seguro.

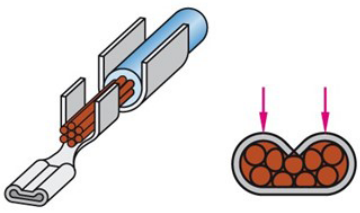
Figura 448 – Crimpagem de terminais de cabos para usar em conexões de fios flexíveis.



Fonte: Knipex.

Os terminais de cabo de crimpagem em formato de ilhó ou garfo permitem a fixação a componentes eletricamente condutores com um parafuso, que é conectado a esse componente e conecta um ou mais terminais de cabo.

Figura 449 – Fazendo uma conexão crimpada de um terminal de cabo.



Fonte: Knipex.

Com o uso de terminais de cabo de crimpagem, esse terminal é formado por uma lâmina de metal, que é dobrada lateralmente para cima. Durante a crimpagem, essa área, incluindo a extremidade do fio, é inserida em uma ferramenta ou máquina de crimpagem. As abas de metal são dobradas para dentro e para baixo na extremidade do fio, de modo que haja uma seção transversal reniforme.
Muitas vezes, há mais duas abas de metal na extremidade do isolamento do fio, de modo que é possível produzir, da mesma forma, um alívio de tensão e uma proteção contra dobras.

Figura 450 – Terminais de cabo de compressão isolados



Fonte: Knipex.

Os terminais de cabo de compressão têm uma luva condutora mais grossa, em forma de manga, fechada no terminal do cabo, que é deformada com um alicate de crimpagem para que seja mantida uma conexão forte, moldando o condutor.
Esses conectores elétricos, preparados profissionalmente, fornecerão a melhor conexão segura, evitando a formação de arcos e queimaduras.

Figura 451 – Exemplo de terminal tubular



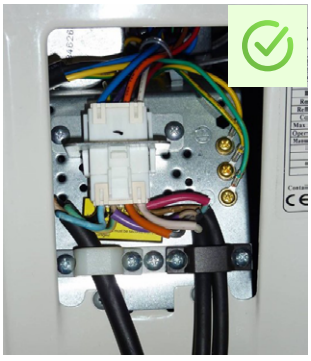
Fonte: Knipex.

Para conexões específicas, o uso de terminais tubulares de fios garante conexões elétricas duradouras e evita a formação de arcos e queimaduras.

10.14.1 **Exemplos de conexões elétricas adequadas**

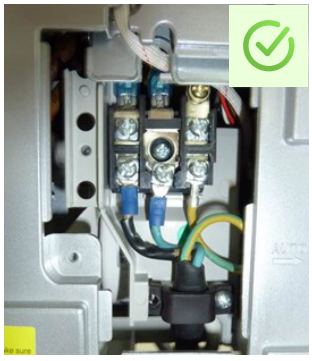
- Conexões elétricas feitas manualmente devem ser preparadas e conectadas com o uso dos terminais de cabo e ferramentas de crimpagem corretas;
- Colocação de contatos de aterramento, conforme previsto pelo fabricante do equipamento original (OEM);
- Verificar se os módulos de plug-in estão instalados corretamente (se for o caso);
- É essencial ter um alívio de tensão seguro (presilha de cabo); e
- A tampa do compartimento de conexão deve ser instalada depois que as conexões elétricas forem feitas e bem encaixadas.

Figura 452 – Exemplo de conexão elétrica de um ar condicionado do tipo split (unidade externa)



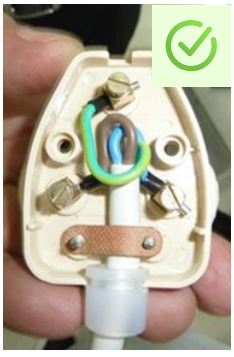
Fonte: Knipex.

Figura 453 – Pré-ajuste ideal (calibrado) na fábrica para terminais de cabos isolados, conectores e conectores de topo



Fonte: Knipex.

Figura 454 – Exemplo de plugue de alimentação - conexões elétricas



Fonte: Rolf Huehren.

Precauções gerais e requisitos de instalação para o plugue de alimentação

- Use o plugue e o cabo de alimentação adequados;
- Escolha a classe de proteção correta;
- As virolas das extremidades dos fios devem ser preparadas e conectadas com o uso de ferramentas de crimpagem corretas;
- É essencial ter um alívio de tensão seguro (presilha de cabo); e
- A cobertura do plugue deve ser instalada depois que as conexões elétricas forem feitas e bem encaixadas.

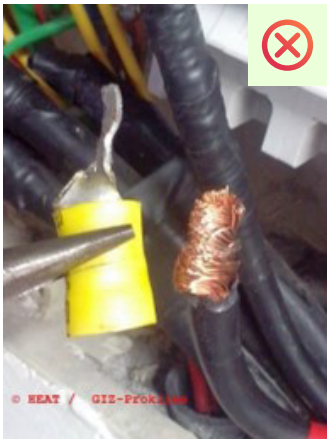
⚠ O cabo de aterramento deve ser mais longo que os fios fase e neutro, de modo que, se o cabo de alimentação for puxado por circunstâncias incontroláveis, o fio terra será desconectado por último!

⚠ Antes do comissionamento do circuito de refrigeração e da operação do aparelho, todos os conectores elétricos (parafusos) devem ser fixados e verificados quanto ao contato à fixação seguros. Especialmente o aterramento elétrico deve sempre ser garantido.

10.14.2 **Exemplos inapropriados de instalações em campo**

As Figuras 455 a 457 mostram exemplos de campo com instalações inadequadas.

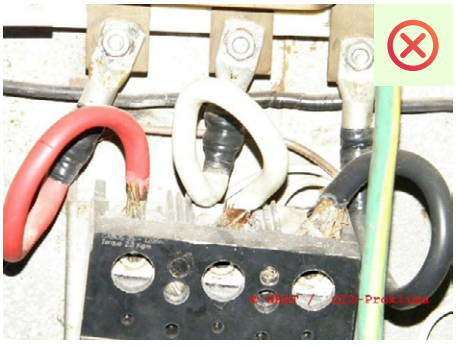
Figura 455 – Exemplo de terminal de cabo instalado incorretamente



⚠ Os terminais de fios instalados de forma inadequada não fornecem uma conexão elétrica segura e levam ao mau funcionamento do sistema, além de serem uma fonte de arcos e faíscas.

Fonte: HEAT GmbH.

Figura 456 – Exemplo de falta de luvas no condutor de energia



⚠ Conexões inadequadas de fios a um disjuntor. Filamentos desprotegidos de fios conectados e fixados com parafusos vão romper os fios, causando, consequentemente, arcos e faíscas.

Fonte: HEAT GmbH.

Figura 457 – Exemplo de terminais de cabos inadequados (soltos), que causam arcos elétricos e queimam o fio



⚠ Terminais de cabos fixados inadequadamente levam à queima do contato e, por fim, ao mau funcionamento do compressor, além de serem uma fonte de ignição para aparelhos e instalações de eletrodomésticos.

Fonte: HEAT GmbH.

10.15 Sistema de Controle Distribuído (SCD) para AVAC-R

O sistema de controle distribuído (SCD) aumenta a segurança e a eficiência operacional em aplicações específicas de AVAC-R em supermercados. Hardwares como o controle central e o controlador de pontos de resfriamento ou outras partes importantes de um sistema de refrigeração (por exemplo, dry cooler, compressores e sensores/transmissores) são interconectados, monitorados e operados.

O operador de AVAC-R e a equipe de manutenção podem analisar os dados operacionais em tempo real e no histórico com facilidade. Esse tipo de operação do sistema reduz os custos e garante a qualidade consistente do produto em aplicações para supermercados.

A versão "Boss Mini", da CAREL, foi projetada e instalada durante o projeto de construção do laboratório-escola no formato de mini supermercado (no qual será utilizado este manual). Na verdade, outros fabricantes e fornecedores internacionais, como Danfoss, Copeland, etc., oferecem equipamentos semelhantes para os segmentos de AVAC-R. Para mais informações, consulte os manuais de instalação e operação dos fabricantes do equipamento original (OEM).

Um sistema de controle distribuído da supervisão (SCD) para refrigeração em aplicações de supermercado oferece várias vantagens:

- **Monitoramento, controle e visualização centralizados** – Oferece monitoramento e controle em tempo real de todas as unidades de refrigeração a partir de uma única interface, simplificando o gerenciamento e aumentando a eficiência.
- **Eficiência energética** – Otimiza a operação de unidades de refrigeração, reduzindo o consumo de energia e diminuindo os custos de operação, através de estratégias precisas de controle e planejamento.
- **Manutenção otimizada** – Possibilita a manutenção preditiva e preventiva, detectando problemas antecipadamente por meio de monitoramento contínuo, reduzindo o tempo de inatividade e os custos de reparo.
- **Registro e análise de dados** – Coleta e registra dados de desempenho, permitindo análises e relatórios detalhados para melhorar o desempenho do sistema e as decisões operacionais.
- **Segurança alimentar aprimorada** – Mantém as condições ideais de armazenamento, garantindo o controle consistente da temperatura para preservar a qualidade e a segurança dos alimentos, minimizando assim o desperdício.
- **Acessibilidade remota** – Oferece acesso e controle remotos, possibilitando aos técnicos o monitoramento e ajuste dos sistemas de qualquer lugar, aumentando a flexibilidade e os tempos de resposta.
- **Escalabilidade** – Pode ser facilmente dimensionado para acomodar unidades de refrigeração adicionais ou integrar outros sistemas, o que o torna adequado para supermercados de pequeno e grande porte.
- **Conformidade e apresentação de relatórios:** Auxilia no atendimento de requisitos regulamentares, fornecendo registros completos de temperatura e desempenho do sistema, garantindo a conformidade com os padrões de segurança alimentar.

O Sistema de Controle Distribuído (SCD) para as instalações do laboratório-escola no modelo mini supermercado, na ETP Curitiba e no Senai Rio de Janeiro, consiste nos seguintes componentes principais:

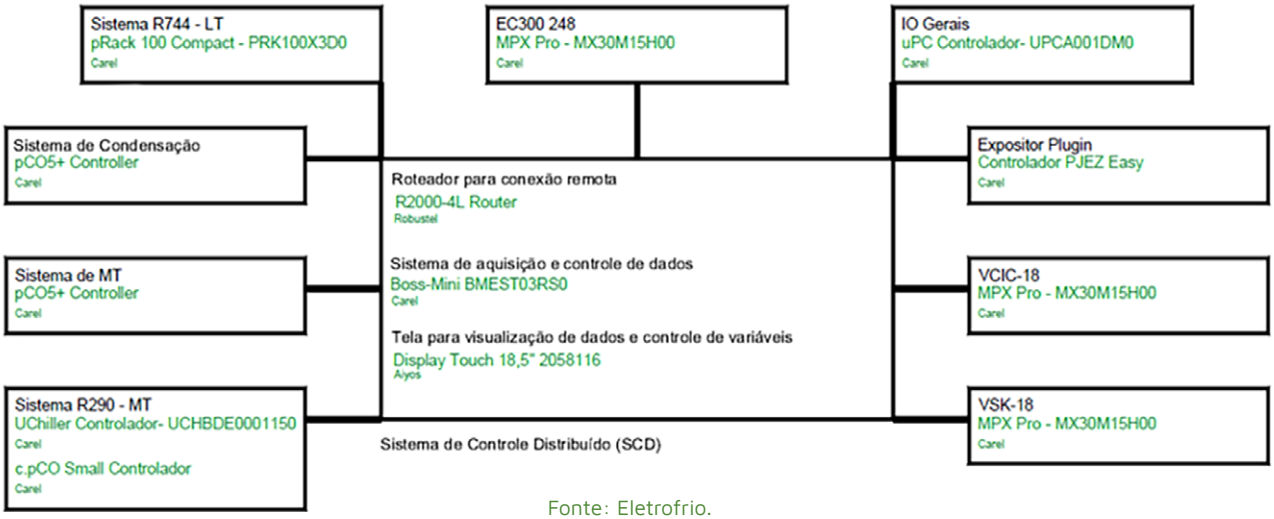
Tabela 90 – Principais componentes do SCD para instalações no laboratório-escola modelo mini supermercado

Componente SCD	Tipo
Sistema de aquisição e controle de dados	Carel Boss-Mini BMESTORS0
Tela sensível ao toque para visualização e inserção de dados	Aiyos Touch Display 18.5" 2058116
Roteador para conexão remota e de internet	Robustel R2000-4L
Controlador IO	Carel UPCA001DM0
Sistema R-744 - (baixa temperatura, LT)	Carel pRack 100 Compacto - PRK100X3D0
Sistema R-290 - (média temperatura 1, MT)	Controlador Carel UChiller UCHBDE0001150
Sistema R-290 - (média temperatura 2, MT)	Controlador pequeno CAREL c.pCO
Bomba de loop de dry cooler	Controlador Carel pCO5+
Bomba de loop de salmoura (média temperatura, MT)	Controlador Carel pCO5+
Expositor refrigerado plug-in NICFD 1,80 m	Controlador Carel PJEZ Easy
Expositor de produtos congelados (baixa temperatura, LT) VCIC-18	Carel MPX Pro - MX30M15H00
Expositor de produtos congelados (baixa temperatura, LT) VSK-18	Carel MPX Pro - MX30M15H00
Câmara fria para estoque de congelados (baixa temperatura, LT) EC300 248	Carel MPX Pro - MX30M15H00
Expositor de produtos resfriados (média temperatura, LT) VHR-0	
Expositor de produtos resfriados (média temperatura, LT) VS6P-0	
Câmara fria para estoque de resfriados (média temperatura, LT) EG300 354	

Fonte: Eletrofrio/Rolf Huehren.

A interconectividade é visualizada no controlador PID geral do local específico e fornecida conforme indicado na Figura 458.

Figura 458 – Visualização PID do local do laboratório-escola no modelo mini supermercado na ETP-PR e no Senai-RJ



Fonte: Eletrofrio.

10.15.1 Controlador de sistema distribuído

A Boss-Mini, da Carel, foi projetada para sistemas de pequeno e médio porte, oferecendo wi-fi (Wireless Fidelity) incorporado e acessibilidade a partir de dispositivos móveis, incrementando a conveniência do usuário e o gerenciamento do sistema por parte de operadores e da equipe de manutenção.

O BMEST03RS0, que é parte da linha Boss-Mini da Carel, é um gerenciador de sistema projetado para monitoramento e controle de supervisão em aplicações de refrigeração e sistemas de calefação, ventilação e ar condicionado (AVAC-R). Suas principais características são apresentadas a seguir:

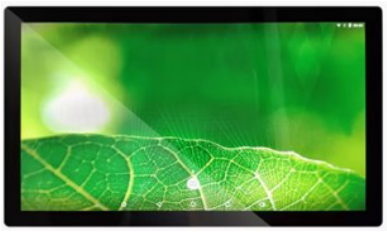
- **Suporte a dispositivos** – Gerencia até 30 dispositivos e 300 variáveis, facilitando o monitoramento e o controle completos do sistema;
- **Protocolos de comunicação** – Compatível com protocolos Carel e Modbus, assegurando a integração perfeita com vários dispositivos;
- **Fonte de alimentação** – Opera com fonte de alimentação de 24 V CC;
- **Conectividade** – Equipado com uma porta USB para transferência de dados e atualizações do sistema;
- **Saídas digitais** – Inclui três saídas digitais (24 V CC) para funções de controle; e
- **Display** – Esse modelo não apresenta um display integrado, alinhado com seu projeto 'acéfalo' para controle centralizado sem interface direta para o usuário.

Figura 459 – Centro de controle e obtenção de dados Carel Boss-Mini BMEST0RS0



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 460 – Tela sensível ao toque para visualização e inserção de dados



Fonte: Rolf Huehren.

10.15.2 **Controlador do ponto de resfriamento**

O Carel MPX Pro MX30M25H00 é um controlador mestre projetado para o gerenciamento abrangente de refrigeradores, enfatizando a eficiência energética, a flexibilidade e a facilidade de instalação e utilização pelo operador.

Figura 461 – Dispositivos de controle para pontos de resfriamento



Fonte: Carel MPX.

Suas principais características são apresentadas a seguir:

- **Driver de válvula de expansão eletrônica (EEV) integrado** – Apresenta um driver integrado compatível com as válvulas Carel E2V, facilitando o controle preciso do fluxo de fluido refrigerante (veja também o capítulo 7.5.1);
- **Tecnologia Ultracap** – Incorpora um módulo Ultracap integrado para garantir o fechamento da válvula durante falhas de energia, incrementando a segurança e a confiabilidade do sistema;
- **Configuração de entrada/saída** – Equipado com até 7 entradas analógicas/digitais configuráveis e 5 saídas digitais, possibilitando a integração e o controle flexíveis do sistema;
- **Protocolos de comunicação** – Suporta os protocolos Carel e Modbus RTU, permitindo a integração perfeita em várias redes de supervisão;
- **Funções de eficiência energética** – Oferece funções avançadas de economia de energia, incluindo modulação dos ventiladores do evaporador e aquecedores para evitar suor, otimização dos ciclos de degelo e controle "fluido" para gerenciamento da temperatura estabilizada. ;
- **Arquitetura mestre-escravo** – Consegue gerenciar uma rede mestre-escravo com até 5 unidades, facilitando operações sincronizadas e o compartilhamento de informações entre dispositivos conectados;
- **Gerenciamento avançado de degelo** – Conta com algoritmos inovadores para gerenciar o degelo por gás quente, controlar várias saídas em diferentes estágios e sincronizar os procedimentos de degelo na rede mestre-escravo; e
- **Dados físicos** – Mede 109 mm (L) x 132 mm (A) x 85 mm (P), com índice de proteção IP00, indicado para instalação somente em painéis protegidos.

10.15.3 **Controlador de rack**

Figura 462 – Controlador de rack LT Carel pRack 100 Compacto - PRK100X3D0



Fonte: Carel.

Figura 463 – Controlador de rack MT Carel UChiller Controller UCHBDE0001150



Fonte: Carel.

Os controladores de rack Carel são soluções seguras e eficientes para gerenciar sistemas de rack de refrigeração de baixa temperatura (LT) e de média temperatura (MT), oferecendo recursos precisos de controle e monitoramento em um dispositivo compacto.

- **Display integrado:** Apresenta um monitor integrado para monitoramento em tempo real e interpretação e interação do usuário/operador;
- **Recursos de comunicação:** Equipado com uma porta serial RS485, facilitando a integração com sistemas de supervisão (Mini Boss) e possibilitando o monitoramento e controle remotos;
- **Saídas digitais:** Inclui duas saídas digitais de relé de estado sólido (SSR), cada uma classificada para 24 Vac/Vdc com uma potência máxima de 10 W, adequada para controlar vários dispositivos dentro do sistema de refrigeração;
- **Fonte de alimentação:** Funciona com uma fonte de alimentação de 24 VCA (+10/-15%) 50/60 Hz, garantindo a compatibilidade com sistemas elétricos padrão; e
- **Condições ambientais para a operação:** Projetado para operar em uma faixa de temperatura de -10 °C a 60 °C e umidade relativa de até 90% sem condensação, garantindo confiabilidade em várias condições ambientais.

11

DETECÇÃO DE GÁS E DE VAZAMENTOS

11 Detecção de gás e de vazamentos

A detecção de gás no sistema de AVAC-R é a análise de amostras de ar por sensores instalados permanentemente ou dispositivos transportáveis para descobrir se essas amostras contêm fluido refrigerante. O motivo principal para o uso de detectores de gás no local de trabalho é garantir a segurança e a saúde do pessoal. Dessa forma, a necessidade de instalar um sistema de aviso de gás se baseia nos resultados da avaliação de risco do empregador/operador e na aplicação de normas, regulamentações e códigos de construção.

Os detectores de gás ajudam a proteger público, usuários, operadores e pessoal técnico dos efeitos de explosões, incêndios ou doenças decorrentes de gases inflamáveis (como A2, A2L, A3), tóxicos (como B2) ou asfixiantes (como todos os A1 e o menos tóxico CO_2). Além disso, o uso de detectores de gás tem um papel fundamental na proteção dos ativos das empresas.

Outras boas razões para sua aplicação incluem:

- Redução dos custos de serviço (custos de substituição do fluido refrigerante e chamada de serviço);
- Melhor consumo de energia (somente sistemas totalmente estanques funcionam na eficiência ideal);
- Prevenção de custos relacionados a produtos em estoque danificados devido à quebra do sistema;
- Otimização dos custos do seguro; e
- Impostos ou cotas sobre fluidos refrigerantes prejudiciais ao meio ambiente.

Observação importante!	O detector de gás não evita que ocorram vazamentos nem indica o que deve ser feito. Ele não substitui as boas práticas de segurança do trabalho!

11.1 Casas de máquinas e instalações fixas

Geralmente, na casa de máquinas é necessário usar detectores para acionar, pelo menos, alarmes sonoros e visuais, iniciar a ventilação mecânica de emergência e, onde relevante, cortar a eletricidade, se a concentração de fluido refrigerante exceder o valor de limite prático (para gases inflamáveis). Além das casas de máquinas, pode haver outras situações nas quais a detecção permanente do fluido refrigerante pode ser aplicada (como câmaras frigoríficas, etc.).

A ventilação mecânica de emergência também deve ser fornecida com dois controles de emergência independentes, um localizado dentro da casa de máquinas, e outro fora.

Para fluidos refrigerantes A3 (neste caso R-290), os limites de alarme a serem definidos geralmente estão entre 10% e no máximo 40% do LII. Como regra geral, são fornecidos dois limites de alarme: um pré-alarme e um alarme principal. A

experiência mostra que o pré-alarme não deve ser definido como superior a 20% do LII.

O detector deve ser definido para um nível mais baixo quanto à toxicidade, se aplicável de acordo com a ABNT NBR ISO 5149-3 ou EN 378-3.

Nas casas de máquinas em que somente compressores ou conjuntos de compressores estiverem instalados, um sensor de gás, pelo menos, deve ser instalado acima dos compressores, no fluxo de ar da exaustão de calor do compressor. A área de instalação das bombas do fluido refrigerante deverá ser monitorada com um sensor de gás acima das bombas.

Detectores de gás para amônia (R-717) precisam avisar no caso de perigo de explosão ou incêndio no equipamento em casas de máquinas e, para fins de controle, quando a carga for acima de 50 kg. O detector de R-717 deve funcionar em uma concentração que não exceda:

1. 150 a 500 ppm (114 mg/m^3 a 380 mg/m^3) — Pré-alerta de amônia com ativação automática do sistema de ventilação de emergência;
2. 1.000 ppm (760 mg/m^3) — Alerta principal de amônia "I" com desativação automática dos componentes afetados das instalações de refrigeração (bombas de fluido refrigerante, compressores e válvulas de corte); e
3. 30.000 ppm (22.800 mg/m^3) — Alerta principal de amônia "II" com isolamento automático da fonte de alimentação de todas as fontes de ignição em potencial, bem como desativação de todo o sistema de ventilação mecânica, incluindo o fechamento de todas as aberturas de entrada de ar.

Para amônia (NH_3) 1 ppm = 0,76 mg/m^3

Os valores de limite devem ser significativamente mais baixos do que o LII, o que significa que o sistema de aviso de gás também pode iniciar medidas para evitar a formação de atmosferas explosivas perigosas.

Para o dióxido de carbono (CO_2), o limite do alarme deve ser definido no dispositivo de acordo com o "valor limite prático" do CO_2 (= 0,07 kg/m^3). O valor padrão do detector do fluido refrigerante deve ser apenas metade do valor do limite prático para a concentração, de acordo com a EN 378-1 (=0,035 kg/m^3). O aviso deve ser sonoro (sirene) ou visual (luz piscando). Como o CO_2 é mais pesado do que o ar, pelo menos um detector deve ficar no ponto mais baixo (das salas). Os detectores de CO_2 devem também ficar em câmaras frigoríficas e ambientes refrigerados em geral.

Figura 464 – Detector de gás para instalação fixa de R-290 e R-744



Fonte: Série GDWR da Carel.

A localização dos detectores (veja a Figura 464) depende do tipo de fluido refrigerante. Geralmente, eles devem ficar onde se espera que o fluido refrigerante do vazamento se concentre. Há versões disponíveis com sensor integrado (por exemplo, o GDWB da Carel) e remoto (por exemplo, o GDWR da Carel) em que o sensor de gás é instalado separadamente do controlador.
Todos os elementos são fornecidos em uma carcaça da AGS Controls com proteção IP66 e disponíveis para uma vasta gama de tipos de fluido refrigerante.

Figura 465 – Exemplo de sistema de medição de gás MF420-Ex-2.1 com aprovação ATEX para Zonas 1 e 2



Fonte: AFRISO-EURO-INDEX Alemanha.

Para fluidos refrigerantes inflamáveis (A3) e instalação em áreas classificadas como Zona 2, os detectores de gás precisam também da classificação ATEX. A classificação da Zona ATEX será determinada pelo zoneamento e pela análise de riscos específica do sistema de refrigeração.
Para gases mais pesados que o ar, os sensores devem ser colocados no nível do solo. Para gases mais leves que o ar, os sensores devem ser colocados na parte mais alta da parede ou no teto, mas de forma que a manutenção ainda seja prática. Se a densidade for igual à do ar, os sensores devem ser colocados no nível dos olhos.
Os equipamentos de detecção do gás geralmente são usados em uma instalação fixa com vários sensores localizados em áreas onde se espera que o fluido refrigerante se acumule no caso de vazamento.
Ao instalar detectores de gás, NÃO:

- Monte-os na tubulação, suportes da tubulação ou outras estruturas que estejam sujeitas a vibração e impacto;
- Instale-os perto de locais molhados ou em áreas onde possa haver condensação;
- Instale-os perto de calor excessivo ou em local exposto à luz solar direta.

Dispositivo de detecção de gás para instalação fixa, para detecção e monitoramento de gases inflamáveis, explosivos e tóxicos. Também pode ser usado em ambientes empoeirados e sujos. Pode ser usado como um sistema de medição independente ou em conjunto com sistemas de alarme de gás como uma instalação de alarme de gás completa para áreas de risco. Aprovado para operação em atmosferas/áreas potencialmente explosivas / à prova de explosão (EX) de acordo com ATEX Zona 1 e Zona 2.

Há duas abordagens para a localização dos sensores:

- Detecção de ponto: os sensores ficam o mais perto possível de pontos de potencial liberação de fluido refrigerante; e
- Detecção de perímetro: os sensores monitoram totalmente a área perigosa.

Além do tipo e da densidade de um fluido refrigerante, a escolha do melhor lugar para o sensor também precisa levar em conta o tamanho e a natureza do local. Além disso, é importante considerar áreas em que o fluido refrigerante possa se concentrar no caso de vazamento. No caso de câmaras frigoríficas, os sensores devem ser colocados na parede, no fluxo de ar de retorno.

Para definir o número de detectores de gás, devem-se aplicar as seguintes recomendações de acordo com Danfoss, 2018:

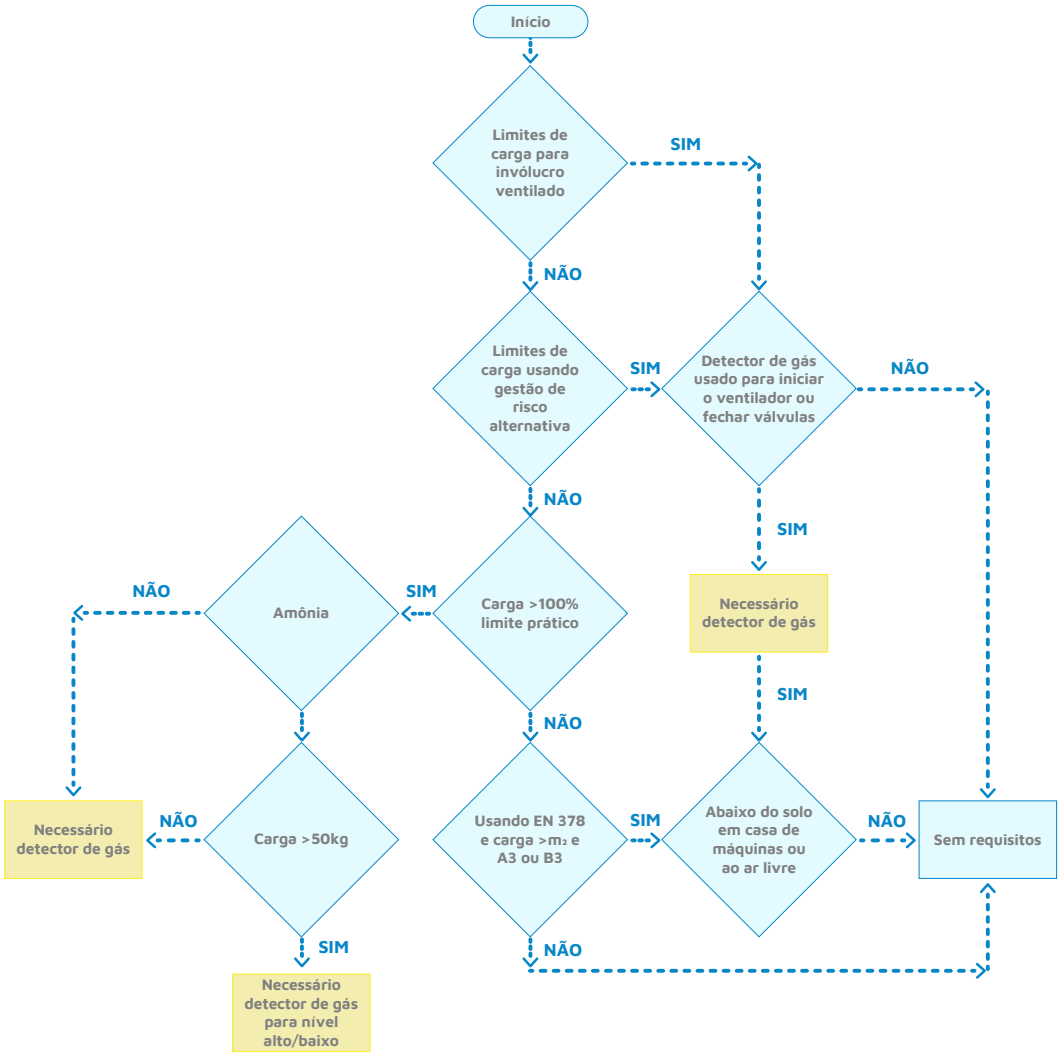
- Dependendo da condição do espaço a ser coberto, um detector de gás pode geralmente cobrir uma área de cerca de 50 a 100 m^2. Em espaços com várias obstruções e falta de ventilação, a cobertura é de aproximadamente 50 m^2, desde que seja montado perto do teto ou do chão, dependendo da densidade do fluido refrigerante. No caso de espaços com boa ventilação mecânica e sem obstruções, a cobertura pode ser melhorada até aproximadamente 100 m^2; e
- Casas de máquinas: Detectores de gás devem ser colocados acima ou em ambos os lados dos compressores. Uma possibilidade é colocá-los acima ou em outras peças não estáticas do sistema ou no sentido do vento de tais equipamentos, no sentido de extratores de ventilação em operação contínua.

Em qualquer um dos casos, os sensores devem ser instalados em um lugar em que o funcionamento possa ser verificado facilmente, bem como eles possam ser reparados ou substituídos por um profissional qualificado. Além do mais, eles devem ser protegidos para evitar danos, modificações ou redefinições não autorizadas do valor predefinido.

O funcionamento do sistema inteiro de alarme de gás de segurança deve ser verificado regularmente (não menos de uma vez por ano e de acordo com as recomendações do fabricante). Os detectores de gás devem ser calibrados a intervalos regulares, como recomendado pelo fabricante. Na medida do possível, os sensores do detector devem ser protegidos contra o ingresso de material estranho e substâncias que possam "envenenar" um sensor catalítico e protegidos contra danos mecânicos e acúmulo de poeira.

Os requisitos e etapas do processo de tomada de decisão para a detecção de gás (R-717), de acordo com a EN 378-3 e ABNT NBR ISO 5149-3, são mostrados na Figura 466.

Figura 466 – Requisitos para a detecção de gás (R-717), de acordo com a EN 378 e ABNT NBR ISO 5149



Fonte: Danfoss, 2018.

11.2 Detectores portáteis de gás (*sniffers*)

Os detectores portáteis de gás normalmente são parte dos sistemas de segurança e integridade no local de trabalho, com instrumentos portáteis feitos para proteger o pessoal que trabalha em áreas potencialmente perigosas e na aplicação de atividades de detecção de vazamento.

Figura 467 – Exemplo de detector eletrônico de gás



Fonte: Inficon – GasMate.

O *sniffer* portátil é um detector eletrônico de gás de fluido refrigerante com tecnologia de sensor de semicondutor e é projetado para o uso com fluidos refrigerantes HC (A3) e (B2L) e amônia (tecnologia de semicondutor).

Figura 468 – Detector de gás CO_2 (R-744) (*sniffer*)



Source: Inficon.

Detector de gás de fluido refrigerante dióxido de carbono (R-744) (instrumento para detecção de vazamentos) com sensibilidade mínima de 5 gramas/ano. Célula sensora de absorção de infravermelho com alta seletividade para dióxido de carbono, o circuito do instrumento se iguala ao CO_2 presente na atmosfera.

- Sensibilidade de 5 gramas/ano
- Peso de aproximadamente 0,55 kg
- Bateria NiMH alimentada para até 6,5 horas de operação contínua
- Adaptador de carga CA com cabo de 1,8 m (230V-1Ph-60Hz)
- Sonda do *sniffer* cromada, flexível, com aproximadamente 43 cm de comprimento

Figura 469 – Exemplo de detector eletrônico portátil de gás



Fonte: Inficon D-Tek Stratus.

O dispositivo combina a detecção de vazamento e a capacidade de busca de nuvem de um monitor grande portátil, tudo em uma unidade portátil. Localize a área contendo o vazamento, usando o visor LCD, e localize o vazamento com um instrumento. Fluidos refrigerantes compatíveis

- Sensor de fluido refrigerante para: R-22, R-32, R-134a, R-404a, R-407c, R-410a, R-422b, R-448a, R-449a, R-452a, R-452b, R-507 (AZ50), R-1234yf, entre outros;
- Sensor de CO_2 (R-744);
- Sensor de fluido refrigerante inflamável R-290, R-600a, R-441a.

Figura 470 – Vazamento de referência para calibração do detector portátil de gás



Fonte: HTP UK – LS4.

A calibração é necessária para verificar se o detector de gás está funcionando adequadamente na faixa de concentração para a qual foi projetado. Isso também é necessário para conformidade com as normas e regulamentações internacionais. Os vazamentos de referência calibrados contêm até 5 g de emissão de fluido refrigerante. Os vazamentos de referência estão disponíveis como anexos a um cilindro de fluido refrigerante comum para um vazamento de referência fixo de 5 g/ano tendo uma conexão SAE ¼" ou uma lata descartável com orifício de emissão.

11.3 **Monitor pessoal de gás usado como EPI (exemplo)**

Os detectores portáteis de gás normalmente são parte dos sistemas de segurança e integridade no local de trabalho, com instrumentos portáteis feitos para proteger o pessoal que trabalha em áreas potencialmente perigosas e na aplicação de atividades de detecção de vazamento.

Figura 471 – Detector portátil de gás para uso como EPI



Source: Crowcon.

O detector portátil de gás deve ser usado como EPI. É um monitor de gás único (deve ser preso no corpo) para ambientes industriais. Com operação simples por um único botão, ele tem um visor fácil de ler a concentração de gás e alarmes audíveis, visuais e vibratórios.
Disponível com sensores de gás inflamável, gás tóxico, oxigênio, CO_2 e CO.

11.4 **Monitoramento de vazamentos**

De acordo com a ABNT NBR ISO 5149-4 Anexo D-D.5, a frequência da inspeção de vazamentos varia de:

- Uma vez a cada 12 meses para sistemas com 3 kg ou mais de fluido refrigerante, exceto para sistemas hermeticamente vedados contendo menos de 6 kg;
- Uma vez a cada seis meses para aplicações contendo 30 kg ou mais de fluido refrigerante; e
- Uma vez a cada três meses para aplicações contendo 300 kg ou mais de fluido refrigerante.

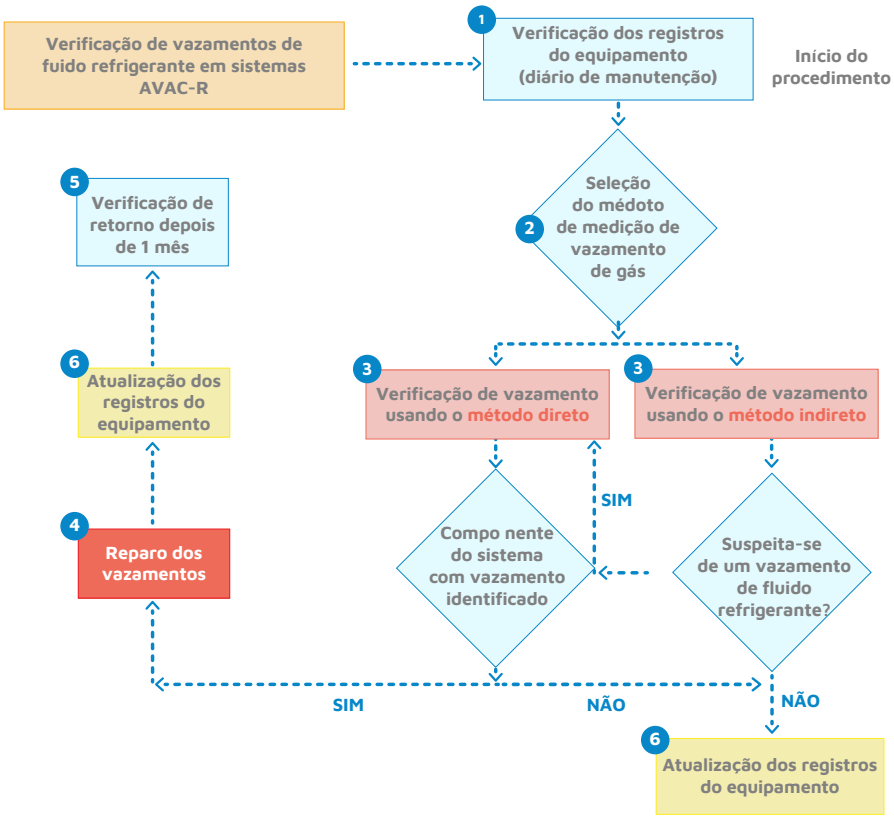
11.5 **Orientação passo a passo para a análise de vazamentos de fluido refrigerante**

Há um tipo de "Guia de Verificação Padrão" a ser seguido na execução de exames em sistemas AVAC-R com suspeitas de vazamentos. Consulte a Figura 472 para obter mais explicações e orientações.

Observação

Essa orientação passo a passo é importante ao lidar com vazamentos de fluidos refrigerantes, independentemente do tipo de sistema e do fluido refrigerante em uso. Fluidos refrigerantes como HCFCs e HFCs podem representar (além de qualquer risco concebível de segurança e saúde ocupacional) uma poluição ambiental direta em termos de destruição da Camada de Ozônio e de aquecimento global. Os fluidos refrigerantes inflamáveis (classificados como A2L e A3) e de baixa toxicidade (B2L - amônia) apresentam alto risco de intoxicação, inflamabilidade e explosão. O fluido refrigerante R-744 classificado como A1 tem um risco de segurança maior porque a sua concentração máxima no local de trabalho é avaliada como um risco maior.

Figura 472 – Orientação passo a passo para a análise do sistema AVAC-R sobre possíveis vazamentos de fluido refrigerante



Fonte: Rolf Huehren.

1. Verificação da documentação do equipamento (livro de registros)

Antes de realizar verificações de vazamento, o pessoal qualificado deve verificar a documentação do equipamento, como os livros de registro. Esses registros devem indicar a carga de fluido refrigerante em kg e, de preferência também em CO_2 equivalente. Preste atenção a quaisquer questões e problemas recorrentes relacionados a vazamentos e carga de fluido refrigerante no histórico do sistema AVAC-R!

2. Seleção do método de medição

Os métodos de medição indireta só devem ser aplicados se os parâmetros analisados devem fornecer informações confiáveis sobre a carga de fluido refrigerante do sistema AVAC-R e a probabilidade de vazamentos. Por exemplo, o aparecimento de traços de óleo pode indicar a probabilidade de um vazamento existente. Normalmente, recomenda-se reconhecer os resultados de uma primeira verificação visual indireta imperativa do sistema (em sistemas maiores específicos com vários pontos de resfriamento, instalações ramificadas e quantidades maiores de carga de fluido refrigerante).

Os métodos de medição direta são necessários para identificar o local exato dos vazamentos. Eles sempre podem ser aplicados se houver suspeita de vazamentos de fluido refrigerante. As características particulares da instalação, por exemplo, a ventilação do ambiente (ventilação da sala de máquinas, ventiladores do condensador e do evaporador, etc.), devem ser consideradas ao selecionar o método mais adequado para evitar vazamentos de fluido refrigerante disfarçados. Em geral, considere que um sistema de refrigeração não pode ter apenas um vazamento.

3. Verificação de vazamentos usando um método indireto ou direto

As seguintes partes do equipamento precisam ser sistematicamente verificadas: juntas, válvulas (em hastes específicas), vedações (incluindo vedações em secadores e filtros substituíveis), quaisquer partes do sistema sujeitas a vibração, gaxetas do compressor e conexões com dispositivos operacionais ou de segurança.

Se houver suspeita de vazamento, um método de medição direta deve ser aplicado para um exame mais aprofundado e para identificar o local exato do vazamento.

Quando as partes do equipamento mencionadas acima não apresentarem sinais de vazamento, mas houver suspeita de vazamento, outras partes do sistema (talvez de difícil acesso) também deverão ser verificadas. Antes do teste de pressão com um gás de teste de pressão adequado (por exemplo, nitrogênio seco e livre de oxigênio - OFDN), o fluido refrigerante deve ser recolhido de todo o sistema (ou de partes do sistema seccionadas) por pessoal qualificado. O oxigênio para teste de pressão nunca deve ser usado devido ao perigo de explosão pela reação do óleo (lubrificante do compressor) e do oxigênio.

4. Reparo de vazamentos

Os vazamentos detectados devem ser reparados imediatamente. Quando necessário, o reparo deve ser precedido por uma parada por recolhimento (sistema interno) ou recolhimento de fluido refrigerante seguido por um teste de estanqueidade. A causa do vazamento deve ser identificada para evitar a recorrência.

5. Controle de acompanhamento

Depois que os vazamentos tiverem sido consertados e os motivos pelos quais eles ocorreram tiverem sido resolvidos, uma verificação de vazamento de acompanhamento deverá ser realizada dentro de um mês (dependendo do tipo e do tamanho do sistema pode ocorrer ainda mais cedo) e seguir os requisitos passo a passo acima. Considere especialmente as áreas em que foram encontrados vazamentos e todas as áreas em que foi aplicado estresse térmico durante o reparo.

6. Atualização de registros de equipamentos

Os registros dos equipamentos, como o livro de registro dos sistemas, devem ser atualizados após cada verificação de vazamento.

11.6 Métodos diretos de detecção de vazamentos

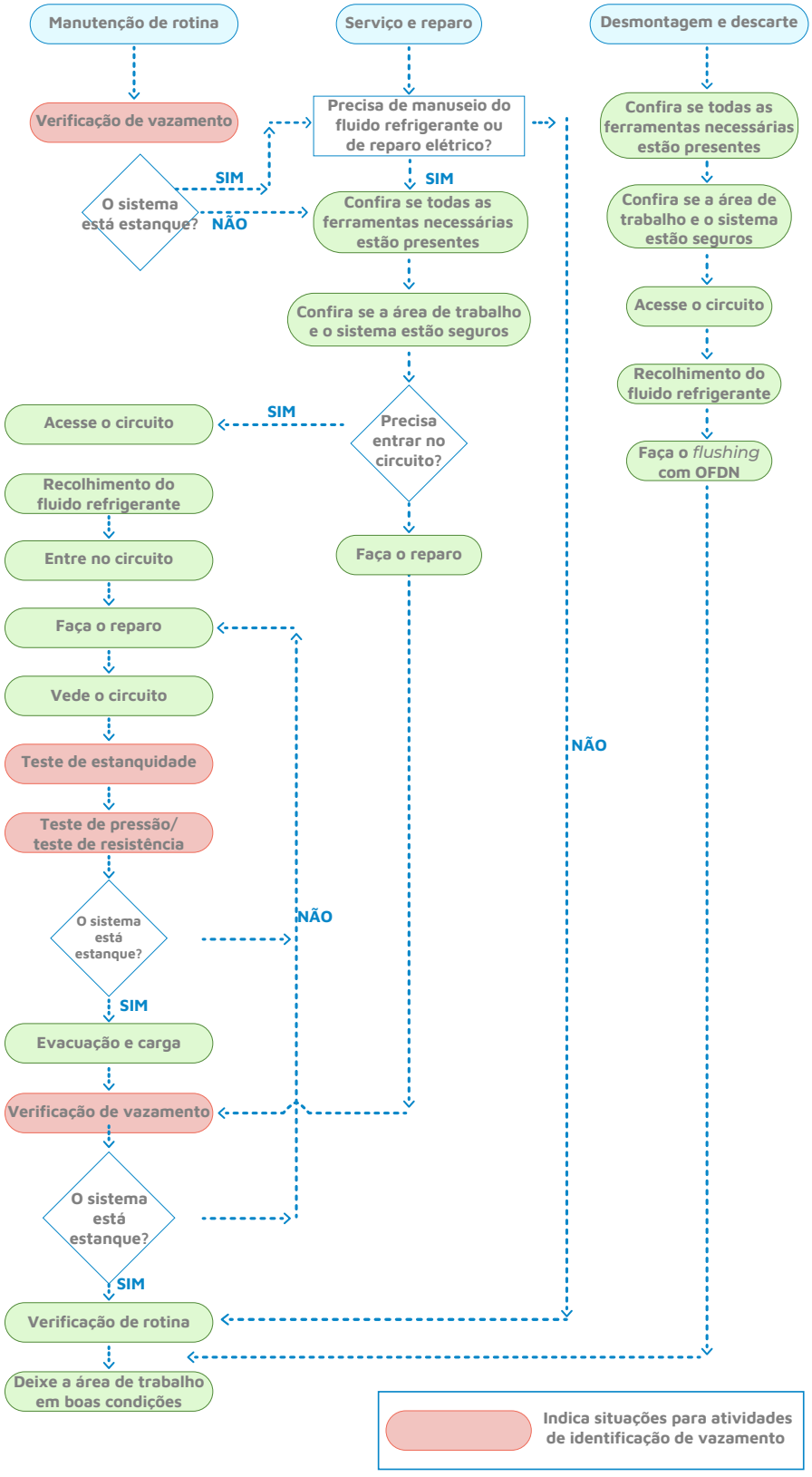
O teste de vazamento é uma das tarefas mais desafiadoras dos profissionais qualificados. Não existe um método que sirva para todas as situações. Pelo contrário, há vários métodos diferentes de testar se há vazamentos e, em todos os casos, é necessário tomar uma decisão quanto ao método usado e o tipo de equipamento necessário para encontrar o vazamento. Cada método exige o seu próprio tipo de equipamento, e ter o equipamento de teste adequado é apenas metade do processo.

A próxima seção descreve os diferentes métodos e oferece orientações quanto a qual teste pode ser o mais adequado a uma determinada condição e sistema. É feita uma distinção entre:

- Métodos indiretos de teste de vazamento: parâmetros do sistema são analisados quanto ao funcionamento normal; e
- Métodos diretos de teste de vazamento: o profissional capacitado procura o vazamento ativamente.

A Figura 473 mostra um fluxograma de trabalho para identificação de vazamentos em campo.

Figura 473 – Fluxograma de trabalho para identificação de vazamentos em campo



Fonte: HEAT GmbH.

A Tabela 91 oferece uma visão geral dos métodos diretos de detecção de vazamentos recomendados para o fornecimento de circuitos de refrigeração vedados. Todos os testes devem ser únicos e não destrutivos e sem causar nenhum impacto no meio ambiente e nos operadores. Todos os procedimentos de teste descritos são procedimentos gerais de testes em campo realizados por engenheiros/as de refrigeração e profissionais qualificados.

Tabela 91 – Visão geral dos métodos diretos de detecção de vazamentos em campo

Métodos diretos de detecção de vazamentos		Para ser utilizado como:	Meio de teste	Avaliação breve	Classificação de teste	Não recomendado	Deve ter e fazer	Será excelente
1	Teste de espuma de sabão com pressão do fluido refrigerante	Teste de vazamento	Meio de trabalho (fluido refrigerante)	Procedimento bruto de detecção de vazamento	Teste preliminar	X		
2	Sistema pressurizado com OFDN e espuma de sabão (teste com espuma de sabão)	Teste de estanqueidade Pressão de teste entre 10 e 12 bar suficiente	OFDN	Procedimento bruto de detecção de vazamento, mais preciso do que a opção 1	Teste preliminar, teste final, teste de componentes do circuito		X	
3	Detector de gás (*sniffer*), Condutividade térmica; captura de elétrons; infravermelho; hélio (≤ 3 g/a – 5 ppm)	Teste de vazamento	Meio de trabalho (fluido refrigerante)	Com tecnologia mais recente, detecção fina de vazamento	Detecção geral de gás e localização de vazamento (sem EPI)		X	
4	Teste de aumento da pressão de vácuo (teste de aumento de pressão)	Teste de estanqueidade durante o comissionamento AVAC-R		Teste de estanqueidade geral	Teste intermediário e preliminar		X	
5	Teste de queda de pressão (teste de nível de pressão)	Teste de estanqueidade	OFDN	Procedimento bruto de detecção de vazamento	Teste intermediário e preliminar		X	

Continuação da Tabela 91 – Visão geral dos métodos diretos de detecção de vazamentos em campo

6	Sistema pressurizado com gás marcador N_2/H_2 e detector de gás marcador	Teste de estanqueidade Pressão de teste a 5 bar suficiente	Gás marcador N_2/H_2 (5% de hidrogênio, 95% de nitrogênio)	Detecção bruta e fina de vazamento	Teste intermediário, teste final			X
7	Detecção ultrassônica de gás	Teste de vazamento	Meio de trabalho (fluido refrigerante)	Procedimento rudimentar de detecção de vazamento	Teste preliminar	X		
8	Teste de resistência de pressão Pressurização do sistema com OFDN	Teste de resistência de pressão 1,1 x PS. Por exemplo, os componentes do circuito do fluido refrigerante são reparados ou substituídos	OFDN	Teste de integridade do circuito de refrigeração:	Procedimento de teste de acordo com EN 378 e ISO 5149 / ABNT NBR ISO 5149		X	
9	Sistemas fixos de detecção de fluido refrigerante	Sistema fixo de monitoramento de vazamento de fluido refrigerante	Meio de trabalho (fluido refrigerante)	Instalações de supermercados, instalações de circuitos de RAC distribuídos, medidas de segurança adicionais para fluidos refrigerantes A3	Detecção geral de gás		X	X
10	Detecção por aditivos fluorescentes e luz ultravioleta	Teste de vazamento	É necessário um aditivo ao circuito de refrigeração	Procedimento complementar. São detectados apenas vazamentos com presença de óleo	Teste preliminar	X		

Fonte: Rolf Huehren

Uma descrição breve da detecção direta do vazamento é apresentada abaixo:

- O teste com espuma de sabão (solução de água com sabão): é o método de teste de vazamento mais simples. Porém, o método pode fazer bagunça e criar necessidade de uma limpeza demorada. Vários tipos de soluções com sabão estão disponíveis no mercado. Alguns técnicos/as fazem sua própria solução de água com sabão. As soluções compradas em lojas podem ter uma escova aplicadora ou uma bola absorvente presa a um fio esticado dentro da tampa. Algumas marcas podem até ter um aplicador em spray para cobrir áreas grandes da tubulação rapidamente em pouco tempo.

- Sistema pressurizado com OFDN e espuma de sabão (teste com espuma de sabão): se o sistema não contiver pressão suficiente para a detecção de vazamentos (por exemplo, no lado de baixa pressão), o fluido refrigerante pode ser recolhido do sistema, e o sistema repressurizado com OFDN, para aumentar a pressão, fazendo desse o jeito mais provável e menos demorado para indicar o vazamento. Em alguns casos, o escape de nitrogênio é audível e indica o local do vazamento.
- Detector eletrônico de gás (*sniffer*): os detectores eletrônicos de gás, chamados de *sniffers*, são o jeito mais rápido e mais confiável de encontrar um vazamento desconhecido ou identificar a área na qual um vazamento existe, como ponto de partida. Os confiáveis dispositivos modernos são sensíveis a intervalos de vazamento a partir de 3 g/ano (ou 5 ppm de concentração de gás no ar). Se for possível identificar apenas a área geral do vazamento (alta concentração de fluido refrigerante), será possível usar, como segunda etapa, o teste com espuma de sabão para verificar o ponto exato do vazamento. Os detectores de gás eletrônicos devem ser projetados para detectarem um certo tipo de fluido refrigerante ou vários tipos, por exemplo, HFC, HCFC ou HC.

Vazamento de referência para calibração do detector de gás	A calibração do detector de gás (*sniffer*) é necessária para verificar se o detector portátil eletrônico de gás (*sniffer*) está funcionando adequadamente, antes e após cada uso, na faixa de concentração para a qual se destina. Isso também é necessário para conformidade com as normas e regulamentações internacionais. Os vazamentos de referência calibrados contêm até 5 g de emissão de fluido refrigerante. Os vazamentos de referência estão disponíveis como anexos a um cilindro de fluido refrigerante normal (veja a Figura 470 para um vazamento de referência fixo de 5 g/ano) tendo uma conexão SAE ¼" ou uma lata descartável com orifício de emissão.

- Teste de aumento da pressão de vácuo: o teste de aumento da pressão de vácuo pode dar informações sobre a presença de vazamentos, umidade ou resíduos de fluido refrigerante no sistema. Ela não dá informações sobre o local dos vazamentos. Os dispositivos de medição de vácuo para instalações de produção devem ter uma resolução de medição de 0,1 mbar. Para a construção de sistemas de refrigeração de campo, a resolução de 1 mbar é suficiente.
- Teste de vazamento de N_2/H_2 (detecção de vazamento por gás marcador): a detecção de vazamentos com o uso do gás marcador hidrogênio (H_2) é um método muito confiável e pode detectar mesmo vazamentos muito pequenos com uma taxa de vazamento de menos de 1 g/ano. Essa tecnologia permite que os profissionais de serviço façam um teste de vazamento em um sistema mesmo a uma pressão mais baixa de cerca de 5 bar. O "gás marcador", uma mistura de nitrogênio (N_2) e H_2, é usado geralmente em uma proporção de 95% de N_2 e 5% de H_2. O gás hidrogênio neutro quanto aos efeitos sobre o clima é a menor molécula encontrada na natureza. Dessa forma, ele pode escapar pelos menores vazamentos e até mesmo se difundir pelo material de isolamento ou outros tipos de materiais de cobertura. Isso faz com que seja possível testar as tubulações de transferência de fluido refrigerante ou

os componentes (incluindo conexões mecânicas) cobertos com material isolante sem removê-los ou danificá-los. Um detector especial de vazamento é necessário, pois os detectores de gás padrão não detectam o hidrogênio. Os detectores de hidrogênio não têm sensibilidade cruzada, e, por essa razão, um alarme falso vindo de gases externos não é possível.

- Teste de queda de pressão: o sistema é pressurizado até a pressão de trabalho nominal com OFDN, e a pressão é monitorada por algum tempo (pelo menos, 10 minutos) para verificar se há uma queda na pressão. Isso deve ser feito em um ambiente de temperatura constante. Esse método pode identificar se um sistema está vazando e pode dar uma indicação do tamanho do vazamento. Entretanto, ele não identifica a localização do vazamento e pode não reconhecer vazamentos muito pequenos.
- Detectores eletrônicos ultrassônicos de gás: um detector ultrassônico de gás é um instrumento especializado usado para detectar vazamentos de vapor ou gás em locais em que eles não podem ser vistos ou detectados pelo som ou cheiro. Os detectores ultrassônicos de vazamentos são frequentemente usados em aplicações industriais, nas quais podem ser usados para detectar vazamentos de fluido refrigerante de um *chiller* grande ou refrigerador industrial. Esses dispositivos também podem ser usados com segurança em conexão com gases tóxicos ou combustíveis. Um detector ultrassônico de vazamentos pode detectar as vibrações criadas no ar por vazamentos minúsculos de gás ou vapor sob pressão e transformá-los em um som de assovio audível ou um alarme que pode ser detectado facilmente pelo operador do detector de vazamentos. O detector ultrassônico de vazamentos usa ondas acima da frequência que os humanos podem ouvir. As ondas batem nas disrupções no ar ambiente causadas pelo vazamento de gás ou vapor, que são convertidas eletronicamente em um som útil que pode ser ouvido pela audição humana.
- Teste de resistência de pressão pressurizando o sistema com OFDN: o objetivo desse procedimento é avaliar a integridade do circuito de refrigeração e, assim, a integridade estrutural de um reparo realizado. Todo o sistema de refrigeração deve ser pressurizado até 1,1 vez a pressão máxima permitida (PS) para confirmar que os componentes usados e as técnicas de brasagem e o material de enchimento empregado estejam em um padrão que vai aguentar a pressão e condições iguais e acima dos parâmetros operacionais normais do sistema de refrigeração. O teste será considerado satisfatório desde que não aponte nenhuma distorção permanente visível de qualquer componente ou parte do sistema. O trabalho deve ser feito de acordo com as boas práticas de testes de pressão descritas no Capítulo 13.
- Sistemas fixos de detecção de fluido refrigerante: os sistemas fixos de detecção de fluido refrigerante são instrumentos que monitoram constantemente a ocorrência de vazamentos de fluido refrigerante examinando amostras do ar por meio de tubulações remotas e sensores dedicados instalados em pontos de amostragem selecionados em todo o sistema de refrigeração. Tais sistemas são equipados com alarmes sonoros e visuais integrados no caso de um vazamento ser detectado.
- Aditivos fluorescentes e luz ultravioleta: esse é um método no qual uma tintura fluorescente ou colorida é inserida no sistema e se desloca com o fluído

lubrificante por meio dos componentes do circuito. O ponto do vazamento é indicado pela emissão do fluido refrigerante vazando. Isso pode incluir uma lâmpada ultravioleta e algum método de colocar a tintura no sistema sem deixar qualquer mistura ou ar entrarem no sistema. Esses métodos de tintura podem ser mais demorados por causa do tempo que demora para a tintura vazar e ficar visível para o olho humano. A detecção ultravioleta de vazamentos é normalmente usada em sistemas de ar condicionado automotivo.

11.7 **Métodos indiretos de detecção de vazamento de fluido refrigerante**

A detecção indireta de vazamento de fluido refrigerante é baseada em boas práticas de serviço e manutenção. Condições e parâmetros operacionais, aparência e ruídos emitidos de um sistema de AVAC-R geralmente dão a primeira indicação de que há um vazamento de fluido refrigerante. Isso ajudará na decisão de adotar ou não métodos/atividades de detecção direta de vazamentos.

Uma ou mais destas condições poderia levar à conclusão de que há uma perda de fluido refrigerante:

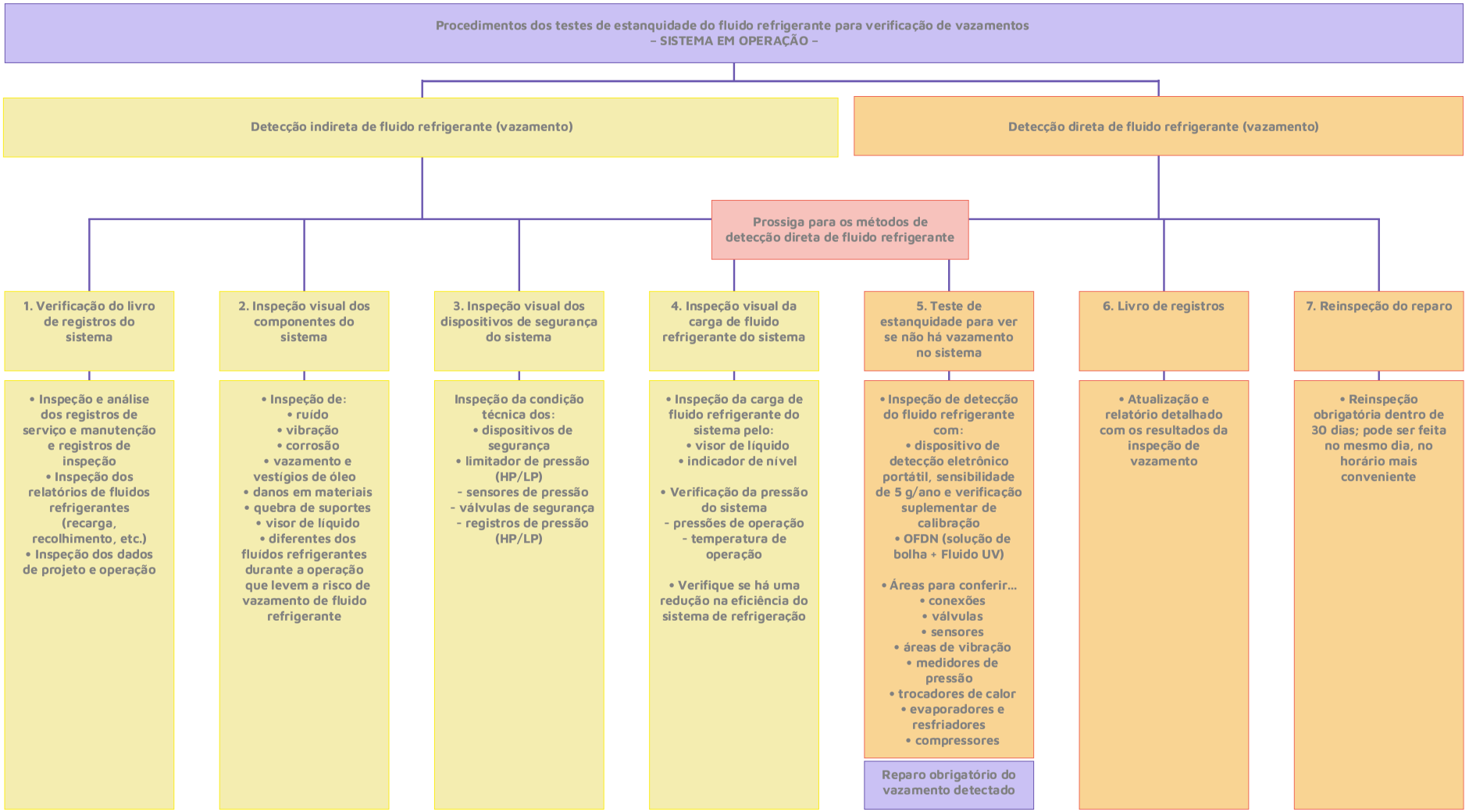
- Sinais visíveis de corrosão;
- Formação de gelo;
- Vibração;
- Ruídos anormais;
- Vazamentos e películas de óleo em componentes; e
- Danos em componentes ou materiais em possíveis pontos de vazamento; e
- Danos em interruptores de segurança, pressostatos, medidores e conexões de sensor.

Dependendo do tipo de sistema, as medições operacionais devem corresponder aos valores esperados. Em alguns casos, o sistema de controle dá um sinal ativo de que há falta de fluido refrigerante. Estas condições podem indicar uma perda de fluido refrigerante:

- Capacidade frigorífica insuficiente, isso é, o equipamento não está fornecendo refrigeração ou ar condicionado suficiente;
- As temperaturas desejadas não são atingidas;
- As pressões desejadas não são atingidas;
- A corrente do compressor não está de acordo com os valores especificados pelo fabricante;
- Os indicadores do nível do fluido refrigerante mostram carga insuficiente;
- O visor de líquido mostra bolhas indicando perda de fluido refrigerante;
- Ativação de um sistema de aviso de fluido refrigerante fixo;
- Sistema de controle eletrônico indicando o nível baixo do fluido refrigerante.

Se houver suspeita de perda/vazamento de fluido refrigerante, será necessário conduzir testes de estanqueidade e atividades diretas de detecção de vazamento no momento adequado (veja a Figura 474).

Figura 474 – Métodos diretos e indiretos de detecção de vazamentos



Fonte: Rolf Huehren.

12

RECOLHIMENTO, RECICLAGEM E REGENERAÇÃO

12 Recolhimento, reciclagem e regeneração

A liberação de fluidos refrigerantes naturais é praticamente inofensiva para o meio ambiente global (PDO=0, GWP=3), mas deve ser feita de maneira profissional, ou evitada por motivos de segurança e saúde:

- Amônia: toxicidade, inflamabilidade e asfixia;
- Dióxido de carbono: toxicidade e asfixia; e
- Hidrocarbonetos: inflamabilidade e asfixia.

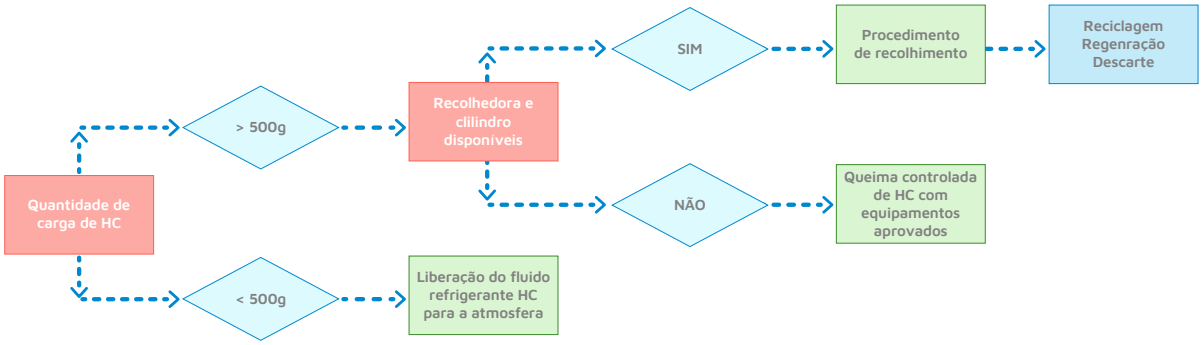
12.1 Liberação de hidrocarbonetos para a atmosfera

Todos os fluidos refrigerantes hidrocarbonetos são altamente inflamáveis e explosivos quando misturados com o ar. A questão da inflamabilidade é gerenciável se determinadas providências forem tomadas. Especificamente para o recolhimento de fluido refrigerante inflamável, determinadas precauções devem ser seguidas, conforme abrangidas por normas, regulamentos e a diretiva ATEX. Durante o manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis, deve ser usado um detector de gás (EPI).

O fluido refrigerante tem que ser recolhido em sistemas de AVAC-R antes de trabalhar no circuito de refrigeração, em caso de reparo ou antes da desmontagem. Também pode ser necessário extrair os resíduos de fluido refrigerante dos cilindros. O usuário do equipamento é responsável por realizar os processos de recolhimento de fluido refrigerante de acordo com as regras de segurança estabelecidas, com as respectivas fichas de dados de segurança (FDS) e com os manuais de operação do fabricante do equipamento.

O fluido refrigerante hidrocarboneto recolhido pode ser colocado em um cilindro de recolhimento, liberado para a atmosfera ou queimado de maneira controlada. A Figura 475 mostra qual procedimento é recomendado para diferentes casos.

Figura 475 – Visão geral das opções para remover o fluido refrigerante hidrocarboneto



Fonte: EN ISO 07010.

12.2 Liberação de dióxido de carbono (CO_2 – R-744) para a atmosfera

Como o CO_2 é considerado um fluido refrigerante de efeito neutro para o meio ambiente, não existe nenhuma proibição nas regulamentações sobre a descarga do CO_2 diretamente do sistema para o meio ambiente. Porém, o fluido refrigerante deve ser descarregado apenas em áreas externas ou ao ar livre. Se a quantidade de carga ultrapassar o valor limite atual, os conteúdos do sistema devem sempre ser descarregados em áreas externas. Ao descarregar maiores quantidades de carga, deve-se conferir até onde o gás alcança a partir do ponto de descarga (mais ou menos como acontece com os HCs). Deve-se assegurar que não haja possibilidade de ele fluir para porões etc. ou de se acumular em sumidouros no solo.

A descarga deve ser feita de modo que não haja formação de gelo seco dentro do sistema e que não haja gelo seco bloqueando o tubo de descarga nem a mangueira de descarga. Depois que o CO_2 tiver escapado, a sala precisa ser bem ventilada. Além disso, deve-se medir a concentração antes de permitir livre acesso das pessoas na sala. O nível de CO_2 deve ficar abaixo de 5.000 ppm (limite de exposição de longo prazo) e preferencialmente abaixo de 1.000 ppm.

12.3 Manuseio com liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera

Para fluidos refrigerantes hidrocarboneto, a liberação para a atmosfera pode ser feita, como alternativa ao recolhimento do fluido refrigerante, se o tamanho da carga for menor que 500 gramas. Isso porque os fluidos refrigerantes HC não apresentam PDO e têm GWP desprezível. Porém, isso só pode ser feito se for permitido pelas regras e regulamentos nacionais, seguindo o que estiver estabelecido neles.

Liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera	A liberação para o ar livre só pode ser realizada em sistemas que contêm menos de 500 g de fluido refrigerante HC. Quantidades maiores devem ser recolhidas ou queimadas de maneira segura.

Figura 476 –Exemplos de avisos de segurança

Risco de incêndio, explosão, asfixia e queimadura por frio em caso de vazamento do fluido refrigerante!				

Fonte EN ISO 07010.

Siga a ficha de dados de segurança (FDS) e as instruções no manual do Fabricante de Equipamento Original (OEM).

Antes de liberar o fluido refrigerante hidrocarboneto de um sistema para a atmosfera, certifique-se que as seguintes leis são cumpridas:

- As leis sobre segurança de substâncias perigosas;
- As leis sobre resíduos; e
- As leis ambientais.

A atmosfera explosiva ocorre a concentrações de fluido refrigerante entre 1,7 e 10,8 %/vol (veja também a norma ABNT NBR ISO 5149 Parte 1).

Equipamentos de proteção individual

Em caso de vazamentos maiores de fluido refrigerante, existe risco de explosão. Se necessário, entre na casa de máquinas apenas com equipamentos de filtro de proteção respiratória ou com um aparelho respiratório que seja independente da atmosfera ambiente.

Proteja o rosto e as mãos do contato direto com fluido refrigerante líquido. Use sempre óculos e luvas de segurança. Devem ser preenchidos os requisitos para equipamentos de proteção individual de acordo com a ABNT NBR ISO 5149 Parte 3.

Os empregadores são obrigados a proteger seus funcionários contra qualquer possível risco associado ao desempenho do funcionário no trabalho. Isso inclui a adoção de medidas de proteção adequadas e regulares para o pessoal de serviço técnico, como a instalação de sensores de gás nos equipamentos, equipamentos de proteção individual (EPIs) apropriados e medidas organizacionais, como supervisão, coordenação, regras de conduta, instruções de operação, instruções de segurança, projeto dos locais de trabalho.

Procedimentos de emergência têm que ser estabelecidos para trabalhar com o R-290. Cada técnico/a que trabalha em sistemas do R-290 precisa passar por treinamento para estar capacitado a adotar imediatamente os procedimentos de emergência relevantes em caso de alarme.

Use o EPI adequado para cada atividade!

1. Luvas e óculos de proteção contra queimadura pelo frio;
2. Macacão ou roupas com manga longa e calça comprida;
3. Calçados de segurança / sapatos fechados, sendo ideal o uso de botas com biqueira de aço; e
4. Confira se todos os EPIs necessários estão disponíveis e sendo usados corretamente antes de iniciar o trabalho.

Detecção de gás

Todas as casas de máquinas onde algum vazamento do R-290 possa levar a uma concentração acima do limite de concentração do fluido refrigerante de acordo com a ABNT NBR ISO 5149-1 e a ISO 817 precisam estar equipadas com um sistema de ventilação mecânico de emergência.

Os cabeçotes de medição e o sistema de aviso de gás devem ser adequados ao fluido refrigerante usado e devem ser testados de acordo com os intervalos de manutenção especificados pelo fabricante.

O sinal do alarme deve ser tanto sonoro (sirene) quanto visual (luz piscando). Esse aviso deve ser reconhecível dentro e fora da sala de instalação. Dependendo do fluido refrigerante usado, os detectores devem ser posicionados em um local adequado de acordo com a densidade em relação ao ar.

Precauções pessoais, equipamentos de proteção e procedimentos de emergência

1. Use um aparelho respiratório autônomo quando for entrar na área, a menos que a atmosfera seja segura;
2. O risco de uma atmosfera explosiva deve ser levado em conta;
3. Procure interromper o vazamento de gás;
4. Assegure a ventilação adequada;
5. Elimine as fontes de ignição; e
6. Evite a entrada em ralos, porões, fossos ou outros locais onde o acúmulo poderia ser perigoso.

Liberação de substâncias com hidrocarbonetos para a atmosfera

Requisitos para a mangueira:

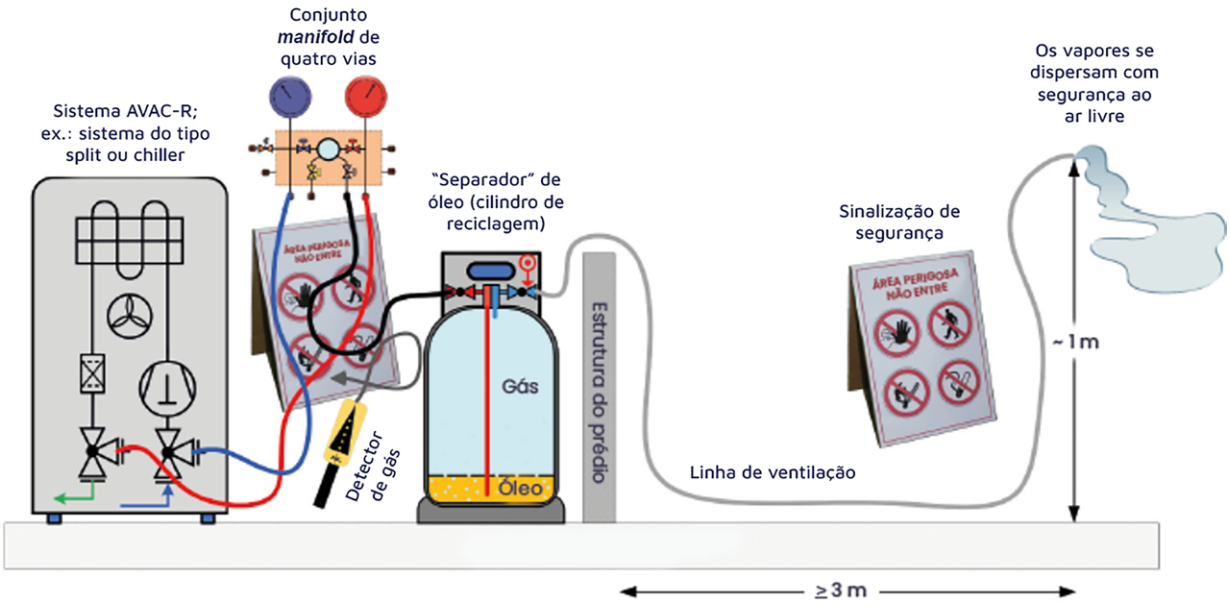
- A mangueira deve ter comprimento e diâmetro suficientes para alcançar até pelo menos três metros para fora do prédio;
- A mangueira tem que ser feita de material compatível para uso com fluidos refrigerantes HC e óleo;
- Deve-se usar um dispositivo para levantar a mangueira para ela ficar pelo menos um metro acima do nível do solo, para que a liberação fique apontada para cima, auxiliando assim na diluição do fluido refrigerante;
- Próximo à entrada da mangueira, é encaixado um dispositivo para separação de óleo, para evitar a emissão de óleo de refrigeração (extrair e descartar adequadamente). Um cilindro de recolhimento pode ser usado para isso; e
- De tempos em tempos, deve-se inspecionar a mangueira para ver se ela não tem furos ou torções que poderiam acarretar vazamento ou bloqueio da passagem do fluxo.

Precauções a serem tomadas:

- Em circunstância alguma é permitido liberar HCs para dentro do prédio;
- A liberação de HC para atmosfera não deve ocorrer em área pública, ou onde as pessoas não tenham conhecimento de que o procedimento está ocorrendo;
- A liberação para a atmosfera só deve ocorrer se não houver chance de o hidrocarboneto ser soprado de volta para os prédios adjacentes e de não migrar para algum local abaixo do nível de solo;
- A extremidade da mangueira pode descarregar e dispersar os vapores inflamáveis no ar ambiente. Não deve existir nenhuma restrição nem dobra acentuada dentro da linha de ventilação que obstrua o fluxo;
- Não pode haver fontes de ignição perto da descarga da mangueira; e
- Um sinal de aviso de gás inflamável deve ser colocado perto da descarga da mangueira e no local do sistema de refrigeração.

A Figura 477 mostra a configuração dos equipamentos para um cenário de liberação de fluido refrigerante HC inflamável para a atmosfera em um local de instalação.

Figura 477 – Liberação de fluido refrigerante HC para a atmosfera



Fonte: HEAT GmbH.

12.3.1 **Ferramentas e equipamentos**

1. Conjunto *manifold* com calibração para o fluido refrigerante em uso;
2. Conjunto de mangueiras de transferência de fluido refrigerante com conexão SAE ¼" (comprimento mais curto possível; por exemplo: 90 cm/36") com classificação de pressão de trabalho de 60 bar (870 PSI) e pressão de ruptura de 300 bar (4.350 PSI), registro bola na extremidade da mangueira (uma extremidade) e depressor de núcleo;
3. Mangueira plástica de comprimento adequado para uso como linha de ventilação (cerca de 15 m);
4. Um conjunto de válvulas de acesso para reduzir a liberação de fluido refrigerante durante a conexão do equipamento a aparelhos/válvulas de serviço do sistema (se necessário);
5. Cilindro de recolhimento ADR/DOT apropriado com válvula de acesso de duas portas e tubo de imersão (porta líquida), 42 bar WP, para servir como separador de óleo;
6. Adaptador da válvula do cilindro de recolhimento (se necessário);
7. Detector de fluido refrigerante inflamável dependendo da avaliação de risco. Mínimo: instrumento para detectar vazamento com classificação intrinsecamente segura. O ideal, especialmente para sistemas maiores e com riscos mais altos identificados, é um detector de gás (0-100% LII);
8. EPI de acordo com a avaliação de risco; e
9. Sinalização de aviso nas áreas de segurança (zona 2).

12.3.2 **Preparação para liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera**

1. Informe o dono do sistema (operador) e o supervisor; obtenha permissão para trabalhar (se necessário);
2. Use os EPIs conforme a necessidade;
3. Coloque a sinalização de aviso na área de trabalho. Conecte os equipamentos e ferramentas listados anteriormente, conforme indicado na Figura 477;
4. Desligue o sistema de refrigeração;
5. Verifique se não há fontes de ignição na zona de segurança (cerca de três metros);
6. Ligue o detector de gás (dispositivo de detecção de vazamento) em condição externa de ar livre e coloque-o no chão próximo ao equipamento, OU ligue o detector de gás (EPI), se disponível; e
7. Use um *manifold* (com visor de líquido) e conecte as mangueiras de transferência de fluido refrigerante, conforme a necessidade.

12.3.3 **Processo de liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera**

1. Confira se todas as conexões temporárias da mangueira de fluido refrigerante estão firmes (de acordo com a diretiva ATEX, todas as conexões são Zonas inflamáveis temporárias, Zona 2);

2. Abra as válvulas de bloqueio nos lados de alta pressão (onde disponível) e baixa pressão do sistema de refrigeração. Observe os manômetros no conjunto *manifold*. Os manômetros mostram a pressão de paralisação no sistema;
3. Se o sistema estiver pressurizado, abra as válvulas no conjunto *manifold* e no cilindro de recolhimento (separador de óleo), líquido e vapor;
4. Configure para uma baixa taxa de fluxo pela linha de ventilação para garantir que o fluido refrigerante fique bem diluído;
5. Verifique o fluxo do fluido refrigerante hidrocarboneto (indicações de pressão, visor de líquido no conjunto *manifold* e saída da linha de ventilação);
6. Observe se as seções com condensado estão visíveis na superfície do compressor (cárter do compressor) ou em seções da tubulação. Aqueça adequadamente essas seções; e
7. Continue liberando o fluido refrigerante, a menos que os manômetros indiquem 0 bar/0 PSIG (pressão atmosférica). Não se apresse; deixe o fluido refrigerante sair completamente do aparelho de refrigeração.

Observação O sistema ainda contém fluido refrigerante à pressão atmosférica.

12.3.4 **Após a liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera**

1. Feche todas as válvulas;
2. Tire o cilindro de recolhimento (separador de óleo) do local, e coloque as tampas de vedação nas portas de conexão. Faça o tratamento do cilindro de acordo com as exigências;
3. Faça a evacuação do sistema;
4. Depois que todo o processo de liberação de fluido refrigerante e remoção dos resíduos estiver concluído, faça *flushing* no sistema com OFDN para que o circuito de refrigeração fique inerte. Se isso não for possível, o sistema deve ser pressurizado com OFDN e o procedimento de liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto deve ser realizado novamente, para garantir que haja o mínimo de fluido refrigerante HC remanescente dentro do sistema.
5. Prepare o sistema para o próximo procedimento de trabalho; e
6. Se o fluido refrigerante do sistema de refrigeração tiver sido recolhido para descarte, marque o sistema (aparelho) com um marcador permanente escrevendo a palavra "VAZIO" em letras bem grandes.

12.4 **Manuseio com liberação do fluido refrigerante dióxido de carbono para a atmosfera**

O fluido refrigerante pertence ao grupo A1 conforme a ABNT NBR ISO 5149-1 e a ABNT NBR 16666. O fluido refrigerante R-744 não é inflamável. O fluido refrigerante é mais pesado que o ar, e, em caso de vazamento ou danos combinados com vazamento de fluido refrigerante, ele fica acumulado no nível do solo.

Em pequenas quantidades, o CO_2 não é tóxico, não é inflamável e não irrita a pele nem os olhos. Assim como praticamente todos os demais fluidos refrigerantes

(com exceção do R-717), ele não tem cheiro. **Porém, em concentrações moderadas ou altas, ele é perigoso.** Isso se deve a dois motivos: como ele é mais denso que o ar, ele pode se estratificar e deslocar oxigênio, levando a asfixia. Por outro lado, o CO_2 pode ser tóxico em níveis nos quais a falta de O_2 ainda não chega a ser um problema.

Embora o CO_2 seja classificado como fluido refrigerante A1 (não tóxico, não inflamável), ele é tóxico em níveis mais altos, logo apresenta limites mais baixos para locais de trabalho do que os HFCs/HCFCs (grupo A1).

O perigo do R-744 é estimado diferentemente dos outros fluidos refrigerantes halogenados (HCFCs, HFCs) do mesmo grupo de segurança A1. O dióxido de carbono se dissolve no sangue, influencia o centro respiratório no cérebro e a capacidade de absorção do oxigênio dos glóbulos vermelhos do sangue. Mesmo com uma concentração baixa de dióxido de carbono no ar, a respiração se acelera, e, com concentrações de 8% ou mais, já existe risco à vida, mesmo que ainda haja oxigênio suficiente no ar.

Liberação do fluido refrigerante CO_2 na atmosfera	Devido ao potencial perigo de asfixia, o fluido refrigerante não deve ser descarregado no sistema de esgoto, porões, fossos e salas em níveis mais baixos. Deve-se evitar a descarga de quantidades maiores na atmosfera.

12.4.1 Detecção e sensores de gás

O principal equipamento de segurança para o uso seguro do fluido refrigerante CO_2 são detectores de gás. Os sensores de gás têm que ser instalados em locais onde pode haver escape de CO_2 em áreas fechadas ou vedadas. O sensor dispara um alarme caso seja atingida uma concentração crítica, alertando assim as pessoas para não entrar no espaço, ou indicando que devem sair imediatamente do local.

Durante os procedimentos de recolhimento ou liberação de CO_2 para a atmosfera, deve-se usar um detector de gás individual (EPI) junto ao corpo (veja mais informações no Capítulo 5.9).

Todas as casas de máquinas onde algum vazamento do CO_2 possa levar a uma concentração acima do limite de concentração do fluido refrigerante de acordo com a ABNT NBR ISO 5149-1 e a ISO 817 precisam estar equipadas com um sistema de ventilação mecânico de emergência.

Em caso de alarme de gás:

1. Saia imediatamente da área afetada;
2. Informe as pessoas que estão próximas;
3. Assegure-se de que haja ventilação adequada; e
4. Só entre na área afetada se o alarme de gás estiver desligado e se o sistema de alarme de gás mostrar operação normal.

Se alguém precisar de resgate, só entre na sala usando um aparelho respiratório autônomo.

12.4.2 **Pressão muito alta do fluido refrigerante**

Em geral, o sistema de refrigeração do R-744 opera com pressões altas. Se o sistema estiver na posição DESLIGADA, ou se não estiver ligado na fonte de alimentação, também em baixa temperatura ambiente, podem se formar pressões de gás muito altas. Por esse motivo, estão instaladas válvulas de segurança que descarregam o gás CO_2, se ativadas, para o ambiente externo.

Regra básica:

Para cada aumento de 1°C na temperatura, a pressão do líquido preso de CO_2 se eleva em 10 bars.

Figura 478 –Exemplos de avisos de segurança (pressão alta)



Fonte: EN ISO 07010.

Siga a ficha de dados de segurança (FDS) e as instruções no manual do fabricante de equipamento original (OEM).

12.4.3 **Carga e esvaziamento do fluido refrigerante R-744**

Para esvaziar e carregar sistemas de CO_2, é importante integrar precauções especiais de segurança aos processos de trabalho.

Por exemplo:

1. Conectar um aparelho de pressão à parte do sistema que está sendo esvaziada;
2. Esvaziar áreas do sistema que contêm líquido apenas da fase de gás e, lentamente, através de uma válvula de controle de pressão, de modo que a pressão no sistema fique sempre bem acima de 6 bar para evitar a formação de gelo seco;
3. Não descarregar líquido diretamente no meio ambiente; transferir o fluido refrigerante líquido para um tanque apropriado com pressão superior a 6 bar;
4. Verificar o sistema com um manômetro para garantir que ele não contenha mais líquido antes de liberar o CO_2 para o meio ambiente. O nível de pressão aqui também deve ficar acima de 6 bar;
5. Não é permitido liberar válvulas bloqueadas com chama de gás ou similares;
6. Carregar sistemas ou vasos com o R-744 gasoso até atingir uma pressão do sistema em torno de 10 bar, depois encher com líquido; e
7. Não se deve usar um regulador de pressão para retirar líquido de um cilindro de R-744.

12.4.4 **Cilindro para carga e recolhimento do fluido refrigerante R-744**

Figura 479 – Cilindro genérico de aço do R-744 com válvula com duas portas



Fonte: Westfalen.

Os cilindros de gás comprimido com fluido refrigerante R-744 de duas portas estão disponíveis em diversos formatos. Para sistemas maiores, por exemplo, estão disponíveis cilindros de 33 litros com válvula de dupla conexão.
Essa válvula permite que a retirada inicial de gás leve o sistema para uma pressão acima do ponto triplo (por exemplo, 10 bar). Depois o dióxido de carbono pode ser carregado como líquido. Isso evita a formação de gelo seco.

Deve-se observar que algumas válvulas com duas portas vêm equipadas com uma válvula de retenção. Esses cilindros de gás pressurizado equipados com uma válvula de retenção **não são adequados** para recarga.

Figura 480 – Cilindro de R-744 recarregável com válvula com duas portas para líquido e vapor



Fonte: Beijer Ref / Carbotainer.

Cilindro de carbono para pressão de trabalho de 200 bar. O baixo peso dos cilindros de fibra de carbono possibilita otimizar o uso e o transporte do dióxido de carbono (R-744) em dois tamanhos (15 e 37,5 litros).



Figura 481 – Cilindro do R-744 com válvula de extração para líquido (tubo de imersão)



Fonte: BOC.

Cilindro do fluido refrigerante R-744 com válvula de extração para fase líquida (tubo de imersão).

Volume do cilindro: 50 litros;
Carga de fluido refrigerante: 37,5 kg.

- Os cilindros típicos de R-744 são pesados, então é preciso ter cuidado. Eles devem ficar presos quando manuseados. Se não estiverem presos, eles podem se movimentar quando abertos;
- O cilindro do R-744 costuma ser menos estável do que os cilindros de outros fluidos refrigerantes, por causa da razão entre o diâmetro e a altura deles, então eles devem ficar presos quando estiverem sendo usados e durante o armazenamento ou transporte;
- Devem-se usar os adaptadores corretos para os cilindros; as conexões não devem ficar acentuadamente dobradas (veja também o Capítulo 5.9 para obter mais referências);
- Devem ser usados os equipamentos apropriados para carga e liberação do R-744 para a atmosfera; e
- **Não é para usar mangueiras padrão nos manômetros de pressão.**

⚠ **Atenção:** No pior dos cenários, a válvula de segurança ou o tubo do dreno do sistema de CO_2 pode ficar bloqueado, resultando em um aumento descontrolado da pressão.

Para evitar que isso aconteça, as seguintes medidas são apropriadas:

1. Instalar uma válvula de segurança, ou válvula de alívio de pressão para líquido, internamente no sistema;
2. Posicionar a válvula de segurança de vapor ou gás longe de qualquer nível de líquido;
3. Posicionar a válvula de segurança na extremidade do tubo de descarga; ou
4. O tubo de descarga depois da válvula de segurança deve ser muito curto e sem dobras. A queda de pressão entre o tanque de líquido ou o sistema e a válvula de segurança deve ser inferior a 3% da pressão de abertura da válvula de segurança.

12.4.5 Pressão e temperatura — condições de segurança, como resfriamento de emergência e outros

O nível de pressão em sistemas de refrigeração com CO_2 é, significativamente, maior do que em sistemas com outros fluidos refrigerantes, o que inicialmente traz desafios de segurança adicionais.

Quando um sistema contendo CO_2 líquido estiver em ociosidade, a pressão do sistema poderá ficar maior, em algumas condições, do que a pressão de operação ou trabalho permitida dos componentes ou peças do sistema ou do sistema inteiro.

Portanto, pode ser necessário:

1. Resfriar todo o sistema, ou parte dele, durante o período de ociosidade usando um sistema de "resfriamento de emergência" separado. O circuito do CO_2 é protegido pela chamada "unidade *backup*", de modo que a temperatura não suba além de, digamos, -25 °C, quando o sistema estiver em ociosidade;
2. Ter uma fonte de alimentação independente para o sistema de resfriamento de emergência;
3. Prender todos os tubos e componentes que possam conter fluido refrigerante preso e equipá-los com uma válvula de alívio de pressão interna ou uma válvula de segurança externa;

4. Definir os procedimentos de desligamento e drenagem no manual de serviço, por exemplo, a sequência de desligamento e operação manuais das válvulas; e
5. Dimensionar a pressão em todo o sistema, inclusive a da válvula no bocal de enchimento (por exemplo, 90 bar).

12.5 Recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis

Para sistemas de AVAC-R com carga de fluido refrigerante maior que 500 gramas, na maioria dos casos recomenda-se recolher o fluido refrigerante em vez de fazer a liberação dele para a atmosfera.

12.5.1 Cilindros de recolhimento

Os cilindros de recolhimento são projetados especialmente para a extração de fluidos refrigerantes (e óleo) de sistemas de refrigeração. Os cilindros de recolhimento devem ter uma válvula com duas portas para fluido refrigerante liquefeito e gasoso. A estrutura deles deve ser conforme o ADR ou DOT. No momento, não existem cilindros de recolhimento conforme as normas do DOT para fluidos refrigerantes inflamáveis.

Figura 482 – Cilindro de recolhimento para gases inflamáveis conforme o ADR/TPED



Fonte: RDA UK.

Cilindro conforme o ADR

- Projeto/construção de acordo com ADR; EN 13322-1; TPED;
- Pressão mínima de teste = 48 bar;
- Pressão de operação = 38 bar;
- A conexão da válvula do cilindro é de rosca esquerda (é preciso usar um adaptador para conectar as mangueiras de fluido refrigerante – SAE ¼”).
- Válvula com duas portas para remoção de líquido e gás;
- Tubo de imersão;
- Válvula de segurança.

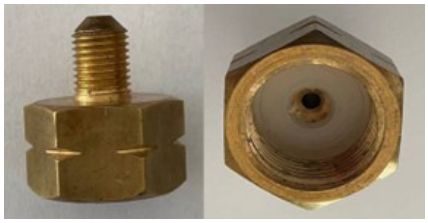
Figura 483 – Adaptador da válvula do cilindro HC R-290*



Fonte: HEAT GmbH.

* F. W21.8-14 DIN 477 – Conexão macho SAE ¼” (7/16” UNF).

Figura 484 – Adaptador da válvula do cilindro HFC R-32*



Fonte: HEAT GmbH.

*R F. W21.8 –1/14 LH - 1/2 - 16 ACME M. LH.

Figura 485 – Cilindro de recolhimento conforme o DOT



Fonte: HEAT GmbH.

Cilindro conforme o DOT:

- Capacidade de água: 11,9 kg (26,1 lb);
- Projeto/construção de acordo com DOT04BA400;
- Pressão de serviço: = 400 PSI / 27,6 bars;
- Pressão de teste do cilindro: 800 PSI / 55,2 bars;
- Conexão da válvula do cilindro para mangueiras de fluido refrigerante: SAE ¼";
- Válvula com duas portas para remoção de líquido e gás;
- Tubo de imersão; e
- Válvula de segurança.

⚠**Atenção: Não é recomendado usar esses cilindros de recolhimento para fluido refrigerante R-32!**

12.5.2 **Uso de cilindros de recolhimento**

- Não ultrapasse a capacidade máxima de carga do cilindro.

Quando um cilindro é preenchido com fluido refrigerante, a carga máxima deve ser sempre observada usando uma balança calibrada, levando-se em conta que possíveis misturas de fluido refrigerante–óleo apresentam densidade mais baixa que o fluido refrigerante puro. A capacidade utilizável de um cilindro deve, portanto, ser reduzida para uma mistura de fluido refrigerante–óleo (consulte a ABNT NBR ISO 5149-4; 6.3.2.4 para obter mais detalhes).

A capacidade de carga é uma função do volume interno do cilindro e da densidade do líquido do fluido refrigerante a uma temperatura de referência (80% de líquido por volume a 50 °C).

Por exemplo:

- A densidade do R-290 a 50°C é de 0,449 kg/dm³;
- A densidade do R-600a a 50°C é de 0,517 kg/dm³.

- Não ultrapasse a pressão permitida do cilindro em nenhuma operação, nem que seja temporariamente.
  - Válvulas especiais podem ser instaladas no cilindro do fluido refrigerante para evitar a possibilidade de encher demais;
  - A carga do cilindro pode ser feita de acordo com regulamentos nacionais ou regionais.

- Não misture diferentes fluidos refrigerantes; armazene em diferentes cilindros.

Não se deve colocar fluido refrigerante em um cilindro que contenha um fluido refrigerante diferente ou desconhecido. Se houver fluido refrigerante desconhecido dentro de um cilindro, ele não deve ser liberado para a atmosfera. Em vez disso, ele deve ser identificado (se possível) e recolhido, ou descartado de forma adequada.

⚠Atenção: Quando um fluido refrigerante é contaminado com outro fluido refrigerante, pode ser que fique impossível fazer a regeneração.

Sobrecarga de fluido refrigerante hidrocarboneto no cilindro

- ⚠ Os cilindros de recolhimento de fluido refrigerante, que são preenchidos com fluidos refrigerantes inflamáveis e ultrapassam a quantidade de carga permitida (fluido refrigerante e óleo), podem expor os operadores a altas concentrações de fluido refrigerante liberado;
- ⚠ Os cilindros cheios demais podem explodir;
- ⚠ Processos envolvendo conexões temporárias e sistemas sob pressão nunca devem ficar sem supervisão; e
- ⚠ A carga de fluido refrigerante nos cilindros deve ser monitorada com o uso de balanças de carga calibradas.

12.5.3 **Aviso de gases não condensáveis**

Para o recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis, é de fundamental importância evitar a transferência de gases não condensáveis (GNCs) para o cilindro de recolhimento. Os GNCs mais comuns são ar, nitrogênio, argônio e em alguns casos o dióxido de carbono. O ar deve ser especialmente evitado, porque ele contém oxigênio.

O ar pode entrar no sistema por diferentes maneiras. Ele pode ser sugado para dentro do sistema através de um vazamento no lado de baixa, se a pressão de sucção cair abaixo da pressão atmosférica. O ar pode já estar no circuito de refrigeração do sistema, que passará por manutenção, ou pode entrar no cilindro de recolhimento, durante o recolhimento do fluido refrigerante e o processo de transferência.



O oxigênio no ar cria uma mistura combustível crítica, a pressões mais altas, com fluidos refrigerantes que contêm hidrogênio (HCs, HCFCs, HFCs) e isso pode provocar acidentes fatais.

- Antes do recolhimento do fluido refrigerante, todas as mangueiras de transferência devem ser lavadas ou evacuadas para remover o ar ou outros GNCs e contaminantes!
- Durante o recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis, não opere o circuito de refrigeração em um vácuo!
- Não ative a função de anulação da pressão baixa da recolhedora. Interrompa o processo de recolhimento a 0 bar (0 PSIG) para evitar a entrada acidental de ar no cilindro de recolhimento;
- Depois que estiver concluído o processo de recolhimento do fluido refrigerante inflamável (A2L/A2/A3), deve ser realizado o *flushing* do sistema com OFDN; e
- Sempre que possível e se forem usadas substâncias únicas, confira no cilindro de recolhimento preenchido se há GNCs (especialmente ar) fazendo uma comparação de temperatura/pressão!

12.5.4 **Marcação de cilindros de recolhimento com fluidos refrigerantes inflamáveis**

O cilindro com o fluido refrigerante recolhido deve conter etiquetas que destaquem quaisquer condições especiais, por exemplo: "HC R-290 – recolhido – investigar antes do uso", de acordo com os regulamentos nacionais.

Uma faixa branca e vermelha em toda a lateral superior ou no topo do cilindro serve para designar compostos inflamáveis, ou misturas que poderiam se tornar inflamáveis em caso de algum vazamento (veja a Figura 486).

Figura 486 – Exemplo de cilindro recarregável para fluidos refrigerantes inflamáveis



Fonte: HEAT GmbH.

A Figura 487 mostra uma etiqueta do cilindro de recolhimento de fluido refrigerante (e óleo), como exemplo de recolhimento do HC R-290.

Figura 487 – Etiqueta do cilindro de recolhimento de fluido refrigerante (e óleo) (exemplo)

Etiqueta do cilindro de recolhimento de fluido refrigerante (e óleo)

Código da ONU	**1978**	}	Identificação do produto
Nome do produto	**R-290** **Propano**		
Endereço		}	Informações do fornecedor
Estado			
País			
Cidade			
Nº telefone			

Pictogramas de perigo





Palavras de sinalização

> Perigo <

Mantenha longe do calor / faíscas / chama aberta / superfícies quentes. Não fume.		}	Declarações de cuidado
Em caso de incêndio provocado por escape de gás: não apague até que o vazamento seja eliminado com segurança.			
Remova todas as fontes de ignição, se for seguro fazer isso. Tome as devidas medidas de precaução contra descargas eletrostáticas.			
Mantenha em local fresco e bem ventilado. Mantenha o cilindro bem fechado.			
Use luvas e óculos de proteção.			
Descarte conforme os regulamentos locais, regionais, nacionais e internacionais, conforme especificado.			
Em caso de incêndio: use extintor de incêndio com pó químico seco (BC) ou dióxido de carbono (CO_2) para apagar o fogo. Use spray de água para resfriar os cilindros expostos ao fogo.			
Primeiros socorros: Olhos > Lave imediatamente com água morna em grandes quantidades. **Pele >** Em caso de contato com a pele ou queimadura pelo frio, lave a área afetada com água morna. **Inalação >** A pessoa consciente deve ser levada até uma área não contaminada e respirar ar puro. **Procurar atendimento médico.**			

Gás extremamente inflamável		}	Declarações de perigo
Contém gás sob pressão; pode explodir se aquecido.			
Instruções de uso.		}	Informações sobre o cilindro
Data de envase			
Peso da carga			
Peso bruto			
Peso do cilindro			

Fonte: HEAT GmbH.

12.5.5 Interruptores de bloqueio de recolhimento de fluido refrigerante – Proteção conta sobrecarga (OFP) com cilindros conforme o DOT

A ideia inicial era que os sensores de desligamento OFP fossem um recurso de segurança para o recolhimento de fluidos refrigerantes com cilindros conforme o DOT e fluidos refrigerantes não inflamáveis.

Figura 488 – Cilindro de recolhimento de fluido refrigerante com conectores e interruptor OFP



Fonte: GIZ 2012.



Não use dispositivos OFP para processos de carga de cilindro de recolhimento nos quais haja presença de fluidos refrigerantes HC inflamáveis!
Eles podem funcionar como fonte de ignição.

Quando usados com uma recolhedora e um cilindro de recolhimento com OFP, esses interruptores simplesmente desligam a operação da máquina de recolhimento sem interromper o fluxo de fluido refrigerante.

Aviso: Nem sempre o interruptor OFP evita o excesso de carga em um cilindro de recolhimento, o que é extremamente perigoso para operadores, para a equipe que está prestando serviço e para o público em geral.

O perigo de segurança conhecido ocorre durante estas situações corriqueiras:

1. Durante procedimentos de recolhimento de fluido refrigerante "*push-pull*": depois que o sifão é iniciado, não basta desligar a máquina para evitar que o tanque seja enchido em excesso;
2. Quando se usa um cilindro com grande quantidade de fluido refrigerante frio e o recolhimento ocorre em um sistema a uma temperatura mais alta: o desligamento da máquina não interrompe o deslocamento do fluido refrigerante para o ponto mais frio (nesse caso, o cilindro de recolhimento), fazendo com que o cilindro fique sobrecarregado mesmo com a máquina desligada; e
3. O fluido refrigerante se expande conforme fica mais quente; os usuários devem tomar conhecimento disso.

12.5.6 Procedimento de recolhimento de fluidos refrigerantes gasosos ou líquidos

Os processos convencionais de recolhimento usados para quaisquer outros fluidos refrigerantes são também aplicados (com alguns ajustes) aos fluidos refrigerantes

inflamáveis. Porém, deve-se prestar especial atenção a determinados aspectos:

1. A recolhedora usada deve ser adequada para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis em geral;
2. Não deve haver nenhuma potencial fonte de ignição (as exigências são as mesmas de um sistema de refrigeração);
3. As mangueiras devem estar completas com acoplamentos de desconexão sem vazamentos e em boas condições;
4. Antes de usar a máquina de recolhimento, confira se ela está em condições satisfatórias de operação, com a manutenção em dia e se os componentes elétricos associados estão vedados para evitar a ignição em caso de liberação de fluido refrigerante. Consulte o fabricante se tiver alguma dúvida;
5. O cilindro de recolhimento deve ser adequado para o fluido refrigerante usado (especificamente em termos de classificação de pressão e compatibilidade das vedações das válvulas, etc.);
6. Providencie a quantidade certa de cilindros para que caiba a carga total do sistema;
7. Garanta que todos os cilindros usados sejam designados para o fluido refrigerante recolhido e tenham a etiqueta daquele fluido refrigerante (isto é, cilindros especiais para o recolhimento do fluido refrigerante). Os cilindros devem estar completos com válvula de alívio de pressão e as respectivas válvulas de bloqueio em boas condições de funcionamento;
8. Quando for conectar as mangueiras entre o sistema de refrigeração, o conjunto *manifold*, a recolhedora e o cilindro de recolhimento, confira se as conexões estão firmes e se não existe nenhuma potencial fonte de ignição por perto; e
9. Purgue as mangueiras, o conjunto *manifold* e a recolhedora antes, para evitar a entrada de ar. Tenha cuidado para reduzir ao máximo a emissão de fluido refrigerante, mas ao mesmo tempo garanta que sempre haja ventilação suficiente para diluir a liberação (use o ventilador).

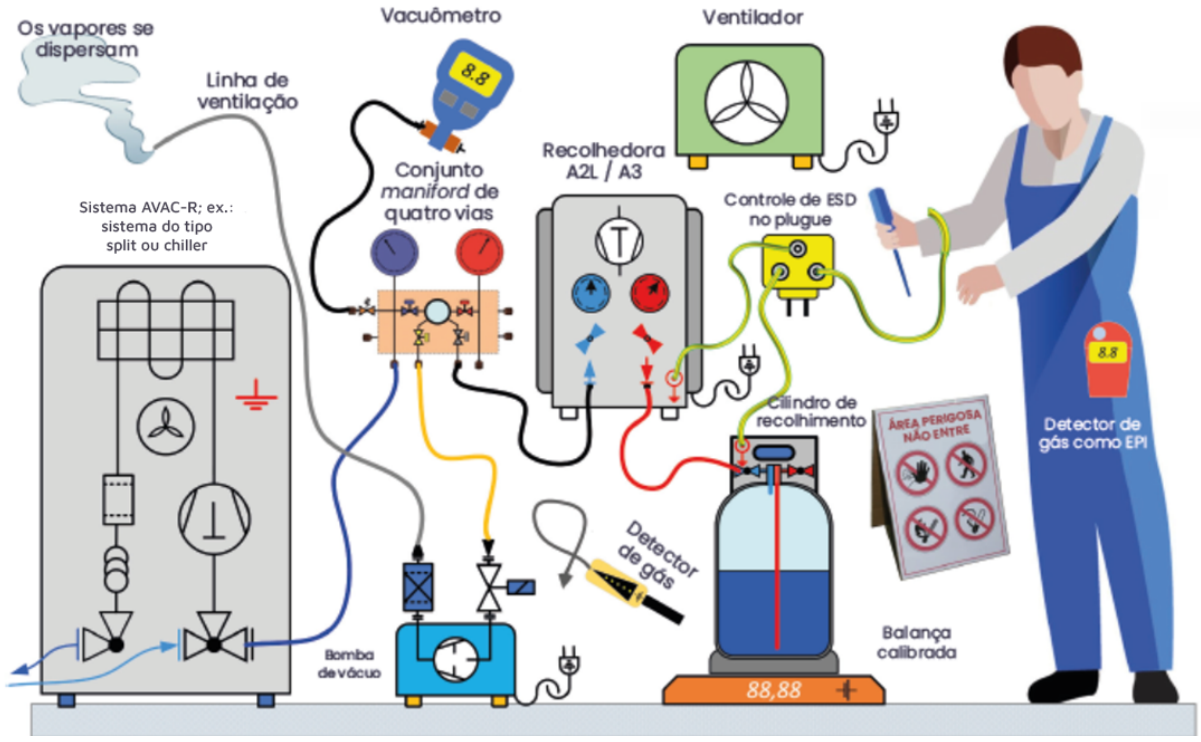
Observação:

- Deve-se evitar conteúdo com enriquecimento de oxigênio no ambiente do entorno do local de trabalho (por exemplo: recolhimento nas imediações de equipamentos de brasagem);
- A energia mínima necessária para a ignição pode ser reduzida consideravelmente se houver níveis elevados de oxigênio ou temperaturas. Os limites de inflamabilidade são ampliados a elevadas temperaturas e pressões. Isso significa que o limite inferior de inflamabilidade pode mudar para um valor mais baixo, e o limite superior de inflamabilidade pode mudar para concentrações mais altas.

12.5.7 **Descrição do processo**

A Figura 489 mostra um exemplo de configuração dos equipamentos para um cenário de recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis no local de instalação:

Figura 489 – Cenário de recolhimento de gás inflamável e exemplo de configuração de local de trabalho para instalação



Fonte: HEAT GmbH.

12.5.7.1 **Ferramentas e equipamentos**

1. Faça a evacuação apropriada do cilindro de recolhimento ADR/DOT (mín. 42 bar WP para uso com HC) com alívio de pressão e válvulas de bloqueio;
2. Adaptador da válvula do cilindro de recolhimento;
3. Recolhedora para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis (certificação A3 CE/UL);
4. Conjunto *manifold* de quatro vias com calibração para o fluido refrigerante em uso;
5. Conjunto de mangueiras de transferência de fluido refrigerante SAE ¼" (comprimento mais curto possível; ex.: 90 cm/36") com classificação de pressão de trabalho de 60 bar (870 PSI) e pressão de ruptura de 300 bar (4.350 PSI), registro bola na extremidade da mangueira (uma extremidade) e depressor de núcleo;
6. Conjunto de válvulas de acesso para reduzir a liberação de fluido refrigerante durante a conexão do equipamento a aparelhos/válvulas de serviço do sistema;
7. Balança com bateria calibrada e capacidade de cerca de 110 kg (resolução de 2g e precisão de +/- 0,5% do intervalo de medição);
8. Bomba de vácuo e linha de ventilação de fluido refrigerante; e
9. Filtro secador em linha (volume de 0,038 L) se aplicável, conexões flangeadas de ¼".

12.5.7.2 **Equipamentos de segurança**

1. Ventilador para ventilação da área de trabalho com capacidade mínima de 700 m^3/h;
2. Detector de fluidos refrigerantes inflamáveis (instrumento para encontrar vazamentos), classificação intrinsecamente segura, no mínimo;
3. EPI incluindo detector de gás (0 – 100% LII) seria o ideal;
4. Dispositivos de controle de ESD (pulseira, cabos e adaptador para cilindro, recolhedora e operador); e
5. Sinalização de aviso nas áreas de segurança (zona 2).

12.5.7.3 **Preparação do recolhimento**

Precauções de segurança

1. Avise o proprietário ou o supervisor do sistema, e obtenha permissão para trabalhar;
2. Desligue o sistema de refrigeração. Lembre-se das cinco regras de segurança elétrica;
3. Coloque a sinalização de aviso na área de trabalho. Conecte os equipamentos e ferramentas listados anteriormente, conforme indicado;
4. Conecte a tira de aterramento (controle de ESD) entre a recolhedora, o cilindro de recolhimento e o operador (para evitar o acúmulo de eletricidade estática); e
5. Use os EPIs conforme a necessidade.

Preparativos gerais

1. Confira se todos os equipamentos estão em boas condições de funcionamento;
2. Use um tubo de distribuição de fluido com válvula de quatro vias (com visor de líquido) e a calibração correta do fluido refrigerante;
3. Use um cilindro de recolhimento evacuado e limpo, adequado para fluidos refrigerantes inflamáveis. Se possível, ele pode ser até mesmo resfriado;
4. Coloque uma etiqueta no cilindro de recolhimento com o tipo correto de fluido refrigerante e o peso máximo de carga do fluido refrigerante a ser recolhido (veja também a Figura 487 como exemplo).
5. Coloque o cilindro de recolhimento sobre uma balança calibrada;
6. Coloque a extremidade da linha de ventilação da bomba de vácuo em um local seguro em área externa;
7. Ligue o detector de gás (dispositivo de detecção de vazamento) em condição de ar livre externo e coloque-o no chão próximo ao equipamento. Ou ligue o detector de gás (EPI), se disponível, ou um detector de gás para fluidos refrigerantes HC; e
8. Confira se todas as conexões temporárias da mangueira de fluido refrigerante estão firmes (zonas inflamáveis temporárias).

12.5.7.4 **O processo de recolhimento**

1. Mantenha a circulação de ar com o ventilador;
2. Opere a recolhedora conforme as instruções de operação do fabricante;
3. Observe os parâmetros operacionais no conjunto *manifold*, na recolhedora e nos detectores de gás;
4. Encha o cilindro de recolhimento com cuidado e vá monitorando na balança o peso do cilindro e, assim, do fluido refrigerante transferido. Não encha o cilindro com mais do que 80% do volume dele a 50°C. Monitore a pressão de descarga para garantir que a pressão máxima permitida do cilindro de recolhimento nunca seja ultrapassada;
5. Quando aparecer o nível 0 bar/PSIG no manômetro de BAIXA, feche ambas as válvulas BAIXA e ALTA do conjunto *manifold* e DESLIGUE a recolhedora para evitar possível ingestão de ar durante o processo de recolhimento. Não realize vácuo no sistema;
6. Quando a pressão no manômetro de BAIXA começar a subir, continue a operação;
7. Observe se há algum condensado visível nas seções de tubulação, no acumulador de líquido ou na superfície do compressor (cárter do compressor). Aqueça adequadamente essas seções usando um cobertor de aquecimento elétrico seguro, ou um pano embebido em água morna; e
8. Se o manômetro de BAIXA continuar mostrando 0 bar/PSIG, feche todas as válvulas do cilindro, *manifold* e mangueira.

Descarga eletrostática ESD	Tome providências de precaução contra descargas eletrostáticas (ESD), que podem ser uma fonte de ignição. ⚠O cilindro deve ser aterrado durante o uso e em conexão com as mangueiras de transferência de fluido refrigerante. A carga estática pode ser "criada" com a transferência de fluido refrigerante dentro das mangueiras e do cilindro.

12.5.7.5 **Etapas finais de recolhimento**

1. Anote a **quantidade atual de fluido refrigerante recolhido** e atualize a etiqueta do cilindro de recolhimento;
2. Tire o cilindro de recolhimento da balança, e coloque as tampas de vedação nas portas de conexão;
3. Opere a bomba de vácuo e realize o vácuo no sistema até cerca de 1.000 mícrons para remover os resíduos de fluido refrigerante do sistema e em particular o lubrificante do compressor;
4. Depois que todo o processo de recolhimento de fluido refrigerante e remoção dos resíduos estiver concluído, realize o *flushing* do sistema com OFDN para que o circuito de refrigeração fique inerte;
5. Prepare e realize os próximos trabalhos e tarefas de reparo/serviço para comissionamento do sistema;
6. Preencha o livro de registros do sistema e o formulário de reparo/serviço com os dados relevantes; e
7. Limpe o espaço de trabalho e informe ao dono/supervisor.

12.5.7.6 **Após o recolhimento**

1. O fluido refrigerante recolhido deve ser enviado para centros de reciclagem e regeneração no cilindro de recolhimento correto, com a respectiva nota/etiqueta de transferência de resíduos. Não misture os fluidos refrigerantes em recolhedoras e especialmente não misture nos cilindros;
2. Se os compressores ou óleos do compressor forem removidos, confira se eles foram evacuados até um nível aceitável para ter certeza de que não fique fluido refrigerante inflamável dentro do lubrificante. O processo de evacuação deve ser realizado antes da devolução do compressor para os fornecedores. Só aquecimento elétrico deve ser empregado no corpo do compressor para acelerar esse processo;
3. Quando for drenado óleo do sistema, o processo deve ser feito com segurança;
4. Purgue o cilindro que contém fluido refrigerante, se necessário, conforme descrito abaixo;
5. Sempre que possível, o cilindro de recolhimento cheio contendo fluido refrigerante HC inflamável deve ser purgado após o processo de recolhimento e antes do transporte para extrair os GNCs, sendo ar o mais importante deles;
6. Depois de separar o cilindro, ele deve ficar sem mexer por cerca de 30 minutos na sombra;
7. Depois disso, pode ser feita uma comparação de temperatura/pressão (pressão do cilindro e temperatura do fluido refrigerante específico) caso haja substâncias únicas no cilindro para verificar a presença de GNCs;
8. Os GNCs se acumulam na parte superior do fluido refrigerante liquefeito; e
9. Purgue os GNCs, por cerca de 10 segundos, abrindo a válvula de gás do cilindro.

13

ASSISTÊNCIA TÉCNICA E MANUTENÇÃO

13 Assistência técnica e manutenção

O profissional competente para trabalhar com sistemas AVAC-R é alguém que tem conhecimento suficiente na área de tecnologia de refrigeração, com base em seu treinamento e experiência profissional.

Este técnico/a (ou profissional instruído para esse fim) deve estar suficientemente familiarizado/a com os regulamentos relevantes de saúde e segurança, regulamentos de prevenção de acidentes e regras de tecnologia reconhecidas para poder avaliar a condição de trabalho seguro dos sistemas de refrigeração.

Em geral, os requisitos para o treinamento e a competência dos profissionais que fazem a manutenção, verificação e operação de sistemas de AVAC-R (Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração) estão especificados nas normas ISO 22712 e ABNT NBR 17131.

Para a realização de testes de vazamento em sistemas de refrigeração são estabelecidos requisitos específicos. De acordo com o Regulamento da UE 1005/2009, somente pessoas competentes podem ser contratadas para esse trabalho, as quais, com base em seu treinamento, conhecimento e experiência adquiridos, em pelo menos cinco anos de trabalho prático, possam garantir que o teste será realizado corretamente.

Em muitos países, é obrigatório por lei que os funcionários do segmento de AVAC-R recebam instruções de segurança recorrentes anualmente, sobre fluidos refrigerantes e sistemas de refrigeração para segurança e prevenção de acidentes.

O/A empregador/a (proprietário da empresa de serviços) deve instruir os profissionais declaradamente competentes antes de começarem a trabalhar pela primeira vez e em intervalos apropriados, mas pelo menos uma vez por ano, com relação ao seguinte:

- Os riscos envolvidos no manuseio de sistemas e equipamentos de refrigeração;
- As normas de segurança;
- O que fazer em caso de acidente ou mau funcionamento; e
- E sobre as medidas a serem tomadas.

O/A empregador/a só poderá empregar profissionais declaradamente competentes em instalações e equipamentos de refrigeração ou em salas de máquinas, se esses profissionais declararem que foram instruídos e se for presumível que executem suas tarefas de forma confiável.

Essa instrução recorrente deve conter os requisitos legais para a segurança ocupacional e os conhecimentos necessários para trabalhar em sistemas de refrigeração, assim como as normas relevantes do setor. Outros tópicos incluem

- A identificação dos possíveis perigos dos fluidos refrigerantes e dos sistemas de refrigeração;
- A importância das fichas de segurança e os requisitos para equipamentos de proteção individual, como detecção de gás e proteção respiratória;
- As medidas de primeiros socorros;
- O manuseio, armazenamento e transporte de cilindros de fluidos refrigerante;

- A proteção do circuito de refrigeração contra pressões de operação excessivas;
- A inspeção e o ajuste dos pressostatos;
- A ventilação (liberação para a atmosfera), o recolhimento e o descarte seguros de fluidos refrigerantes;
- O manuseio seguro de ferramentas de refrigeração; e
- O manuseio prático de recolhedoras e cilindros de fluido refrigerante.

Ao final da instrução anual, é emitido um certificado confirmando a participação no treinamento sobre o manuseio de fluidos refrigerantes e a operação de sistemas de refrigeração.

O/a empregador/a (operador/a de AVAC-R) deve deixar uma versão resumida das instruções de operação perto do equipamento. A versão resumida para sistemas de refrigeração deve conter (consulte também a ABNT NBR ISO 5149-2):

1. Tipo de fluido refrigerante;
2. Peso da carga do fluido refrigerante;
3. Sobrepressões operacionais permitidas;
4. Instruções para iniciar e parar o sistema;
5. Instruções para desligamento de emergência;
6. Instruções de segurança para o fluido refrigerante;
7. Aviso sobre a carga incorreta com fluido refrigerante errado;
8. Aviso sobre congelamento, especialmente do condensador e do refrigerador de água, em temperaturas baixas;
9. Aviso sobre o uso de equipamento de proteção individual; e
10. Orientação sobre o que fazer em caso de lesões (primeiros socorros).

13.1 Manutenção de sistemas com fluido refrigerante inflamável R-290 (HCs)

Os hidrocarbonetos, como o R-290, são fluidos refrigerantes naturais com potencial zero de destruição da Camada de Ozônio (PDO) e GWP insignificante (aprox. 3), sendo uma das opções mais ecológicas para o uso em AVAC-R.

A manutenção de sistemas de refrigeração com R-290 (propano) apresenta desafios únicos e exigem um manuseio cuidadoso, devido à natureza do fluido refrigerante. No entanto, os benefícios do uso de hidrocarbonetos, como o R-290, fazem deles uma opção cada vez mais popular em sistemas de AVAC-R industrial, comercial, residencial e doméstico.

Os profissionais que instalam, comissionam, reparam e fazem a manutenção de sistemas que usam HCs como fluido refrigerante devem ser treinados no manuseio seguro desse fluido refrigerante, antes de trabalhar nesses sistemas.

O presente capítulo, do manual, não é um guia completo para o comissionamento e a manutenção de sistemas com R-290, contudo destaca os pontos-chaves para sua aplicação.

13.1.1 Desafios na manutenção de sistemas com R-290

1. Inflamabilidade:

- Hidrocarbonetos, como o R-290, são altamente inflamáveis, exigindo a obediência estrita às normas de segurança, aos regulamentos e aos códigos de construção;
- As áreas de trabalho devem ser bem ventiladas para evitar o acúmulo de gás propano; e
- Para evitar incêndios e explosões, deve-se evitar faíscas, chamas abertas e equipamentos não certificados pela ATEX.

2. Equipamento especializado:

- As recolhedoras modelo padrão, para o recolhimento de fluido refrigerante, não podem ser utilizadas. São necessárias recolhedoras específicas para o recolhimento de fluido refrigerante inflamável;
- Ferramentas certificadas pela ATEX e equipamento à prova de explosão são essenciais; e
- Os detectores portáteis, de gás propano, devem ser usados para monitorar vazamentos.

3. Treinamento:

- Os/as técnicos/as qualificados/as devem conhecer as propriedades termodinâmicas exclusivas dos hidrocarbonetos e como seguir rigorosamente os protocolos de segurança;
- Esses técnicos/as qualificados/as devem ser treinados/as, especificamente, para manusear fluidos refrigerantes inflamáveis;
- O treinamento deve estar em conformidade com as normas de segurança locais e internacionais, como a ABNT NBR ISO 5149, EN 378 ou a IEC 60335; e
- Esse treinamento deve ser organizado para adquirir habilidades e conhecimentos para técnicos/as competentes, seguindo as especificações da ABNT NBR 17131.
- Limites de carga de fluido refrigerante:
- Os regulamentos limitam os sistemas a cargas de fluido refrigerante especificadas (dependendo da aplicação e do local de instalação); e
- Ou seja, o tamanho e a capacidade de refrigeração de unidades individuais podem ser limitados.

4. Detecção de gás:

- O baixo peso molecular do propano (menor que o do ar) faz com que este gás seja propenso a vazamentos; e
- A detecção de vazamentos deve ser precisa, pois, vazamentos não detectados representam riscos à segurança e ao desempenho.

5. Armazenamento e manuseio:

- O armazenamento adequado dos cilindros de R-290 é essencial para minimizar os riscos de incêndio ou explosão; e
- As normas de transporte devem ser seguidas, devido à classificação do hidrocarboneto (por exemplo, R-290) como material perigoso.

13.1.2 **Importância da manutenção de sistemas com R-290**

1. Benefícios ambientais:
- O R-290 apresenta um GWP de 3, sendo uma opção ecológica de fluido refrigerante se comparado a HFCs e a HCFCs; e
- O potencial de destruição da Camada de Ozônio (PDO) do R-290 é zero.

2. Eficiência energética:
- Sistemas com R-290 são altamente eficientes do ponto de vista energético, contribuindo para a redução dos custos operacionais;
- A manutenção correta garante que o sistema opere com eficiência plena, maximizando a economia de energia; e
- Hidrocarbonetos são usados geralmente em geladeiras domésticas e comerciais, nos sistemas de refrigeração de supermercados, em aparelhos de ar condicionado e nos processos industriais, onde o tempo de inatividade pode representar alto custo.

3. Conformidade com as regulamentações:
- O aumento das regulamentações globais, como as da Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal, incentiva ou exige o uso de fluidos refrigerantes com baixo GWP, como o R-290.

4. Vida útil do sistema:
- A manutenção regular minimiza o desgaste, evita vazamentos e aumenta a vida útil do equipamento; e
- A manutenção preventiva garante que medidas críticas de segurança, como detecção de gás, ventilação e dispositivos de segurança, continuem funcionais.

5. Garantia de segurança:
- A manutenção adequada reduz os riscos relacionados à inflamabilidade do R-290; e
- Ela garante a segurança do usuário final ao manter a integridade do sistema e prevenir vazamentos.

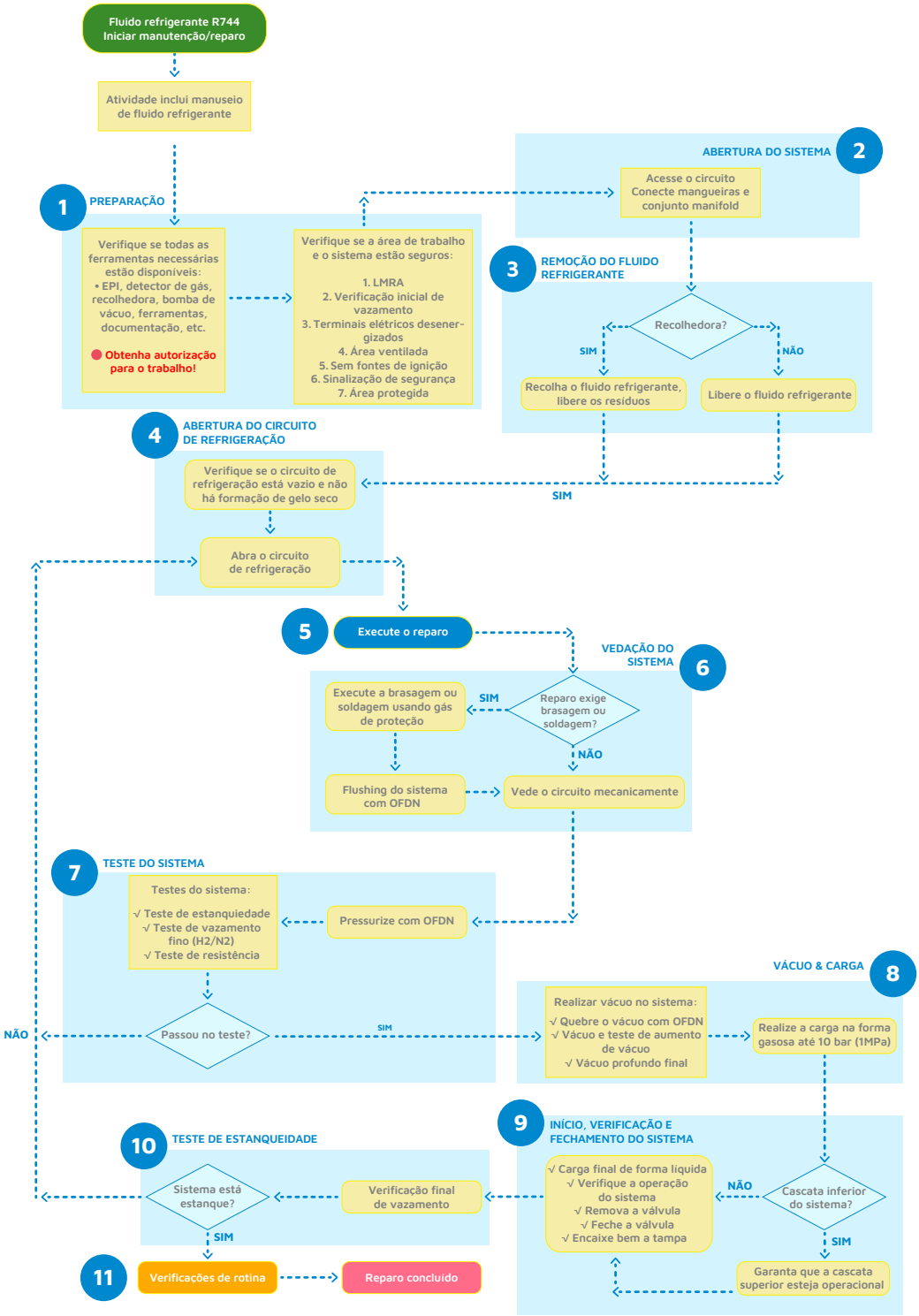
13.1.3 **Práticas recomendadas para a manutenção de sistemas com R-290**

Em geral, para a realização de serviços em sistemas com fluidos refrigerantes HC, siga as boas práticas em refrigeração recomendadas, como:
- Siga as normas de segurança do setor (por exemplo, ABNT NBR ISO 5149, ISO 5149, EN 378, ISO 22712, ABNT NBR 17131, IEC 60335) e os manuais do fabricante;
- Use componentes certificados para o circuito de refrigeração;
- Para reparos, use somente peças de reposição do fabricante do equipamento original (OEM);
- Utilize ferramentas avançadas de detecção de vazamentos para identificar e resolver os vazamentos imediatamente;
- Os/as técnicos/as competentes devem usar EPI adequado e roupas resistentes ao fogo bem como outros equipamentos de proteção individual, por exemplo, ferramentas para evitar descarga eletrostática (ESD);

- A verificação regular do sistema é obrigatória, incluindo inspeções periódicas para detecção de vazamentos e o monitoramento do desempenho do sistema; e
- O objetivo é garantir que todos os/as técnicos/as sejam devidamente treinados/as para o manuseio seguro de fluidos refrigerantes inflamáveis.

13.1.4 **Passo a passo para a manutenção de sistemas com fluidos refrigerantes HC**

Figura 490 – Passo a passo para a manutenção de sistemas com fluidos refrigerantes HC



Fonte: Rolf Huehren.

13.1.5 **Descrição das Etapas, de nº 1 a 11, de trabalho em sistemas de refrigeração HC**

1	Preparação de um local de trabalho seguro para a manutenção de sistemas de refrigeração com HC (R-290, R-600a, R-1270)

O sistema HC é o nível superior de um sistema em cascata com R-744

- Esteja ciente de que o sistema R-744 (nível inferior da cascata) requer, em geral, a funcionalidade do sistema HC de nível superior.
- Quando o sistema HC de nível superior é desligado para fins de manutenção, certifique-se de que o sistema de resfriamento de emergência auxiliar e independente (HC) do sistema R-744 de nível inferior esteja operando bem.
- Se houver um sistema de resfriamento de emergência auxiliar, é possível que ele seja usado para manter a pressão do R-744 do nível inferior da cascata abaixo das pressões de descarga das PRVs por um curto intervalo de tempo, se não houver carga no sistema.
- Se isso falhar, haverá a ativação dos dispositivos de segurança do sistema de R-744 e uma descarga de R-744.
- A ativação recorrente da válvula de segurança do R-744 pode levar à perda de integridade da válvula de segurança (estanqueidade) e exigir o reparo, ou a substituição dos dispositivos ou da válvula de segurança, de acordo com as especificações do fabricante do equipamento original (OEM).

A realização de serviços em sistemas AVAC-R, que utilizam fluidos refrigerantes inflamáveis, exige a preparação minuciosa do profissional qualificado. É preciso garantir a segurança completa, devido à inflamabilidade do fluido refrigerante, aos possíveis efeitos de sufocamento (os gases são inodoros - veja Capítulo 3) e ao congelamento do fluido refrigerante líquido. O primeiro objetivo de segurança sempre é manter os sistemas de refrigeração estanques! É obrigatório consertar vazamentos imediatamente, assim que detectados!

Símbolos gerais da sinalização de segurança

A sinalização de segurança para sistemas com fluidos inflamáveis é fundamental para garantir a conscientização e a conformidade com as normas de segurança. Essa sinalização normalmente inclui elementos visuais, e textos específicos, para comunicar os perigos de forma eficaz. A Figura 491 apresenta alguns exemplos de elementos comuns, que devem fazer parte da sinalização de segurança em sistemas de refrigeração com fluidos inflamáveis.

Figura 491 – Exemplos de símbolos gerais da sinalização de segurança - R-290



Fonte: Rolf Huehren, com base na norma ISO 7010.

Solicitação de Autorização de Trabalho para a Realização de Serviços em AVAC-R

Ao realizar serviços em sistemas de AVAC-R, obter uma autorização de trabalho (veja Anexo 2) garante o cumprimento de requisitos de segurança, ambientais e legais.

⚠O processo envolverá a execução de uma Análise de Risco de Última Hora (LMRA) – veja exemplo no Anexo 1 – no local de trabalho para identificar possíveis perigos, como a presença de fluidos refrigerantes inflamáveis e gases combustíveis em excesso (por exemplo, gases combustíveis para brasagem). Essa análise de risco também deve mencionar se haverá execução de trabalhos a quente, trabalhos em altura, em espaço confinado, em instalações elétricas, etc. e, então, determinar as medidas de controle necessárias.

Use formulários já preparados para diferenciação entre as tarefas de trabalho e de orientação. Defina claramente as tarefas e os assuntos, como manutenção ou reparo do sistema, manuseio de fluido refrigerante, o tipo de fluido refrigerante (por exemplo, R-290 e/ou outros), ferramentas elétricas e equipamentos operados eletricamente (recolhedoras, bomba de vácuo, ventilador de segurança, etc.).

Obtenha uma autorização formal de trabalho detalhando o projeto, as medidas de segurança, as certificações dos/as técnicos/as e a adesão às normas relevantes (por exemplo, ABNT NBR ISO 5149). Certifique-se de que o/a técnico/a qualificado/a seja habilitado para a manutenção de AVAC-R, especialmente para o manuseio de equipamentos e substâncias especificadas e perigosas.

⚠As autorizações de trabalho precisam ser verificadas e aprovadas pela autoridade competente, como um supervisor, um gerente local, diretor de segurança ou órgão regulador.

Proibições expressas em todas as áreas de trabalho

Para locais de trabalho onde há manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis, proibições expressas são essenciais para garantir a segurança e o cumprimento das normas, dos códigos de construção e os regulamentos.

Figura 492 – Exemplos de sinalização de proibições expressas na área de trabalho - R-290



Fonte: Rolf Huehren, com base na norma ISO 7010.

Use Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados

Nos locais de trabalho onde há manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis, os profissionais devem usar roupas de trabalho fechadas, apropriadas, luvas resistentes a produtos químicos (ou luvas de trabalho), calçado de segurança e óculos de proteção, para se proteger contra a exposição acidental a fluidos refrigerantes ou outros perigos identificados. Para informações mais detalhadas sobre segurança, consulte o Capítulo 3 desse manual de treinamento.

Figura 493 – Exemplos de placas de sinalização de EPI - R-290



Fonte: Rolf Huehren, com base na norma ISO 7010.

Realização de verificações de segurança antes da manutenção

Antes de iniciar o trabalho, o profissional deve confirmar se o sistema usa fluido refrigerante inflamável, para evitar o uso de ferramentas ou equipamentos incompatíveis. Ao realizar o trabalho de manutenção, deve usar um dispositivo pessoal de aviso de gás inflamável.

⚠ **Atenção:** Certifique-se sempre de que os sistemas de detecção de gás estejam funcionando!

O alto risco de aumento da concentração de gás inflamável na área de trabalho

Durante o manuseio de fluidos inflamáveis (fluidos refrigerantes e gases combustíveis, por exemplo, para procedimentos de brasagem), preste atenção ao sinal do sistema de aviso de gás antes de entrar nos ambientes. Uma concentração elevada de gás inflamável é indicada por um sinal acústico e/ou visual.

⚠ **Atenção:** O Sistema Mundial Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS) das Nações Unidas é um sistema padronizado a nível global para a classificação de produtos químicos e sua rotulagem em embalagens e fichas de segurança. A classificação de fluidos refrigerantes diverge da classificação de segurança dos fluidos refrigerantes (A1, A2L, A2, A3, B2L, etc.), como indicado na ISO 817 e na ABNT NBR 16666. O Regulamento GHS, ainda não tem tal classificação. De acordo com o GHS, as substâncias são testadas quanto à inflamabilidade em misturas com ar a 20 °C e 101,3 kPa de pressão. Se for determinada uma inflamabilidade de 13% em volume ou menos ou uma faixa de ignição de pelo menos 12 pontos percentuais, independentemente do limite inferior de ignição, essas substâncias são classificadas nas categorias 1A, 1B e 2. O Grupo 2 compreende todos os fluidos refrigerantes inflamáveis não pertencentes às categorias 1A ou 1B.

⚠ Categoria de perigo 1A do GHS – Advertência de perigo H220 – Gás altamente inflamável (por exemplo, o R-290).

⚠ A categoria 1A inclui os fluidos refrigerantes inflamáveis, como o R-290. A título de exemplo, veja as consequências descritas na ABNT NBR ISO 5149-2, Anexo C2 (Classificação de segurança do fluido refrigerante), atentando à seção 5.3 "Ensaios", descrita na mesma norma.

⚠ Consulte também os Capítulos 5.5.1.3 e 5.10.12.4 sobre o GHS e outras classificações de segurança de fluidos refrigerantes para transporte e uso.

-1-

O limite do sistema de alarme fixo de gás A3

Dependendo do fluido refrigerante utilizado no sistema, o(s) detector(es) precisa(m) estar posicionado(s) em um local adequado conforme a proporção de densidade em relação ao ar. O R-290 é mais pesado que o ar (veja abaixo) e é classificado como fluido refrigerante A3.

Os cabeçotes de medição e a unidade de controle de alarme de gás devem ser adequados ao fluido refrigerante usado; e devem ser verificados de acordo com os intervalos de manutenção especificados pelo fabricante. Ao selecionar o sistema de alarme do gás, os circuitos sequenciais necessários e o comportamento do sistema de medição, quando a faixa de medição for excedida, também devem ser considerados.

O limite do alarme a ser configurado normalmente fica entre 10% e no máximo 40% do LII (limite inferior de inflamabilidade).

Como regra comum, são configurados dois limites de alarme: um pré-alarme e um alarme principal. A experiência tem mostrado que o pré-alarme não é definido acima de 20% do LII. O sinal do alarme deve ser tanto sonoro (sirene) quanto visual (luz piscando). Os alertas devem ser notados tanto dentro quanto fora do ambiente da instalação do sistema.

LII:	1,7 vol. % (0.038 kg/m^3);
LIS:	10,8 vol. %;
Autoignição:	470 °C; e
Massa molecular:	44 g/mol (ar = 28,96 g/mol).

O sistema de detecção de gás fixo instalado nos laboratórios-escola modelo mini supermercado no Brasil é da Carel GDWR, para fluidos refrigerantes R-290, da classe A3. Normas: EN 50270; EN 50561-1; UL 61010-1; IEC 61010-1; EN 61010.

⚠ Antes de trabalhar em áreas com detector de gás fixo (Sistema Carel fixo), consulte o manual do usuário do fabricante do equipamento original (OEM).

-2-

Detector de gás R-290 – Instrumento para busca de vazamentos

O detector de vazamentos INFICON Gas-Mate (adquirido para a realização do projeto por meio de licitação internacional) detecta gás natural, como propano (R-290), isobutano (R-600a), amônia (R-717), gás marcador N_2/ H_2 (95%/5%), e outros.

- A sensibilidade é de 5 ppm (com "sensor de gás Figaro");
- Intrinsecamente seguro para uso em ambientes combustíveis/explosivos;
- Funciona com duas baterias de célula D; e
- Normas – CE, UL 913 classe I, divisão 1, grupo A-B-C e D.

⚠ O Gas-Mate detecta vazamentos conforme descrito acima, mas pode não indicar a presença de uma atmosfera perigosa devido à sua função de ZERAGEM AUTOMÁTICA. O fato de o Gas-Mate não apresentar leitura, não deve ser considerado um indicativo de que a atmosfera é totalmente segura.

⚠ Para evitar a ignição de atmosferas perigosas, a bateria só deve ser trocada na área sabidamente não perigosa e, completamente, livre de gás combustível (área externa).

⚠ Use somente baterias Duracell MN1300 para manter a homologação intrinsecamente segura.

⚠ Dentro do dispositivo não há peças que possam ser reparadas pelo usuário. Não desmonte o Gas-Mate (exceto para troca de baterias).

⚠ Sempre verifique a operação do instrumento, antes e depois de qualquer uso, com um vazamento de referência, como o HTP LS-R290.

⚠ Antes de usar/manusear o detector de gás (*sniffer*), consulte o manual do usuário do fabricante do equipamento original (OEM).

-3-

EPI – Detector de gás R-290

***GASMAN (CROWCON)* – Propano (C_3H_8)**

O detector de gás *Gasman* (adquirido para a realização do projeto por meio de licitação internacional) é um Equipamento de Proteção Individual (EPI), portátil, para ser carregado junto ao corpo, que mostra a concentração de LII na área de trabalho.

⚠ **Zeragem e calibragem, certifique-se de que o dispositivo esteja em ar limpo!**

O *Gasman* é fornecido com uma função de zeragem automática, que é ativada quando o dispositivo inicia o funcionamento. Essa função pode ser configurada para operação automática ou para confirmação pelo usuário ou completamente desativada (consulte o manual do usuário do fabricante).

O dispositivo tem funções de alarme sonoro, visual e vibratório; e conformidade com as normas de desempenho de detecção de gás EN 50054, EN 50057, EN 61779-1, EN 50104 e EN 50270, certificadas pelo Lloyds Register.

⚠ Assegure a ventilação adequada (veja a Figura 494)! Por exemplo, ligue a ventilação forçada na casa de máquinas ou abra portas e janelas.

⚠ Use o ventilador portátil para realizar serviços em sistemas de AVAC-R com fluidos refrigerantes inflamáveis (confira a Figura 495).

Figura 494 – Garanta a ventilação apropriada na área de trabalho



Fonte: EN ISO 07010 - M057.

Figura 495 – Ventilador de segurança



Fonte: RDA.

- Verifique se rotas de resgate e de fuga estão livres. Elas não devem estar bloqueadas por cilindros de fluido refrigerante, materiais de montagem, lixo ou similares.
- Informe o proprietário, supervisor ou cliente do início dos trabalhos. Informe também sua saída ao concluir o trabalho.
- Verifique se toda a documentação necessária – como, por exemplo, manuais de manutenção e segurança do fabricante do equipamento original (OEM), as fichas de dados de segurança (FDS) – está disponível e foi compreendida.
- Desconecte e isole o sistema, ou partes do sistema em que está trabalhando, de sua fonte de energia.
- Faça uma verificação preliminar de vazamentos, usando ferramentas não-invasivas (detector de gás), para identificar qualquer vazamento significativo no sistema.

Organize um ambiente de trabalho seguro

Comece os trabalhos preparatórios definindo, protegendo e identificando (sinalização de segurança) um espaço de trabalho desobstruído e bem ventilado para a manutenção. Dessa forma, o risco de acúmulo de gás inflamável perigoso (do sistema e dos cilindros de fluido refrigerante) é reduzido, assim como a possibilidade de a perturbação dos trabalhos por pessoas não autorizadas. Não é permitido usar telefones celulares. Desenergize o sistema de modo apropriado, e siga as orientações do fluxograma de isolamento elétrico seguro (veja Anexo 5).

Providencie ferramentas adequadas para o espaço de trabalho

Para trabalhar com fluido refrigerante inflamável R-290 (A3), use somente ferramentas e equipamentos certificados. Use apenas recolhedoras, bombas de vácuo e ventiladores de segurança com classificação A3. Os detectores de gás devem ser colocados (em instalação fixa e como EPI) para monitorar vazamentos durante a realização de serviços. Após a verificação inicial de vazamento em AVAC-R com o detector de gás, coloque o dispositivo ativado dentro da área de segurança no nível do solo (durante a entrada no sistema, o recolhimento do fluido refrigerante, a ventilação do fluido refrigerante, o procedimento de vácuo e a carga do fluido refrigerante).

Além disso, certifique-se da disponibilidade de cilindros de recolhimento apropriados e com a classificação específica para fluidos refrigerantes inflamáveis, que estejam etiquetados de modo correspondente.

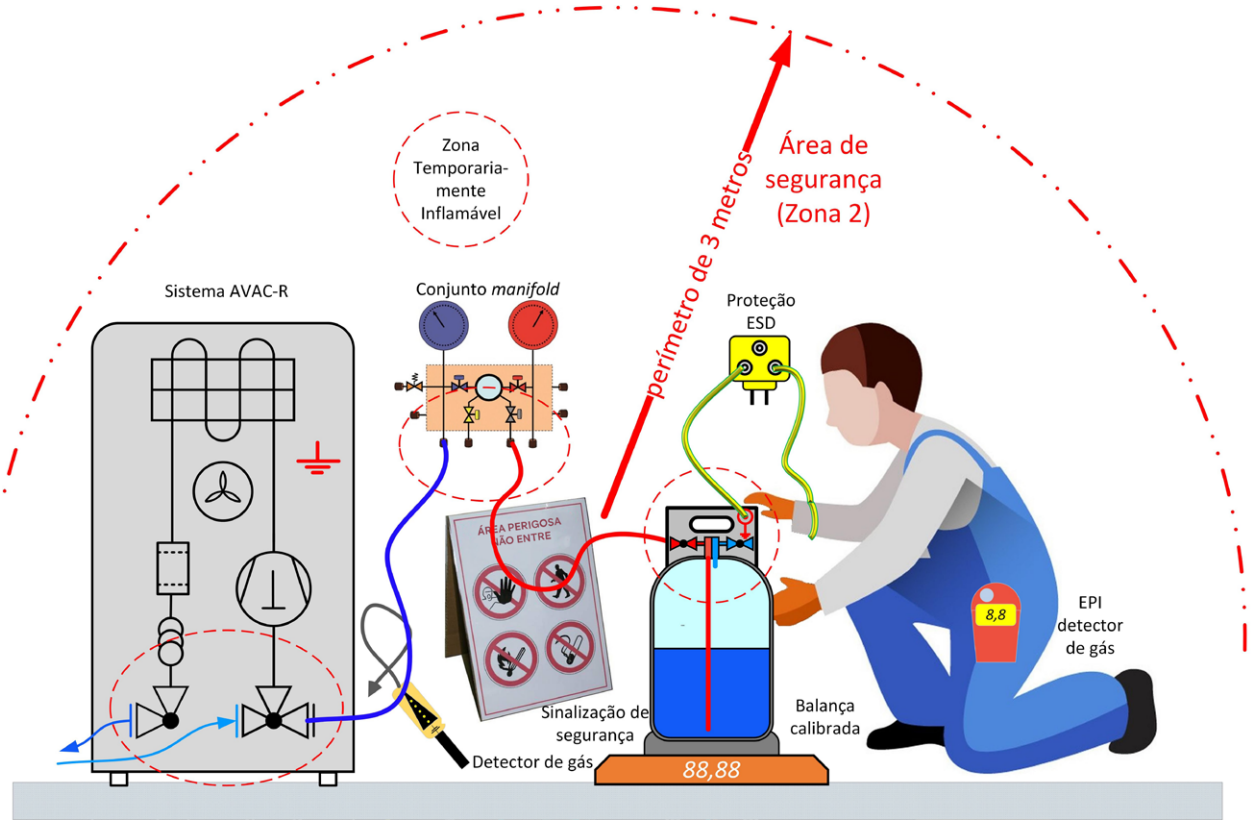
Defina e siga os protocolos de segurança

Coloque um extintor de incêndio apropriado em sua área de trabalho, que seja adequado para trabalhar com equipamentos elétricos. Provavelmente, um balde de água por perto (dependendo da tarefa a ser feita, se houver brasagem envolvida) será útil. Certifique-se de que haja um plano de emergência claro, incluindo um procedimento de evacuação e pontos de encontro designados. Todos os membros da equipe devem ser informados sobre os protocolos de segurança e a natureza das tarefas perigosas.

Aviso sobre risco residual

- O fluido refrigerante inflamável pode estar sempre nas proximidades.
- Libere o fluido refrigerante HC, somente em quantidade razoável, em um ambiente externo seguro.
- Coloque sinalização de segurança.
- Use o EPI adequado e um detector de gás, no caso de aumentar a concentração de fluido refrigerante acima do LII.
- Respeite o conceito de área de segurança (veja a Figura 496) e as zonas inflamáveis temporárias.
- Todas as válvulas, que podem ser operadas manualmente, são protegidas por meio de uma tampa e só podem ser operadas por meio de uma ferramenta.

Figura 496 – Organização de ambientes de trabalho seguros e disposição das ferramentas apropriadas



Fonte: Rolf Huehren.

2 Abertura do sistema

No contexto de aplicações de AVAC-R "abertura do sistema" se refere normalmente à realização de qualquer operação/intervenção que rompa a vedação do circuito de refrigeração.

⚠ Em geral, tais atividades são permitidas somente para profissionais qualificados.

Na pior das hipóteses, essas ações permitem a entrada de ar ou umidade no circuito de refrigeração; ou a fuga do fluido refrigerante R-290, extremamente inflamável, para a área de trabalho (risco de incêndio, explosão, sufocamento, entre outros). Tais violações são críticas, pois podem comprometer a integridade do sistema, a segurança geral do sistema, a saúde e a segurança ocupacional, o desempenho e a proteção ambiental.

⚠ As atividades intencionais consideradas como "abertura do sistema" são as seguintes:

- Abertura do circuito de refrigeração por meio de ferramenta perfurante ou válvulas de serviço; e ativação ou manipulação das válvulas de serviço para acessar o circuito de refrigeração. Ou ainda, simplesmente, a conexão do conjunto *manifold* com mangueiras;
- Abertura de tubulações de fluido refrigerante, como desconectar ou cortar/perfurar qualquer parte da tubulação ou dos componentes;
- Adicionar ou remover fluidos refrigerantes;
- Recolher fluido refrigerante do sistema;
- Substituição de peças defeituosas, como vedações, gaxetas ou válvulas, que exigem a abertura do sistema; e
- Realização de alterações no circuito de refrigeração.

3 Remoção do fluido refrigerante HC

⚠ O fluido refrigerante à base de hidrocarboneto pode ser removido de um sistema AVAC-R por meio de ventilação ou recolhimento.

Ventilação de fluido refrigerante HC	A ventilação só pode ser realizada com sistemas que contenham menos de 500 gramas de fluido refrigerante HC. Quantidades maiores devem ser recolhidas.

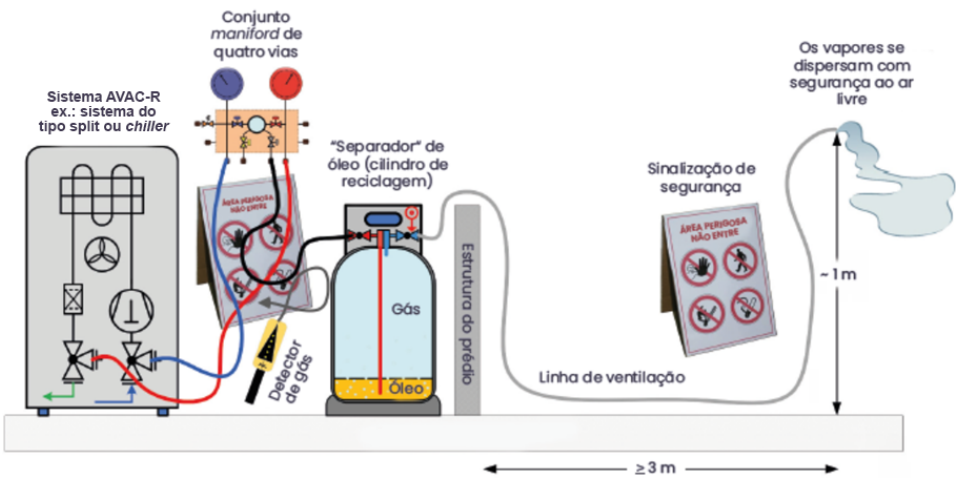
Ventilação de fluido refrigerante HC - em geral

Para fluidos refrigerantes à base de hidrocarbonetos, a liberação para a atmosfera pode ser realizada, como uma alternativa ao recolhimento do fluido refrigerante, se a carga for menor que 500 gramas. Isso porque, os fluidos refrigerantes HC não têm PDO e possuem um GWP insignificante. Entretanto, é algo que só pode ser feito se permitido pelas regras e regulamentações nacionais, e em conformidade com elas.

⚠ Antes de ventilar um sistema, é necessário assegurar que:

1. Todas as medidas de segurança foram atendidas;
2. A legislação que trata da segurança de substâncias perigosas foi cumprida;
3. A legislação relacionada a resíduos foi observada;
4. A legislação ambiental foi observada; e
5. A disposição da ventilação do HC deve estar de acordo com a Figura 497.

Figura 497 – Ventilação do fluido refrigerante HC



Fonte: HEAT GmbH.

Requisitos para a mangueira de liberação de HC (linha de ventilação)

1. A mangueira deve ter comprimento e diâmetro suficientes para alcançar até pelo menos três metros para fora do prédio;
2. A mangueira tem que ser feita de material compatível para uso com fluidos refrigerantes HC e óleo;
3. É usado um dispositivo para levantar a mangueira e ela ficar pelo menos um metro acima do nível do solo, para que a liberação fique apontada para cima, auxiliando assim na diluição;
4. Próximo à entrada da mangueira, é encaixado um dispositivo para separação de óleo, para evitar a emissão de óleo de refrigeração, e assim ele será extraído e descartado adequadamente após o procedimento de liberação de HC para a atmosfera. Um cilindro de recolhimento pode ser usado para isso; e
5. De tempos em tempos, deve-se inspecionar a mangueira para ver se ela não tem furos ou torções que poderiam acarretar vazamento ou bloqueio da passagem do fluxo.

Ferramentas para a ventilação do fluido refrigerante hidrocarboneto

1. Conjunto *manifold* para o fluido refrigerante em uso;
2. Conjunto de mangueiras de transferência de fluido refrigerante de ¼" SAE (comprimento mais curto possível; ex.: 90cm/36") com classificação de pressão de trabalho de 60 bar (870 PSI) e pressão de ruptura de 300 bar (4.350 PSI), válvula de esfera na extremidade da mangueira (uma extremidade) e depressor de núcleo;
3. Mangueira plástica de comprimento adequado para uso como linha de ventilação (cerca de 15 m);
4. Um conjunto de válvulas de acesso para reduzir a liberação de fluido refrigerante durante a conexão do equipamento a aparelhos/portas de serviço do sistema (se necessário);
5. Para sistemas hermeticamente fechados (sem acesso de serviço no lado de baixa pressão), use um alicate perfuradora de tubo;
6. Cilindro de recolhimento ADR/DOT apropriado com válvula de acesso de duas portas e tubo de imersão (porta líquida), 42 bar WP, para servir como separador de óleo;

7. Adaptador da válvula do cilindro de recolhimento (se necessário);
8. Detector de fluido refrigerante inflamável dependendo da avaliação de risco. Mínimo: instrumento para detectar vazamento com classificação intrinsecamente segura. O ideal, especialmente para sistemas maiores e com riscos mais altos identificados, é um detector de gás (0-100% LII);
9. EPI de acordo com a avaliação de risco; e
10. Sinalização de aviso nas áreas de segurança (zona 2).

Precauções de segurança que devem ser tomadas

1. Informar o proprietário, o supervisor e obter autorização para o trabalho;
2. Assegurar ventilação suficiente no espaço de trabalho (natural e/ou forçada, por exemplo, com um ventilador de segurança);
3. Colocar a sinalização de aviso na área de trabalho. Conectar o equipamento e as ferramentas previamente listadas, conforme indicado na Figura 496;
4. Desligar o sistema de refrigeração. Lembrar das cinco regras de segurança para segurança elétrica, conforme descrito no Capítulo 10, seguindo orientação do "Fluxograma de isolamento seguro" (consulte o Anexo 5);
5. Conectar a pulseira de aterramento (controle de ESD) entre a recolhedora, o cilindro de recolhimento e o operador (para evitar o acúmulo de eletricidade estática);
6. Use o EPI se necessário;
7. Em circunstância alguma é permitido liberar HCs para dentro do prédio;
8. A liberação não deve ser feita em uma área pública; ou onde as pessoas não tenham conhecimento sobre o procedimento que está sendo realizado;
9. A liberação só deve ser feita se o fluido refrigerante não puder ser ventilado de volta para qualquer edificação adjacente; e se não puder migrar para um local abaixo do nível do solo;
10. A extremidade da mangueira pode descarregar e dispersar os vapores inflamáveis no ar ambiente. Não deve existir nenhuma restrição nem dobra acentuada dentro da linha de ventilação que obstrua o fluxo; e
11. Não pode haver fontes de ignição perto da descarga da mangueira;

Um sinal de aviso de gás inflamável deve ser colocado perto da descarga da mangueira e no local do sistema de refrigeração.

Preparação para a liberação

1. Ligue o detector de gás (dispositivo de detecção de vazamento) em condição externa de ar livre e coloque-o no chão próximo ao equipamento, OU ligue o detector de gás (EPI), se disponível; e
2. Use um *manifold* (com visor de líquido) e conecte as mangueiras de transferência de fluido refrigerante, conforme a necessidade.

Liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera – o processo

1. Confira se todas as conexões temporárias da mangueira de fluido refrigerante estão firmes;
2. Abra as válvulas de bloqueio nos lados de alta pressão (onde disponível) e baixa pressão do sistema de refrigeração. Observe os manômetros no conjunto *manifold*. Os manômetros mostram a pressão de paralisação no sistema;

3. Se o sistema estiver pressurizado, abra as válvulas no conjunto *manifold* e no cilindro de recolhimento (separador de óleo), líquido e vapor;
4. Configure para uma baixa taxa de fluxo pela linha de ventilação para garantir que o fluido refrigerante fique bem diluído;
5. Verifique o fluxo do fluido refrigerante hidrocarboneto (indicações de pressão, visor de líquido no conjunto *manifold*, saída da linha de ventilação);
6. Observe se as seções com condensado estão visíveis na superfície do compressor (cárter do compressor) ou em seções da tubulação. Aqueça adequadamente essas seções; e
7. Continue liberando o fluido refrigerante, a menos que os manômetros indiquem 0 bar/0 PSIG (pressão atmosférica). Não se apresse; deixe o fluido refrigerante sair completamente do aparelho de refrigeração.

Observação:

O sistema ainda contém fluido refrigerante à pressão atmosférica.

Depois da liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera

1. Feche todas as válvulas;
2. Tire o cilindro de recolhimento (separador de óleo) do local, e coloque as tampas de vedação nas portas de conexão. Faça o tratamento do cilindro de acordo com as exigências;
3. Faça a evacuação do sistema;
4. Depois que todo o processo de liberação de fluido refrigerante e remoção dos resíduos estiver concluído, faça *flushing* no sistema com OFDN para que o circuito de refrigeração fique inerte. Se isso não for possível, o sistema deve ser pressurizado com OFDN e o procedimento de liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto deve ser realizado duas vezes ou mais, para garantir que haja o mínimo de fluido refrigerante HC remanescente dentro do sistema;
5. Prepare o sistema para o próximo procedimento de trabalho; e
6. Se o fluido refrigerante do sistema de refrigeração tiver sido recolhido para descarte, marque o sistema (aparelho) com um marcador permanente escrevendo a palavra "VAZIO" em letras bem grandes.

Recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis - visão geral

Recolhimento de fluido refrigerante HC	Para sistemas de AVAC-R com carga de fluido refrigerante HC maior que 500 gramas, na maioria dos casos recomenda-se recolher o fluido refrigerante em vez de liberar os HCs para a atmosfera.

O processo de recolhimento de fluidos refrigerantes A3 e A2L em geral envolve (além dos demais equipamentos e ferramentas listados abaixo) uma recolhedora certificada, um cilindro de recolhimento adequado e uma balança.

Antes de fazer o recolhimento de um fluido refrigerante inflamável de um sistema de refrigeração, é necessário garantir que:

1. Sejam cumpridas as leis sobre segurança de substâncias perigosas;
2. Sejam observadas as leis sobre resíduos;
3. Sejam observadas as leis ambientais; e
4. A preparação para o recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis deve ser de acordo com a Figura 498.

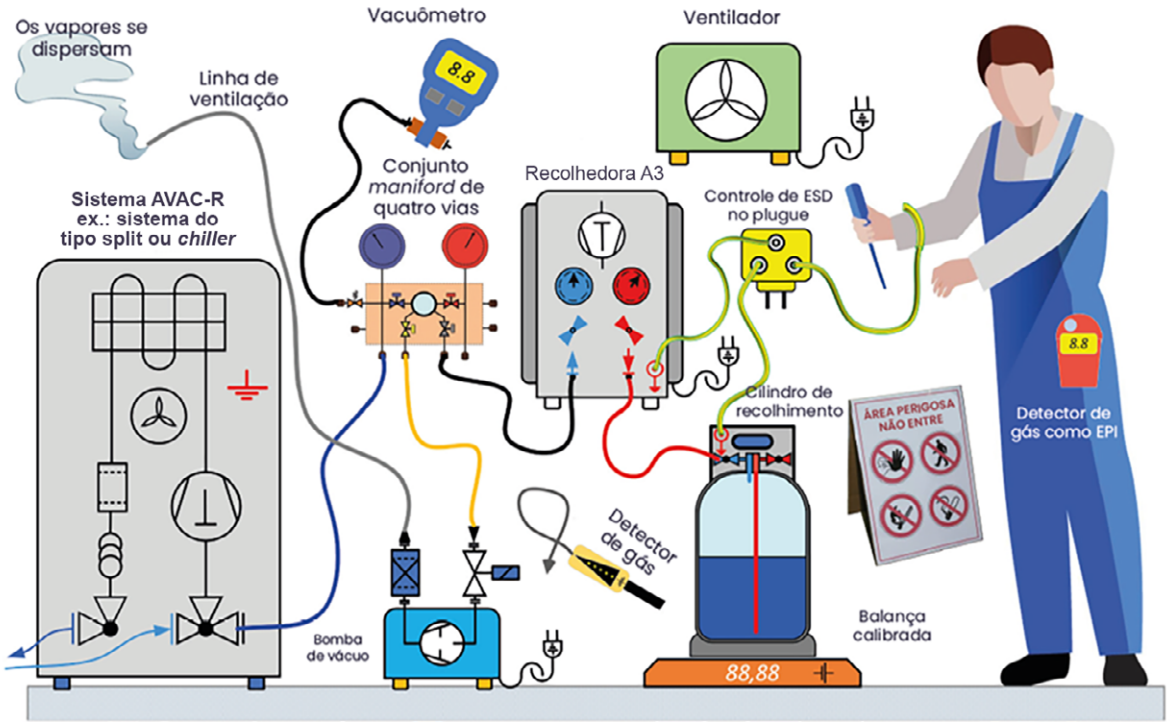
Os cilindros de recolhimento de fluido refrigerante que são preenchidos com fluidos refrigerantes inflamáveis e ultrapassam a quantidade de carga permitida (fluido refrigerante e óleo) podem expor os operadores a altas concentrações de fluido refrigerante liberado com o perigo extremo de explosão ou incêndio.

Os cilindros cheios demais podem explodir.

Processos envolvendo conexões temporárias e sistemas sob pressão nunca devem ficar sem supervisão. A carga de fluido refrigerante nos cilindros deve ser monitorada com o uso de balanças de carga calibradas.

Só devem ser usadas recolhedoras certificadas para o manuseio de fluidos refrigerantes A3 e com permissão para operação em ambientes de "Zona 2".

Figura 498 – Cenário de recolhimento de gás inflamável e organização exemplar do local de trabalho no local da instalação



Fonte: HEAT GmbH.

Quando um cilindro é preenchido com fluido refrigerante, **a carga máxima deve ser sempre observada usando uma balança calibrada**, levando-se em conta que possíveis misturas de fluido refrigerante–óleo apresentam densidade mais baixa que o fluido refrigerante puro. A capacidade utilizável de um cilindro deve, portanto, ser reduzida para uma mistura de fluido refrigerante–óleo (consulte a ABNT NBR ISO 5149-4 para obter mais detalhes).

A capacidade de carga é uma função do volume interno do cilindro e da densidade do líquido do fluido refrigerante a uma temperatura de referência (80% de líquido por volume a 50 °C).

Por exemplo:

- A densidade do R-290 a 50 °C é de 0,449 kg/dm³;
- A densidade do R-600a a 50 °C é de 0,517 kg/dm³;
- A densidade do R-1270 a 50 °C é de 0,458 kg/dm³.

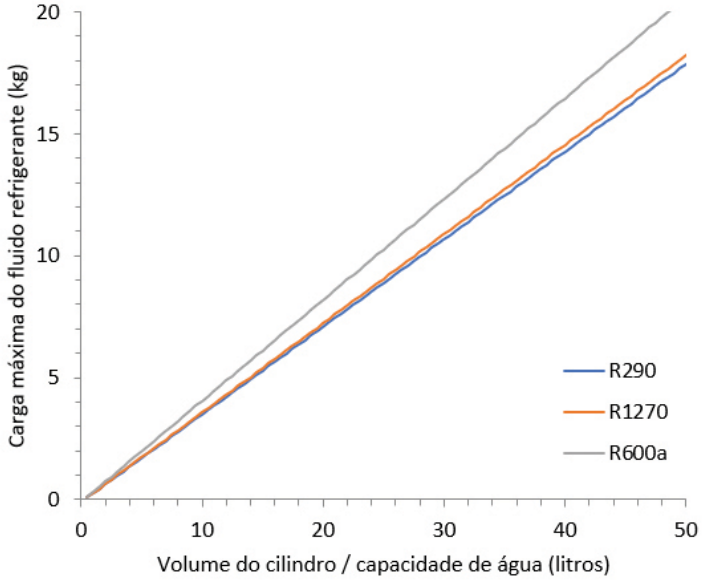
O peso bruto máximo de um cilindro de recolhimento de fluido refrigerante é:

$$0{,}8 \times WC \times SG + TW$$

Onde:

- 0,8 é o fator de segurança 80% de líquido por volume a 50 °C;
- WC é a capacidade de água do cilindro de recolhimento em kg (lb) marcada na placa de informações do cilindro;
- SG é a gravidade específica do fluido refrigerante recolhido a 50 °C obtida na tabela de fluidos refrigerantes; e
- TW é a tara do cilindro de recolhimento, marcada na placa de informações do cilindro.

Figura 499 – Demonstração gráfica da carga máxima do cilindro com fluidos refrigerantes HC de acordo com a EN 378-4



Fonte: Rolf Huehren.

Não ultrapasse a pressão permitida do cilindro em nenhuma operação, nem que seja temporariamente.

- Válvulas especiais podem ser instaladas no cilindro do fluido refrigerante para evitar a possibilidade de encher demais;
- A carga do cilindro pode ser feita de acordo com regulamentos nacionais ou regionais.

Não misture diferentes fluidos refrigerantes. Armazene em diferentes cilindros. Não se deve colocar fluido refrigerante em um cilindro que contenha um fluido refrigerante diferente ou desconhecido. Se houver fluido refrigerante desconhecido dentro de um cilindro, ele não deve ser liberado para a atmosfera. Em vez disso, ele deve ser identificado (se possível) e recolhido, ou descartado de forma adequada.

Observação: Quando um fluido refrigerante é contaminado com outro fluido refrigerante, pode ser que fique impossível fazer a regeneração.

Aviso sobre gases não condensáveis

Para o recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis, é de fundamental importância evitar a transferência de gases não condensáveis (GNCs) para o cilindro de recolhimento. Os GNCs mais comuns são ar, nitrogênio, argônio e em alguns casos o dióxido de carbono. O ar deve ser especialmente evitado, porque ele contém oxigênio.

O ar pode entrar no sistema por diferentes maneiras. Ele pode ser sugado para dentro do sistema por meio de um vazamento no lado de baixa se a pressão de sucção cair abaixo da pressão atmosférica. O ar pode já estar no circuito de refrigeração do sistema que passará por manutenção, ou pode entrar no cilindro de recolhimento durante o recolhimento do fluido refrigerante e o processo de transferência.



O oxigênio no ar cria uma mistura combustível crítica a pressões mais altas com fluidos refrigerantes que contêm hidrogênio (HCs, HCFCs, HFCs) e isso pode provocar acidentes fatais.

- Antes do recolhimento do fluido refrigerante, todas as mangueiras de transferência devem ser lavadas ou evacuadas para remover o ar ou outros GNCs e outros contaminantes;
- Durante o recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis, não opere o circuito de refrigeração em um vácuo! Não ative a função de anulação da pressão baixa da recolhedora. Interrompa o processo de recolhimento a 0 bar (0 PSIG) para evitar a entrada acidental de ar no cilindro de recolhimento;
- Depois que estiver concluído o processo de recolhimento do fluido refrigerante inflamável, deve ser realizado o *flushing* do sistema com OFDN;
- Sempre que possível e se forem usadas substâncias únicas, confira no cilindro de recolhimento preenchido se há GNCs (especialmente ar) fazendo uma comparação de temperatura/pressão!

Procedimento de recolhimento de fluido refrigerante inflamável gasosos ou líquidos

Os processos convencionais de recolhimento usados para quaisquer outros fluidos refrigerantes são também aplicados (com alguns ajustes) aos fluidos refrigerantes inflamáveis. Porém, deve-se prestar especial atenção a determinados aspectos:

1. A recolhedora usada deve ser adequada para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis em geral;

2. Não deve haver nenhuma potencial fonte de ignição (as exigências são as mesmas de um sistema de refrigeração);
3. As mangueiras devem estar completas com acoplamentos de desconexão sem vazamentos e em boas condições;
4. Antes de usar a recolhedora, confira se ela está em condições satisfatórias de operação, com a manutenção em dia e se os componentes elétricos associados estão vedados para evitar a ignição em caso de liberação de fluido refrigerante. Consulte o fabricante, se tiver alguma dúvida;
5. O cilindro de recolhimento deve ser adequado para o fluido refrigerante usado (especificamente em termos de classificação de pressão e compatibilidade das vedações das válvulas, etc.);
6. Providencie a quantidade certa de cilindros para que caiba a carga total do sistema;
7. Garanta que todos os cilindros usados sejam designados para o fluido refrigerante recolhido e tenham a etiqueta daquele fluido refrigerante (isto é, cilindros especiais para o recolhimento do fluido refrigerante). Os cilindros devem estar completos com válvula de alívio de pressão e as respectivas válvulas de bloqueio em boas condições de funcionamento;
8. Quando for conectar as mangueiras entre o sistema de refrigeração, o conjunto *manifold* e a recolhedora, confira se as conexões estão firmes e se não existe nenhuma potencial fonte de ignição por perto (veja também a configuração geral do local de trabalho na Figura 498); e
9. Antes do processo de recolhimento, purgue as mangueiras, o *manifold* e a máquina de recolhimento para evitar a entrada de ar. Tome cuidado para minimizar a emissão de fluido refrigerante, mas também garanta sempre ventilação suficiente para diluir a liberação (por exemplo, com uso do ventilador).

⚠ Deve-se evitar conteúdo com enriquecimento de oxigênio no ambiente do entorno do local de trabalho (ex.: recolhimento nas imediações de equipamentos de brasagem).

⚠ Assegure-se de que as válvulas dos cilindros de oxigênio estejam fechadas e que a tampa de proteção da válvula esteja montada.

⚠ A energia mínima necessária para a ignição pode ser reduzida consideravelmente se houver níveis elevados de oxigênio ou temperaturas. Os limites de inflamabilidade são ampliados a elevadas temperaturas e pressões. Isso significa que o limite inferior de inflamabilidade pode mudar para um valor mais baixo, e o limite superior de inflamabilidade pode mudar para concentrações mais altas.

Equipamentos e ferramentas

1. Faça a evacuação apropriada do cilindro de recolhimento ADR/DOT (mín. 48 bar PT para uso com R-290) com alívio de pressão e válvulas de bloqueio;
2. Adaptador da válvula do cilindro de recolhimento 5/16" a 1/4" (ou ao contrário);
3. Recolhedora certificada (CE/UL) para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis;

4. Conjunto *manifold* de quatro vias com calibração para o fluido refrigerante em uso;
5. Conjunto de mangueiras de transferência de fluido refrigerante de ¼" SAE (comprimento mais curto possível; ex.: 90cm/36") com classificação de pressão de trabalho de 60 bar (870 PSI) e pressão de ruptura de 300 bar (4.350 PSI), válvula de esfera na extremidade da mangueira (uma extremidade) e depressor de núcleo.;
6. Um conjunto de válvulas de acesso para reduzir a liberação de fluido refrigerante durante a conexão do equipamento a aparelhos/portas de serviço do sistema;
7. Balança com bateria calibrada e capacidade de cerca de 110 kg (resolução de 2g e precisão de +/- 0,5% do intervalo de medição);
8. Bomba de vácuo e linha de ventilação de fluido refrigerante; e
9. Filtro secador em linha (volume de 0,038 L) se aplicável, conexões flangeadas de ¼".

Equipamento de segurança

1. Ventilador ATEX para ventilação da área de trabalho com capacidade mínima de 700 m^3/h;
2. Detector de fluidos refrigerantes inflamáveis (instrumento para encontrar vazamentos), classificação intrinsecamente segura, no mínimo;
3. EPI incluindo detector de gás (0 – 100% LII) seria o ideal;
4. Fios de ligação equipotencial com conectores entre a recolhedora e o cilindro de recolhimento;
5. Dispositivos de controle de ESD (pulseira, cabos e adaptador para cilindro, recolhedora e operador); e
6. Sinalização de aviso nas áreas de segurança (zona 2).

Precauções de segurança

1. Informar o proprietário, o supervisor e obter autorização para o trabalho;
2. Desligar o sistema de refrigeração. Lembre-se das cinco regras de segurança elétrica, descritas no Capítulo 10, com a orientação do "Fluxograma de isolamento seguro" (veja o Anexo 5);
3. Colocar a sinalização de aviso na área de trabalho. Conectar o equipamento e as ferramentas previamente listadas, conforme indicado na Figura 498;
4. Conectar a pulseira de aterramento (controle de ESD) entre a recolhedora, o cilindro de recolhimento e o operador (para evitar o acúmulo de eletricidade estática); e
5. Use os EPIs conforme necessidade.



Tome providências de precaução contra descargas eletrostáticas (ESD), que podem ser uma fonte de ignição. O cilindro e a recolhedora devem ser aterrados (ligação equipotencial), durante o uso e em conexão com as mangueiras de transferência de fluido refrigerante.

Preparativos gerais

1. Confira se todos os equipamentos estão em boas condições de funcionamento;
2. Use um conjunto *manifold* de quatro vias (com visor de líquido) e a calibração correta do fluido refrigerante;
3. Use um cilindro de recolhimento evacuado e limpo, adequado para fluidos refrigerantes inflamáveis. Se possível, ele pode ser até mesmo resfriado;
4. Coloque uma etiqueta no cilindro de recolhimento com o tipo correto de fluido refrigerante e o peso máximo de carga;
5. Coloque o cilindro de recolhimento sobre uma balança calibrada;
6. Coloque a extremidade da linha de ventilação da bomba de vácuo em um local seguro em área externa;
7. Ligue o detector de gás (dispositivo de detecção de vazamento) em condição externa de ar livre e coloque-o no chão próximo ao equipamento, OU ligue o detector de gás (EPI), se disponível, ou um detector de gás para fluidos refrigerantes HC; e
8. Confira se todas as conexões temporárias da mangueira de fluido refrigerante estão firmes (zonas inflamáveis temporárias).

O processo de recolhimento

1. Mantenha a circulação de ar com o ventilador;
2. Opere a recolhedora conforme as instruções de operação do fabricante;
3. Observe os parâmetros operacionais no conjunto *manifold*, na recolhedora e nos detectores de gás;
4. Encha o cilindro de recolhimento com cuidado e vá monitorando na balança o peso do cilindro e, assim, do fluido refrigerante transferido. Não encha o cilindro com mais do que 80% do volume dele a 50 °C. Monitore a pressão de descarga para garantir que a pressão máxima permitida do cilindro de recolhimento nunca seja ultrapassada;
5. Quando aparecer o nível 0 bar/PSIG no manômetro de BAIXA, feche ambas as válvulas BAIXA e ALTA do conjunto *manifold* e DESLIGUE a recolhedora para evitar possível ingestão de ar durante o processo de recolhimento. Não realize vácuo no sistema;
6. Quando a pressão no manômetro de BAIXA começar a subir, continue a operação;
7. Observe se há algum condensado visível nas seções de tubulação, no acumulador de líquido ou na superfície do compressor (cárter do compressor). Aqueça adequadamente essas seções usando um cobertor de aquecimento elétrico seguro, ou um pano embebido em água morna; e
8. Se o manômetro de BAIXA continuar mostrando 0 bar/PSIG, feche todas as válvulas do cilindro, *manifold* e mangueira.

Etapas finais do recolhimento

1. Anote a quantidade real de fluido refrigerante recolhido e atualize a etiqueta do cilindro de recolhimento;
2. Remova o cilindro de recolhimento da balança e coloque tampas de vedação sobre as portas de conexão;

3. Opere a bomba de vácuo e reduza o sistema até aproximadamente 1.000 mícrons para remover os resíduos de fluido refrigerante do sistema e, especificamente, o lubrificante dos compressores;
4. Depois que todo o processo de recolhimento de fluido refrigerante e remoção dos resíduos estiver concluído, realize o *flushing* do sistema com OFDN para que o circuito de refrigeração fique inerte;
5. O fluido refrigerante recolhido deve ser enviado para centros de reciclagem e regeneração no cilindro de recolhimento correto, com a respectiva nota/etiqueta de transferência de resíduos. Não misture os fluidos refrigerantes em recolhedoras e especialmente não os misture nos cilindros;
6. Quando for drenado óleo do sistema, o processo deve ser feito com segurança;
7. Se os compressores ou óleos do compressor forem removidos, confira se eles foram evacuados até um nível aceitável para ter certeza de que não fique fluido refrigerante inflamável dentro do lubrificante. O processo de evacuação deve ser realizado antes da devolução do compressor para os fornecedores. Só aquecimento elétrico deve ser empregado no corpo do compressor para acelerar esse processo; e
8. Purgue o cilindro que contém fluido refrigerante, se necessário, conforme descrito a seguir.



Perigo de risco de explosão se ar ou outro GNC estiver presente em um cilindro de recolhimento cheio.
Sempre que possível, o cilindro de recolhimento cheio contendo fluido refrigerante inflamável deve ser purgado após o processo de recolhimento e antes do transporte para extrair os GNCs, sendo ar o mais importante deles.

- Depois de separar o cilindro, ele deve ficar sem mexer por cerca de 30 minutos na sombra;
- Depois disso pode ser feita uma comparação de temperatura/pressão (pressão do cilindro e temperatura do fluido refrigerante específico) caso haja substâncias únicas no cilindro para verificar a presença de GNCs;
- Os GNCs se acumulam na parte superior do fluido refrigerante liquefeito;
- Purgue os GNCs por cerca de 10 segundos abrindo a válvula de gás do cilindro.

4 Abertura do circuito de refrigeração HC

Verifique se o sistema/componente do circuito de refrigeração está completamente livre de fluido refrigerante e se o circuito ou parte dele é inertizado com OFDN.

Os componentes a serem substituídos do sistema de HC devem ser recortados com um cortador de tubos, em vez de serem dessoldados (ignição de fluido refrigerante HC residual, se houver).

Novamente realize o *flushing* do circuito com OFDN.

Abra o sistema ou parte dele para os trabalhos preparatórios para reparo/manutenção.

5 Execute o reparo (manutenção)

Certifique-se de substituir/reparar somente componentes iguais ao do fabricante do equipamento original (OEM), para garantir a integridade subsequente pretendida do sistema.

Ao adicionar óleo é preciso muito cuidado, para evitar a entrada de umidade e ar no sistema.

O óleo deve ser bombeado e não despejado no sistema.

Qualquer recipiente de óleo, filtro secador ou outros componentes de reposição do circuito deve ser aberto (removendo as vedações) logo antes da montagem no sistema.

6 Vedação do sistema

A brasagem dos componentes será feita durante a limpeza (*flushing*) do sistema/parte do sistema com OFDN, para evitar contaminação.

De preferência, devem ser usadas juntas de pressão.

A brasagem não deve ser feita em válvulas de isolamento sob pressão.

Vede o sistema para o teste de pressão na sequência (uso juntas de pressão ou brasagem).

7 Teste do sistema (teste de estanqueidade e/ou de resistência/pressão)

Após a conclusão do reparo todo o sistema (ou a parte seccionada do sistema em questão e, especificamente, as juntas brasadas) deve ser testado sob pressão com OFDN, quanto à resistência e à estanqueidade, de acordo com as normas aplicáveis.

Conforme ABNT NBR ISO 5149-2, são os seguintes testes:

- Teste de resistência a 1,1 x PS[10] para a maior parte da tubulação (ou seja, juntas que são de categoria de risco 1 (GHS) ou inferior);
- Teste de resistência a 1,43 x PS para o lado de alta pressão de sistemas transcríticos, que são de categoria de risco 2 (GHS) ou superior. Como opção pode ser usado 1,1 x PS, nesse caso, 10% das juntas devem passar por teste não destrutivo;
- Teste de estanqueidade a 1,0 x PS;
- Teste de pressão com 1,0 x PS (veja também o Capítulo 13.3); e
- Teste de vazamento fino a aproximadamente 6 bar (0,6 MPa(g).

⚠ Realize o teste de pressão sempre em áreas bem ventiladas. O OFDN tem efeito sufocante quando em altas concentrações.

⚠ Não devem ser usados conjuntos *manifold* com visor!!!

⚠ Use somente um regulador de pressão do cilindro confiável e aplicável à pressão de teste pretendida.

[10] PS = pressão máxima permitida para a qual o sistema ou componente foi projetado, conforme especificado pelo fabricante

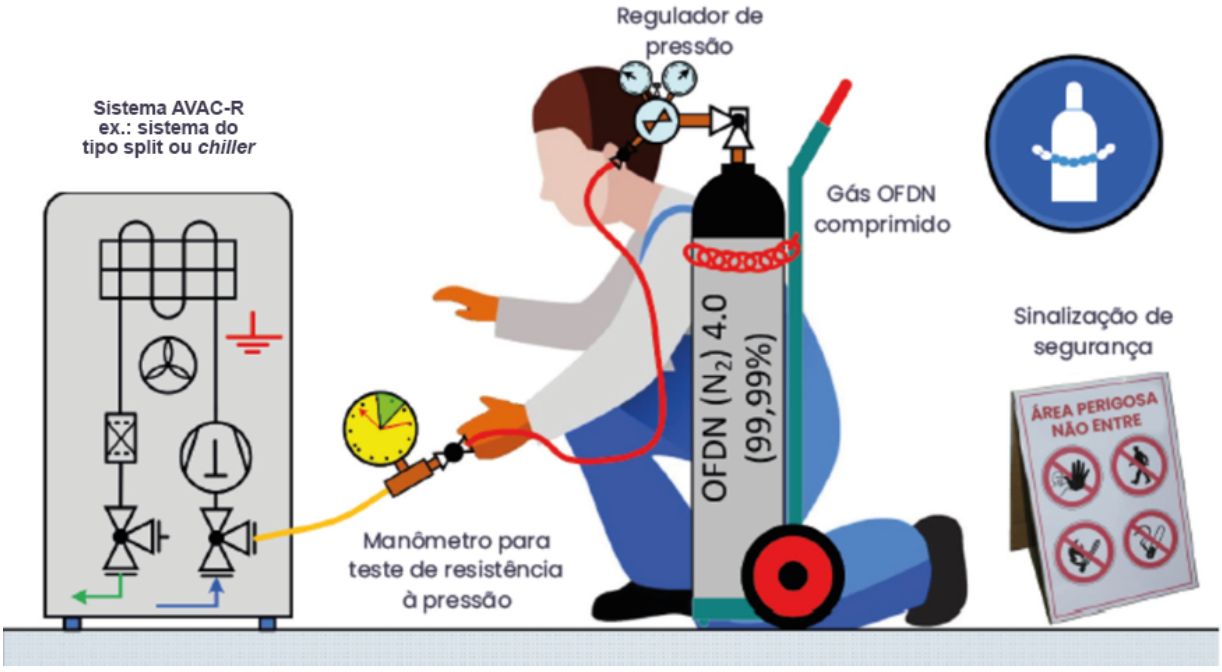
Execução do teste de vazamento fino, aplicando uma mistura de 5% de H_2 e 95% de N_2 (gás marcador)	Uma pressão de teste inicial de aproximadamente 6 bar é totalmente adequada para um teste de vazamento fino confiável. Por razões econômicas, o teste de vazamento fino deve ser realizado na mesma etapa de trabalho que o teste de resistência à pressão; Comece com o teste de vazamento fino e siga com o teste de resistência à pressão; Aumente lentamente a pressão no sistema até 6 bar. Esse procedimento gradual reduz o consumo de gás marcador caso a pressão tenha de ser reduzida novamente, para corrigir vazamentos maiores (às vezes de forma audível); e Após o teste de vazamento fino, sempre permita que o gás marcador possa sair ao ar livre, pois a mistura de hidrogênio/nitrogênio tem um efeito sufocante quando em altas concentrações.
Teste de pressão, em partes seccionadas, do sistema com carga de fluido refrigerante	O teste de pressão na tubulação de partes seccionadas (isoladas), de um sistema de AVAC-R carregado com fluido refrigerante, representa risco de contaminar a carga de fluido refrigerante com nitrogênio, se a válvula de isolamento vazar. Para evitar isso, a pressão de teste não deve ser maior do que a pressão equivalente à temperatura de saturação do fluido refrigerante da parte sujeita a teste. Por exemplo, com o R-290, em um ambiente a 20 °C, a pressão de teste não deve ser superior à pressão manométrica de 7,5 bar (750 kPa ou 109 psi).

A norma relevante deve ser consultada, para requisitos específicos do teste de pressão (ABNT NBR ISO 5149-2). Componentes e conjuntos, como compressores e conjuntos selados em fábrica, normalmente não precisam ser testados sob pressão no local, pois já foram testados pelo fabricante (previamente).

- ⚠ Ao realizar testes de pressão, as práticas de trabalho recomendadas devem ser seguidas:
- ⚠ O essencial é testar a pressão (conforme indicado anteriormente) de todas as juntas de pressão, ou brasadas, executadas no local da instalação;
- ⚠ Não use misturas de OFDN e fluido refrigerante para testes de pressão do sistema AVAC-R!
- ⚠ Válvulas de alívio de pressão devem ser isoladas, durante o teste de pressão;
- ⚠ O equipamento, incluindo o regulador de nitrogênio, deve ser classificado para a pressão aplicada;
- ⚠ A área deve ser desocupada, com a saída de qualquer pessoa que não esteja diretamente envolvida nas atividades de teste de pressão;
- ⚠ O OFDN deve ser carregado lentamente, em etapas, no sistema e uma verificação inicial deve ser realizada a aproximadamente 5 bar(g) (0,5 MPa(g));
- ⚠ A pressão do teste de resistência deve ser mantida por, no mínimo, 15 minutos;
- ⚠ O nitrogênio usado para o teste de vazamento deve ser liberado para uma área bem ventilada, de preferência externa; e
- ⚠ A pressão deve ser reduzida até a pressão do teste de estanqueidade e cada junta deve ser verificada com solução de espuma e sabão, ou a pressão deve ser mantida e monitorada por, pelo menos, 24 horas.

Se a integridade do sistema for registrada pelo teste de pressão ou de estanqueidade, prossiga para a Etapa 8 de testes do sistema. Se forem identificados vazamentos, o reparo deve ser feito diretamente e o passo a passo da ação deve iniciar novamente na Etapa 5.

Figura 500 – Configuração do teste de resistência/pressão



Fonte: Rolf Huehren.

8 Procedimentos de vácuo e carga

O vácuo é usado nos sistemas AVAC-R por duas razões:

- Para remover gases estranhos, prevenindo avarias no circuito de refrigeração; e
- Em caso de desidratação do sistema de refrigeração: ao reduzir a pressão, a água entra em ebulição em temperatura ambiente e é conduzida para fora do sistema na forma de mistura de ar e vapor.

Todas as válvulas devem ser abertas (todo o sistema ou parte/seção do sistema) para garantir que a pressão possa ser equalizada, no sistema todo, e que seja aplicado vácuo em todas as seções da tubulação.

Vácuo

A(s) bomba(s) de vácuo usadas devem ser potentes e em bom estado para o trabalho. A bomba de vácuo deve conter óleo novo a cada tarefa de manutenção (conforme sua contaminação).

Deve ser realizado um teste de aumento de vácuo por tempo adequado. O teste no circuito de refrigeração completo deve ser realizado, pelo menos, por 24 horas.

Quebra do vácuo com nitrogênio seco e livre de oxigênio (vácuo triplo)

O vácuo triplo é o processo em que o sistema é colocado sob vácuo três vezes, em vez de um único vácuo profundo, que muitas vezes é usado. Uma limpeza (*flushing*) com OFDN é feita no sistema entre cada execução do vácuo, o que ajuda a absorver traços de umidade que eventualmente possam continuar no sistema (especificamente em baixas temperaturas ambientes). O enfraquecimento das ligações covalentes entre a umidade e as paredes internas do sistema (tubulação, componentes) é um resultado eficiente da limpeza (*flushing*) com OFDN e do vácuo triplo.

A sequência normal da realização do vácuo triplo é a seguinte:

1. Aplique vácuo de até 1.000 mícrons no sistema;
2. Quebre o vácuo, com OFDN, em baixa pressão por 5 minutos;
3. Evacue o sistema até um nível de vácuo de 500 mícrons;
4. Quebre o vácuo, com OFDN, em baixa pressão por 5 minutos;
5. Evacue o sistema até um nível de vácuo de 300 mícrons;
6. Isole a bomba de vácuo do sistema e desligue-a; e
7. Realize um teste de aumento de vácuo, de 15 minutos, e certifique-se de que o nível de vácuo não suba acima de 500 mícrons.

Como realizar um teste de aumento do vácuo?	Um teste de aumento de vácuo é um método usado para testar um sistema quanto a vazamentos, observando o nível de vácuo durante um tempo predeterminado. O teste é realizado baixando o nível de vácuo do sistema até aproximadamente 300 mícrons, antes de isolar a bomba de vácuo do sistema e desligá-la. O nível de vácuo deve ser observado durante 15 minutos, durante os quais um aumento para mais de 500 mícrons indica uma falha no teste, mas quando o sistema mantém o nível de vácuo abaixo de 500 mícrons, o teste é considerado bem-sucedido. No caso de falha no teste de aumento de vácuo, devem ser realizados testes de pressão e de estanqueidade com OFDN. Se forem identificados vazamentos, o reparo deve ser feito diretamente.

⚠ Atenção: As mangueiras flexíveis de transferência de fluido refrigerante e as gaxetas muitas vezes são fontes de vazamento!

Carga de fluidos refrigerantes HC

Com qualquer tipo de carga de massa, o método deve ser mais preciso, do que com a maioria dos outros fluidos refrigerantes, porque a densidade dos HCs é menor do que de HCFCs e HFCs.

As balanças usadas devem ter uma precisão de pelo menos ±3% da escala total, e uma resolução mínima de 2 gramas, especialmente ao trabalhar em sistemas de carga crítica (sistemas inerentemente seguros).

Evite sobrecarga nos sistemas com HC!

- Qualquer sistema de HC é criticamente carregado e requer aderência exata ao carregamento exato do fluido refrigerante.
- Ao carregar o sistema, o professional qualificado deve estar ciente de que os fluidos refrigerantes inflamáveis têm uma densidade mais baixa do que a maioria dos outros fluidos refrigerantes, portanto, normalmente, se usa de 40 a 50 % da carga esperada com, por exemplo, HCFC ou HFC.

Essa é uma consideração importante, pois o excesso de carga em um sistema provavelmente resultará em pressões extremamente altas, causando a ruptura catastrófica do sistema e descarga maciça do fluido refrigerante, gerando situações muito perigosas.

Para fluidos refrigerantes inflamáveis, são usados os mesmos procedimentos de carga que para qualquer outro tipo de fluido refrigerante, exceto por certas considerações que são particularmente importantes.

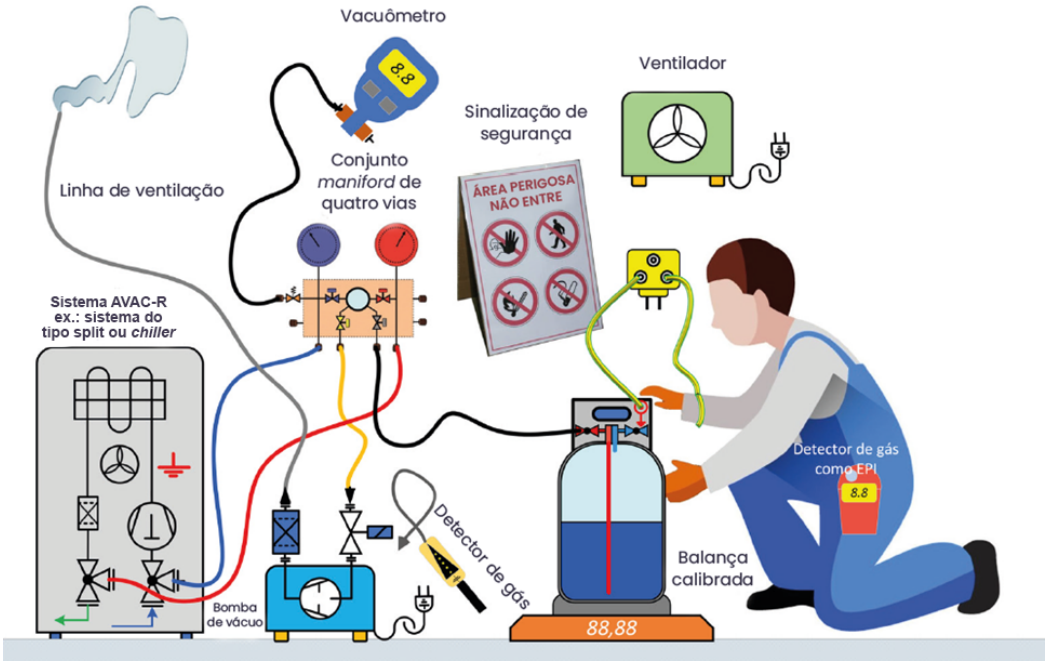
O processo de carga de fluidos refrigerantes inflamáveis é descrito a seguir (veja também a Figura 501):

1. Antes de realizar a carga, certifique-se de que o sistema tenha sido submetido a um teste de resistência à pressão com OFDN;
2. Antes de realizar a carga, certifique-se também de que o sistema (e o conjunto de carga) tenha passado pelo teste de estanqueidade (verificação de vazamentos);
3. Coloque a sinalização de segurança na área de trabalho;
4. Use um conjunto *manifold* de quatro vias (com visor) e a calibragem correta para o fluido refrigerante;
5. Use o EPI conforme necessidade;
6. Todos os equipamentos operacionais elétricos devem ser aterrados (exceto os alimentados por bateria);
7. O controle de descarga eletrostática (ESD) deve estar funcionando;
8. Use um "ventilador" para a ventilação da área de trabalho com capacidade mínima de 700 m^3/h;
9. Conecte a pulseira de aterramento (controle de ESD), entre o cilindro de carga e o operador, para evitar o acúmulo de eletricidade estática;
10. Ao conectar as mangueiras entre o sistema de refrigeração, o conjunto *manifold* e o cilindro de fluido refrigerante, certifique-se de que as conexões estejam seguras e que não haja fontes potenciais de ignição nas proximidades;
11. Certifique-se de que não ocorra contaminação de diferentes fluidos refrigerantes ao usar o equipamento de carga;
12. Purgue as mangueiras e o *manifold* antes da carga, para evitar a contaminação do fluido refrigerante. Isso deve ser feito para minimizar a emissão de fluido refrigerante, mas também para garantir a ventilação suficiente para diluir a liberação. Se possível, aplique o vácuo às mangueiras de transferência de fluido refrigerante antes de realizar a carga;
13. As mangueiras ou linhas devem ser as mais curtas possíveis para minimizar a quantidade de fluido refrigerante contida nelas;
14. Deve-se ter cuidado extremo para não carregar o sistema de refrigeração até transbordar. A quantidade de carga fixa é identificada na placa de identi-

ficação do sistema. Não encha mais do que a quantidade de carga prescrita pelo fabricante do equipamento original (OEM);

15. Monitore a balança e o peso do cilindro para medir e anotar a carga final de fluido refrigerante;
16. Após a conclusão da carga, uma nova verificação de vazamento deve ser realizada antes de deixar o local; e
17. Depois de carregar, desconecte cuidadosamente as mangueiras, procurando minimizar a quantidade de fluido refrigerante emitida.

Figura 501 – Disposição para realizar vácuo e carga no sistema com ferramentas e equipamentos



Fonte: Rolf Huehren.

9 Iniciar, verificar e fechar o sistema – sequência das atividades

Start-up do sistema

- Permita que o sistema se estabiliza nas condições de operação projetadas; e
- Monitore pressões, temperaturas e o desempenho do sistema, usando sensores e manômetros.

Verificação da operação

- Verifique se as pressões e as temperaturas estão dentro da faixa operacional especificada;
- Verifique a operação do compressor nas condições especificadas;
- Verifique a funcionalidade da válvula de expansão e do controlador e o resfriamento uniforme;
- Certifique-se da ausência de vibração anormal, ruídos ou oscilações de temperatura;
- Permita que o sistema opere continuamente até alcançar condições operacionais estáveis;

- Verifique se os valores de sub-resfriamento e superaquecimento atendem às especificações;
- Anote os parâmetros operacionais no relatório de comissionamento;
- Coloque etiquetas com identificação no sistema após concluir a carga (se ainda não foi feito);
- A massa de fluido refrigerante carregada no sistema deve ser anotada em um livro de registro e registrada em uma placa de identificação (por exemplo, etiqueta);
- Preencha o formulário de reparo/manutenção do sistema com os dados relevantes; e
- Limpe a área de trabalho e informe o proprietário/cliente/supervisor.

Fechamento do sistema

- Feche todas as válvulas rotalock, para isolar as conexões de serviço do circuito de refrigeração;
- Desconecte lentamente o conjunto *manifold* das conexões de serviço:
  - Feche primeiro a válvula rotalock do lado de alta pressão;
  - Transfira o fluido refrigerante do lado de alta pressão do *manifold* para a conexão de serviço (sistema) do lado de baixa pressão;
  - Feche a válvula rotalock do lado de baixa pressão;
  - Retire o conjunto *manifold* do sistema; e
  - Lembre-se: o fluido refrigerante não deve ser liberado para a atmosfera!

- Coloque e aperte todas as tampas das válvulas até ficarem estanques, para evitar vazamentos e proteger as válvulas.

10 Verificação final de vazamento

Após fechar (vedar) o sistema, faça **verificações de estanqueidade**, usando uma combinação de:

- Detectores de gás HC (*sniffer*) – verifique cada uma das juntas (reparada no local), conexões e componentes quanto à presença de fluido refrigerante;
- Teste de bolhas – verifique cada junta, conexão e componente quanto à presença de bolhas, usando solução com espuma e sabão;
- Procure por vazamentos no lado de alta pressão e no lado de baixa pressão do sistema; e
- Se for identificado um vazamento, siga os procedimentos apropriados para consertá-lo (Etapa 7).

⚠ Lembre-se, os sistemas AVAC-R podem apresentar mais de um vazamento.

11 Verificações de rotina

Limpeza pós-manutenção

Depois de concluir os serviços, faça uma limpeza completa do local de trabalho. Descarte, adequadamente, os materiais e fluidos refrigerantes contaminados, de

acordo com as normas ambientais. Inspecione as ferramentas e os equipamentos, quanto à funcionalidade e à qualquer possibilidade de dano, antes de guardá-los, garantindo que permaneçam em boas condições para uso futuro.

Registro dos dados

No formulário de *start-up* do sistema, registre as pressões, temperaturas e outros parâmetros de desempenho do sistema. Registre também a carga total final de fluido refrigerante, para referência futura.

Preencha todos os dados requeridos no livro de registros do sistema.

Instrução aos operadores

Forneça instruções ao usuário final ou à equipe de manutenção sobre a operação do sistema e os procedimentos de segurança. Assine o relatório de *start-up* e obtenha também a assinatura do proprietário/cliente/supervisor.

13.2 Manutenção de Sistemas com R-744 (CO_2)

O R-744 é um fluido refrigerante natural com potencial zero de destruição da Camada de Ozônio (PDO) e um GWP de 1, sendo uma das opções mais ecológicas para o uso em aplicações de AVAC-R. Destaca-se, que o aumento das regulamentações globais incentiva ou exige o uso de fluidos refrigerantes com baixo GWP, como o R-744.

A manutenção em sistemas de refrigeração com R-744 (dióxido de carbono) apresenta desafios únicos e exige um manuseio cuidadoso devido à natureza do fluido refrigerante. No entanto, os benefícios do uso do R-744 fazem dele uma opção cada vez mais popular na refrigeração industrial, comercial, residencial e doméstico.

As pessoas que instalam, comissionam, reparam e fazem a manutenção de sistemas com R-744 devem ser treinadas no manuseio seguro desse fluido refrigerante antes de trabalhar nesses sistemas.

Destaca-se, também, que o presente capítulo, do manual, não é um guia completo para o comissionamento e a manutenção com R-744, contudo destaca os pontos-chaves para sua aplicação.

13.2.1 Desafios na manutenção de sistemas com R-744

1. Altas pressões de trabalho:
   - Os sistemas com R-744 operam em pressões significativamente mais altas do que as dos fluidos refrigerantes convencionais, muitas vezes excedendo 100 bar (10 MPa), por exemplo, em aplicações transcríticas;
   - É essencial usar equipamentos com classificação para uso em alta pressão, incluindo compressores, tubos, válvulas e conexões; e
   - O manuseio de altas pressões exige extremo cuidado para prevenir acidentes, durante o comissionamento, manutenção e reparo.

2. Equipamento especializado:
   - Recolhedoras comuns, para o recolhimento de fluido refrigerante, não podem ser usadas. São necessárias recolhedoras especiais para o R-744;

- Ferramentas e equipamentos para alta pressão e específicos para R-744 são essenciais; e
- Em razão da probabilidade de vazamentos, devem ser usados detectores portáteis de gás CO_2 para monitorar vazamentos.

3. Complexidade do projeto do sistema:
- Os sistemas que utilizam fluido refrigerante R-744 são mais complexos – tanto com ciclo de refrigeração em cascata, quanto transcrítico. Isso gera custos mais altos de componentes e para instalação.
- Muitos sistemas de refrigeração com R-744 operam em um ciclo transcrítico, o que exige conhecimento avançado para gerenciar sua operação, incluindo condições, como: resfriamento de gás, compressão de dois estágios ou altas temperaturas de descarga do compressor;
- O trabalho com tubulações, no local, pode incluir manuseio de aço ou aço inoxidável, e demanda soldadores com licenças especiais e diferentes técnicas de junção, devido à pressão mais alta e aos diferentes materiais; e
- Os sistemas de refrigeração com R-744 muitas vezes incorporam a recuperação de calor e sistemas de controle avançados, o que aumenta a complexidade da manutenção.

4. Sensibilidade à temperatura:
- A temperatura crítica do R-744 é baixa, aproximadamente de 31 °C, o que significa que ele pode facilmente entrar no estado transcrítico em climas mais quentes;
- Os sistemas R-744 subcríticos projetados e em operação, como cascatas, exigem um sistema de resfriamento de emergência independente integrado, para proteger o sistema em caso de queda de energia ou desativação acidental; e
- São necessárias estratégias eficazes de sub-resfriamento do fluido refrigerante, para otimizar o desempenho do sistema.

5. Detecção de gás:
- Vazamentos de R-744 podem representar um desafio para serem detectados sem equipamento especializado;
- Esses vazamentos podem levar a uma liberação repentina de gás altamente pressurizado, o que representa altos riscos de segurança; e
- Os sistemas de R-744 são muito sensíveis à contaminação da água e podem formar compostos incomuns quando há um vazamento em um trocador de calor em cascata.

6. Treinamento dos/as técnicos/as:
- Os profissionais (técnicos/as qualificados/as) devem conhecer as propriedades termodinâmicas exclusivas do R-744 e saber como lidar de forma segura com altas pressões.;
- Esses profissionais competentes devem ser treinados especificamente para manusear R-744 com alta pressão de trabalho;
- O treinamento deve estar em conformidade com as normas de segurança locais e internacionais, como a ABNT NBR ISO 5149, EN 378 ou a IEC 60335;

- São necessárias tecnologias eficientes de manutenção para minimizar as interrupções operacionais;
- Esse treinamento deve ser organizado para adquirir habilidades e conhecimentos para técnicos/as qualificados/as, conforme ABNT NBR 17131 e suas especificações; e
- É essencial o uso de manômetros de alta precisão, dispositivos de segurança e válvulas de alívio de pressão, além de treinamento em diagnósticos de sistemas.

7. Compatibilidade do material:
- O R-744 pode ser corrosivo para certos metais, exigindo uma seleção cuidadosa do material para os componentes do sistema; e
- Elastômeros e vedações devem ser compatíveis com CO_2, para prevenir vazamentos.

13.2.2 **Importância da manutenção de sistemas com R-744**

1. Benefícios ambientais:
- O R-744 apresenta um GWP de 1, sendo uma opção ecológica de fluido refrigerante se comparado aos HFCs e HCFCs; e
- O potencial de destruição da Camada de Ozônio (PDO) do R-744 é zero.

2. Eficiência energética:
- Sistemas com R-744 são altamente eficientes do ponto de vista energético, contribuindo para a redução dos custos operacionais;
- Sistemas com R-744 apresentam alta eficiência energética em climas moderados e frios, especialmente em aplicações transcríticas;
- A manutenção correta garante que o sistema opere com eficiência plena, maximizando a economia de energia; e
- O R-744 é usado geralmente em aplicações como, por exemplo, em sistemas de refrigeração de supermercados, em processos industriais e aplicações com bombas de calor, onde o tempo de inatividade pode representar alto custo.

3. Conformidade com as regulamentações:
- O aumento das regulamentações globais, como as da Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal, incentiva ou exige o uso de fluidos refrigerantes com baixo GWP, como o R-744.

4. Vida útil do sistema:
- A manutenção regular minimiza o desgaste, evita vazamentos e aumenta a vida útil do equipamento; e
- A manutenção preventiva periódica garante que medidas críticas de segurança, como detecção de gás e válvulas de alívio de pressão, continuem funcionais.

5. Garantia de segurança:
- A manutenção adequada reduz os riscos relacionados à alta pressão de trabalho do R-744;

- Ela garante a segurança do usuário final, ao manter a integridade do sistema e prevenir vazamentos;
- Os sistemas R-744 são projetados para serem robustos, mas a manutenção regular previne o desgaste oriundo da operação com alta pressão;
- A manutenção de vedações, válvulas e conexões minimiza os vazamentos e aumenta a vida útil dos componentes; e
- Fazer a devida manutenção garante que os dispositivos de alívio de pressão e outros mecanismos de segurança funcionem corretamente.

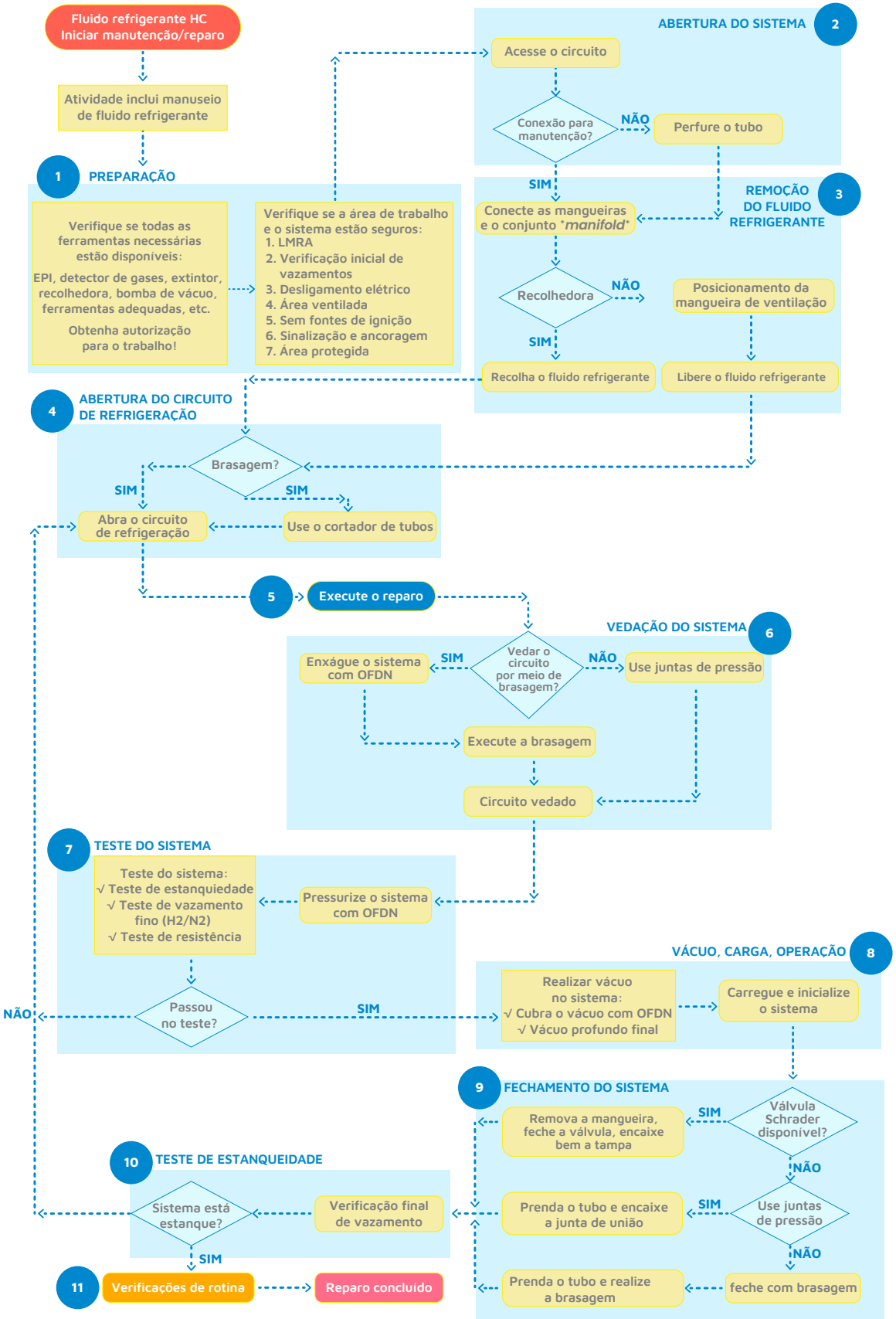
13.2.3 **Práticas recomendadas para a manutenção de sistemas com R-744**

Em geral, para a manutenção de sistemas com fluido refrigerante CO_2 (R-744), siga as práticas recomendadas, como:

- Os/as técnicos/as qualificados/as devem usar EPI apropriado;
- Siga as normas de segurança do setor (por exemplo, ABNT NBR ISO 5149, ISO 5149, EN 378, ABNT NBR 17131, ISO 22712) e as diretrizes do fabricante;
- Use somente componentes certificados, classificados para uso em sistemas de alta pressão de trabalho;
- Para reparos, use somente peças de reposição do fabricante do equipamento original (OEM);
- Use somente ferramentas e equipamentos classificados para sistemas de alta pressão com R-744;
- Verifique a temperatura da superfície das tubulações em áreas públicas;
- Inspecione o sistema para conferir se existem vibrações ou oscilações;
- Inspecione as juntas, válvulas e suportes (material, tubulação);
- Inspecione os elementos de proteção contra danos mecânicos;
- Inspecione a proteção das partes móveis;
- Verifique o isolamento (especificação, qualidade e possíveis danos);
- Inspecione a limpeza das superfícies do trocador de calor;
- Disponibilize acesso fácil para manutenção e inspeção visual;
- Utilize ferramentas avançadas de detecção de vazamentos para identificar e resolver os vazamentos imediatamente;
- A verificação regular do sistema com R-744 é obrigatória, incluindo inspeções periódicas para detecção de vazamentos e o monitoramento do desempenho do sistema; e
- O objetivo é garantir que todos os profissionais qualificados sejam devidamente treinados e habilitados para o manuseio do R-744.

13.2.4 **Passo a passo para a manutenção de sistemas com R-744**

Figura 502 – Passo a passo para a manutenção de sistemas com R-744



Fonte: Rolf Huehren.

13.2.5 Descrição das Etapas de trabalho, de nº 1 a 11 , em sistemas com R-744 (CO_2)

1 Preparação de um local de trabalho seguro para a manutenção de sistemas de refrigeração com R-744 (CO_2)

Manutenção e reparos em sistemas com fluido refrigerante R-744 exigem a preparação minuciosa do profissional qualificado, para garantir a segurança, devido à pressão muito alta do fluido refrigerante; aos possíveis efeitos de sufocamento (o gás CO_2 é inodoro); e ao congelamento causado pelo fluido refrigerante em estado líquido; ou ainda, à formação de gelo seco.

O primeiro objetivo de segurança sempre é manter os sistemas de R-744 (CO_2) estanques! É obrigatório consertar vazamentos imediatamente, assim que detectados!

Símbolos gerais de aviso de segurança

A sinalização de segurança para sistemas de refrigeração, que operam com R-744 (CO_2), é fundamental, para garantir a conscientização e a conformidade com as normas de segurança. Essa sinalização normalmente inclui elementos visuais e textos específicos para comunicar os perigos de forma eficaz. Na sequência, estão alguns exemplos de elementos comuns, que devem fazer parte da sinalização de segurança para sistemas de refrigeração com R-744.

Figura 503 – Exemplos de símbolos gerais de aviso de segurança – R-744



Aviso de segurança



Pressão muito alta



Asfixia



Congelamento

Fonte: Rolf Huehren, com base na norma ISO 7010.

Solicitação de Autorização de Trabalho para a Realização de Serviços em AVAC-R

Ao realizar serviços em sistemas de AVAC-R, obter uma autorização de trabalho garante o cumprimento de requisitos de segurança, ambientais e legais.

O processo envolverá a execução de uma "Análise de Risco de Última Hora (LMRA)" (veja Anexo 1), no local de trabalho para identificar possíveis perigos, como a presença de CO_2 no ar e gases combustíveis em excesso (por exemplo,

gases combustíveis para brasagem). Essa análise de risco também deve mencionar se haverá execução de trabalhos a quente, trabalhos em altura, em espaço confinado, em instalações elétricas, etc. e, então, determinar as medidas de controle necessárias.

Use formulários já preparados para diferenciação entre as tarefas de trabalho e de orientação. Defina claramente as tarefas e os assuntos, como manutenção ou reparo do sistema, manuseio de fluido refrigerante, o tipo de fluido refrigerante (por exemplo, R-744 e/ou outros), ferramentas elétricas e equipamentos operados eletricamente (recolhedoras, bomba de vácuo, ventilador de segurança, etc.).

Obtenha uma autorização formal de trabalho detalhando o projeto, as medidas de segurança, as certificações dos/as técnicos/as e a adesão às normas relevantes (por exemplo, ABNT NBR ISO 5149). Certifique-se de que o/a técnico/a qualificado seja habilitado para a manutenção de AVAC-R, especialmente para o manuseio de equipamentos e substâncias especificadas e perigosas.

As autorizações de trabalho precisam ser verificadas e aprovadas pela autoridade competente, como um supervisor, um gerente local, diretor de segurança ou órgão regulador.

Proibições e ordens expressas em todas as áreas de trabalho

Nos locais de trabalho onde há manuseio de fluidos refrigerantes R-744 (CO_2), proibições e ordens expressas são essenciais para garantir a segurança e o cumprimento das normas, dos códigos de construção e os regulamentos.

Figura 504 – Exemplos de sinalização de proibições expressas na área de trabalho - R-744



Fonte: Rolf Huehren, com base na norma ISO 7010.

Use Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados

Os profissionais que operam com sistemas com R-744 devem usar roupas de trabalho fechadas, apropriadas, luvas resistentes a produtos químicos (ou luvas de trabalho), calçado de segurança e óculos de proteção, para se proteger contra a exposição acidental a fluidos refrigerantes ou outros perigos identificados. Para informações mais detalhadas sobre segurança, consulte o Capítulo 3 desse manual de treinamento.

Figura 505 – Exemplos de placas de sinalização de EPI - R-744



Fonte: Rolf Huehren, com base na norma ISO 7010.

Realização de verificações de segurança antes da manutenção

Antes de iniciar o trabalho, confirme se o sistema usa fluido refrigerante R-744 (CO_2), para evitar o uso de ferramentas ou equipamentos incompatíveis. Ao realizar o trabalho de manutenção, use um dispositivo pessoal de aviso de gás CO_2. Certifique-se de que os sistemas de detecção de gás estejam funcionando!

O alto risco potencial do aumento da concentração de gás CO_2 na área de trabalho

Preste atenção ao sinal do sistema de aviso de gás CO_2 antes de entrar nos ambientes! Um valor elevado de CO_2 é indicado por um sinal acústico e/ou visual.

A concentração de CO_2 na atmosfera é de cerca de 400 ppm (0,04%). Em um ambiente fechado, porém, a concentração de CO_2 aumenta para mais de 1000 ppm (0,1%), em alguns casos, devido a processos respiratórios, se a sala for mal ventilada. O teor de CO_2 do ar exterior também aumenta com as emissões de CO_2 de veículos (gases de escape) ou pela emissão de gases de escape de caldeiras na atmosfera. Portanto, é normal que o dispositivo indique concentrações variáveis de CO_2, dependendo se você está em um ambiente interno ou externo.

⚠ **Atenção:** O Sistema Mundial Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS) das Nações Unidas é um sistema padronizado a nível global para a classificação de produtos químicos e sua rotulagem em embalagens e fichas de segurança. A classificação de fluidos refrigerantes comprimidos e liquefeitos diverge da classificação de segurança dos fluidos refrigerantes (A1, A2L, A2, A3, B2L, entre outros), como indicado na ISO 817 e na ABNT NBR 16666. O Regulamento GHS, ainda não tem tal classificação. De acordo com o GHS, o R-744 é classificado como gás comprimido e liquefeito (declaração de perigo H280 do GHS – Contém gás sob pressão; pode explodir se aquecido – exemplo: R-744).

Isso deve ser considerado ao mencionar as informações de perigos das fichas de segurança. Esse é o caso de todos os fluidos refrigerantes de classificação A1

descritas na ABNT NBR ISO 5149-2, Anexo C2 (Classificação de segurança do fluido refrigerante), atentando à seção 5.3 "Ensaios", descrita na mesma norma.

Consulte também os Capítulos 5.5.1.3 e 5.10.12.4 sobre o GHS e outras classificações de segurança de fluidos refrigerantes para transporte e uso.

-1- **O limite do sistema de alarme fixo para CO_2**	O detector de gás CO_2 Carel fixo, utilizado nos laboratórios-escola modelo mini supermercado no Brasil é GDWRI20A00. O "valor de limite prático2" do CO_2 é 0,07 kg/m³. O limite do alarme deve ser configurado no dispositivo, de acordo com a ABNT NBR ISO 5149-1. O valor preestabelecido do detector de fluido refrigerante deve ser apenas a metade do valor de limite prático para a concentração, de acordo com a norma (0,035 kg/m³), o que corresponde a uma fração volumétrica de aproximadamente 1,8 % (18.000 ppm). O procedimento de calibragem do detector de gás e o teste de resposta são procedimentos obrigatórios, que devem ser realizados durante a instalação e a manutenção (exceto ao substituir o elemento sensível). Normas: EN 50270; EN 50561-1; UL61010-1/CSA C22.2 N° 61010-1; IEC 61010-1; e EN 61010-1.
-2- **Detector de gás CO_2 - Instrumento para busca de vazamentos**	O detector INFICON D-TEK CO_2 (adquirido para a realização do projeto por meio de licitação internacional) usa uma célula inovadora de detecção de absorção de infravermelho, que é extremamente seletiva para o dióxido de carbono, embora seu circuito permita que o instrumento se iguale ao CO_2 presente na atmosfera, havendo um risco mínimo de alarmes falsos. Sensibilidade de 6 g/a; e Resposta rápida e liberação rápida ("zeragem") da bomba de amostragem de ar integrada. • Por predefinição, o D-TEK CO_2 zera automaticamente para o entorno, permitindo que você procure uma concentração mais alta e ajude a localizar a fonte do vazamento. Por exemplo, se um vazamento for detectado e o D-TEK- CO_2 for mantido nessa área por vários segundos, o alarme vai parar. Isso indica que a unidade foi zerada para a nova concentração de CO_2 do entorno. Normas: SAE J 1627, EN 61010-1; EN 61326; EN 62133; EN 55011; e IEC 63000.

[11] Concentração do limite prático usada para cálculo simplificado para determinar a quantidade máxima aceitável de fluido refrigerante em um espaço ocupado; veja mais explicações no Capítulo 5.5.

-3- **EPI Detector de gás CO_2**	***GASMAN (CROWCON)* CO_2** ⚠ O detector de gás *Gasman* (adquirido para a realização do projeto por meio de licitação internacional) é um Equipamento de Proteção Individual (EPI), portátil, (para ser carregado junto ao corpo, e que mostra o alarme para gases tóxicos da média ponderada por tempo (TWA), quando o valor limite médio, por tempo, for excedido por 15 minutos ou 8 horas. O *Gasman* mostra "LTWA" e "STWA". Quando o limite para o alarme TWA é alcançado, o alarme TWA não pode ser eliminado. ⚠ **Zeragem e calibragem, certifique-se de que o dispositivo esteja em ar limpo!** O *Gasman* é fornecido com uma função de zeragem automática, que é ativada quando o dispositivo inicia o funcionamento. Essa função pode ser configurada para operação automática ou para confirmação pelo usuário ou completamente desativada (consulte o manual do usuário do fabricante). O dispositivo tem funções de alarme sonoro, visual e vibratório. Conformidade com as normas de desempenho de detecção de gás EN 50054, EN 50057, EN 61779-1, EN 50104 e EN 50270, certificadas pelo Lloyds Register.
Áreas de trabalho em nível inferior	⚠ Em caso de vazamento repentino de gás CO_2, saia imediatamente das salas localizadas em níveis inferiores, pois há um risco especialmente alto de acúmulo de gás CO_2 nessas áreas! Cubas de unidades de refrigeração, especialmente de ilhas e freezers do tipo baú, também é crítica. Dióxido de carbono em altas concentrações também pode se acumular nessas partes! Para proteção, deve ser usado um dispositivo EPI na área do peito. ⚠ Ventile bem a sala ou o espaço em que o CO_2 se acumulou. Em casas de máquinas, ligue a ventilação forçada de uma área não perigosa. ⚠ Se não for possível ventilar, entre na sala somente com um aparelho respiratório autônomo! Isso também vale se houver pessoas feridas na sala, precisando de assistência urgente!

- ⚠ Assegure a ventilação adequada! Por exemplo, ligue a ventilação forçada na casa de máquinas ou abra portas e janelas;
- ⚠ Verifique se rotas de resgate e de fuga estão livres. Elas não devem estar bloqueadas por cilindros de fluido refrigerante, materiais de montagem, lixo ou similares;
- ⚠ Informe o proprietário, supervisor ou cliente do início dos trabalhos. Informe também sua saída ao concluir o trabalho;
- ⚠ Verifique se toda a documentação necessária – como, por exemplo, manuais de manutenção e segurança do fabricante do equipamento original (OEM) e as fichas de dados de segurança (FDS) – está disponível e foi compreendida;
- ⚠ Desconecte e isole o sistema, ou partes do sistema em que está trabalhando, de sua fonte de energia; e
- ⚠ Faça uma verificação preliminar de vazamentos, usando ferramentas não-invasivas (detector de gás), de gás, para identificar qualquer vazamento significativo no sistema.

Organize um ambiente de trabalho seguro

Comece os trabalhos preparatórios definindo, protegendo e identificando (sinalização de segurança) um espaço de trabalho desobstruído e bem ventilado para a manutenção. Dessa forma, o risco de acúmulo de dióxido de carbono (do sistema e dos cilindros de fluido refrigerante) é reduzido, assim como a possibilidade de perturbação dos trabalhos por pessoas não autorizadas. Não é permitido usar telefones celulares. Desenergize o sistema de modo apropriado, e siga as orientações do fluxograma de isolamento elétrico seguro (veja Anexo 5).

Providencie ferramentas adequadas para o espaço de trabalho

Use somente ferramentas e equipamentos certificados para o trabalho específico com fluido refrigerante R-744 de alta pressão (A1) e recolhedoras classificadas para tal fim. Os detectores de gás devem ser dispostos (em instalação fixa e como EPI) para monitorar vazamentos durante o processo de manutenção ou reparo. Além disso, garanta a disponibilidade de cilindros de recolhimento apropriados, especificamente classificados para fluidos refrigerantes de alta pressão e etiquetados de modo correspondente.

Defina e siga os protocolos de segurança

Coloque um extintor de incêndio apropriado em sua área de trabalho, que seja adequado para trabalhar com equipamentos elétricos. Provavelmente, um balde de água por perto será útil (dependendo da tarefa a ser feita, por exemplo se houver brasagem envolvida). Certifique-se de que haja um plano de emergência claro, incluindo um procedimento de evacuação e pontos de encontro designados. Todos os membros da equipe devem ser informados sobre os protocolos de segurança e a natureza das tarefas perigosas.

Aviso sobre risco residual

- ⚠ Fluidos refrigerantes R-744 (CO_2) podem sempre estar nas proximidades (esse fluido refrigerante é um assassino silencioso).
- ⚠ Coloque sinalização de segurança.
- ⚠ Use EPI adequado e detector de gás para o caso de aumento da concentração de fluido refrigerante.
- ⚠ Aviso sobre o risco de ruptura, devido à expansão de líquido, que pode estar preso na descarga do compressor, quando isolado para fins de manutenção.
- ⚠ Aviso sobre o risco de ruptura, devido à expansão de líquido, que pode estar preso no lado da sucção do compressor isolado.
- ⚠ Aviso sobre o risco de ruptura, devido à expansão de fluido refrigerante em estado líquido, que pode estar preso ou devido ao aumento da pressão de vapor do fluido refrigerante residual, por causa da entrada de calor do ambiente em qualquer seção isolada da tubulação do fluido refrigerante.
- ⚠ Todas as válvulas, que podem ser operadas manualmente, são protegidas por meio de uma tampa e só podem ser operadas por meio de uma ferramenta.

2 Abertura do sistema

No contexto de aplicações de AVAC-R "abertura do sistema" se refere normalmente à realização de qualquer operação/intervenção que rompa a vedação do circuito de refrigeração.

⚠ Em geral, tais atividades são permitidas somente para profissionais qualificados.

Na pior das hipóteses, essas ações permitem a entrada de ar ou umidade no circuito de refrigeração; ou a fuga do fluido refrigerante R-744 de alta pressão para a área de trabalho (risco de sufocamento). Tais violações são críticas, pois podem comprometer a integridade do sistema, a segurança geral do sistema, a saúde e a segurança ocupacional, o desempenho e a proteção ambiental.

⚠ As atividades intencionais consideradas como "abertura do sistema" são as seguintes:

- Abertura do circuito de refrigeração por meio de ferramenta perfurante ou válvulas de serviço; e ativação ou manipulação das válvulas de serviço para acessar o circuito de refrigeração. Ou ainda, simplesmente, a conexão do conjunto *manifold* com mangueiras;
- Abertura de tubulações de fluido refrigerante, como desconectar ou cortar/perfurar qualquer parte da tubulação ou dos componentes;
- Adicionar ou remover fluidos refrigerantes;
- Recolher fluido refrigerante do sistema;
- Substituição de peças defeituosas, como vedações, gaxetas ou válvulas, que exigem a abertura do sistema; e
- Realização de alterações no circuito de refrigeração.

3 Remoção do fluido refrigerante R-744

Pode ser realizada a remoção (recolhimento) do fluido refrigerante de todo o sistema ou de partes seccionadas do mesmo (lado de baixa pressão, lado de alta pressão, evaporador, compressor, etc.).

Ao isolar componentes para manutenção, é preciso tomar cuidado para garantir que o líquido de dióxido de carbono, o R-744, não fique preso entre as válvulas fechadas em uma parte desprotegida do sistema. Válvulas de controle (como EXVs) não devem ser usadas como válvulas de isolamento.

Não deve ser realizada soldagem ou brasagem no sistema, até que o R-744 tenha sido removido. Se for o caso, desconecte/desligue eletricamente o compressor R-744, antes de fechar sua válvula de descarga. É preciso ter cuidado ao remover os flanges para garantir que todo o fluido refrigerante R-744 tenha sido removido e que a pressão seja a mais baixa possível:

a. Todos os parafusos e porcas das peças que transportam fluido refrigerante devem ser afrouxados; e
b. Os flanges devem ser afrouxados mantendo, no mínimo, dois parafusos no lugar.

Existem vários métodos de remover o R-744:

a. Ele pode ser liberado (= a maneira prática).

Neste caso, o R-744 geralmente é ventilado dos sistemas, em vez de ser recolhido. É importante que essa liberação seja feita com segurança, para uma área bem ventilada, de preferência do lado de fora da edificação.

Deve haver instruções de trabalho para sempre aliviar a pressão e, se aplicável, liberar o fluido refrigerante líquido do vaso /trocador de calor isolado no lado de alta pressão.

Como trata-se de uma substância asfixiante de baixa toxicidade, deve haver detector de gás, como EPI, ou um sistema fixo de detecção de gás no local.

Alivie a pressão do lado de sucção do compressor isolado, considerando o fluido refrigerante dissolvido no óleo do compressor e, principalmente, tomando cuidado com o fluido refrigerante líquido, que pode estar preso devido a uma operação defeituosa.

Antes de isolar a seção do filtro secador, recolhe todo o fluido refrigerante da linha de líquido, para aliviar imediatamente a pressão e drenar o fluido refrigerante líquido residual da seção isolada. Este procedimento deve ser aplicado sempre que for necessário fazer manutenção no filtro secador ou no visor de líquido/indicador de umidade.

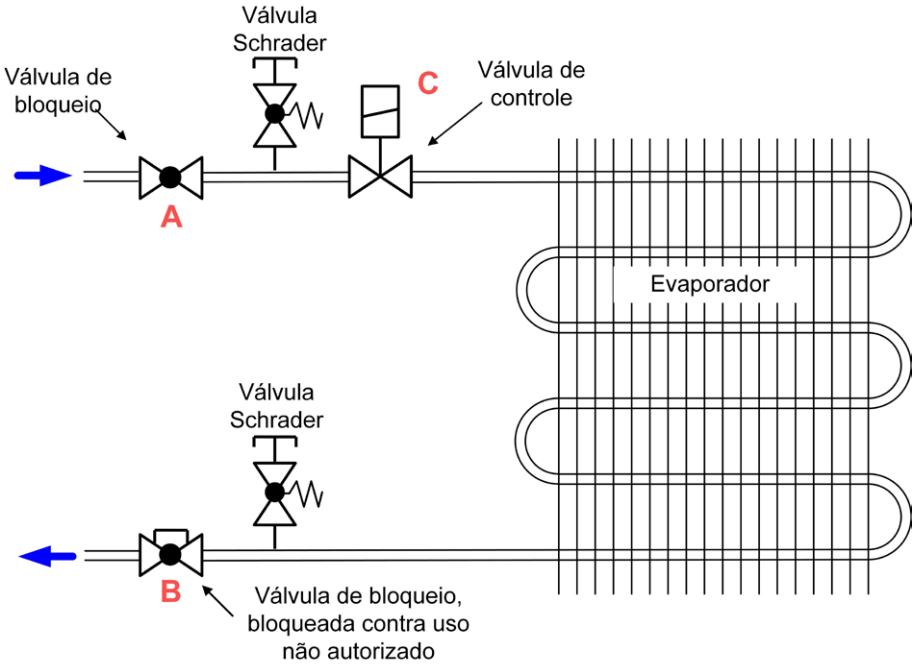
Pode haver formação de gelo seco na mangueira de ventilação do R-744 ou no sistema à medida que a pressão cai, passando pela pressão do ponto triplo (4,2 bar(g) - 420 kPa) para a pressão atmosférica. Isso pode ser interpretado, erroneamente, como indício de que o sistema está livre de fluido refrigerante – se houver formação de gelo seco, a pressão do fluido refrigerante cairá para 0 bar. Quando o gelo seco sublimar[10], a pressão vai aumentar, por exemplo, para 56 bar(g) se a temperatura estiver em 20 °C.

b. Se o R-744 for recolhido, a recolhedora e qualquer equipamento associado devem ter classificação para a pressão máxima de operação. Essa pressão seria de 80 bar, em um ambiente a 30 °C, por exemplo, mas pode ser significativamente maior, se o ambiente for maior. As recolhedoras para fluidos refrigerantes HFCs/ ou HCFCs e os cilindros de recolhimento usados normalmente não apresentam a classificação necessária e representam um risco alto se operados com R-744. A classificação do cilindro deve ser para aproximadamente 200 bar.
c. Pode ser transferido para outra parte do sistema.
d. Pode ser evaporado como apresentado na Figura 506.

O procedimento abaixo é um exemplo de isolamento do evaporador em um expositor de baixa temperatura.

[12] A sublimação é a transição do R-744 diretamente do estado sólido (gelo seco) para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido.

Figura 506 – Isolamento dos componentes do circuito de refrigeração com R-744 para a manutenção



Fonte: Rolf Huehren.

Sequência das atividades:

1. Monte o conjunto *manifold* na conexão de serviço (válvula Schrader) na válvula esfera (B);
2. Isole a válvula esfera de entrada (A), enquanto a válvula de controle (C) está aberta. Certifique-se de que a válvula de controle está aberta, usando um ímã permanente;
3. Deixe a bobina do evaporador bombear por 15 minutos. Este tempo é considerado o suficiente para garantir que a bobina do evaporador esteja razoavelmente livre de gelo, com o ventilador funcionando. Quando todo o congelamento na bobina desaparecer, o R-744 líquido evaporou;
4. Isole a saída da bobina do evaporador na válvula esférica (B);
5. Proceda imediatamente à ventilação/liberação do fluido refrigerante a partir da conexão de serviço (válvula Schrader) (A), enquanto a pressão é observada no manômetro;
6. Monitore a pressão na bobina do evaporador na saída da bobina (ou outro componente do circuito de refrigeração) pela válvula de serviço (B). Isso é essencial para garantir que o fluido refrigerante tenha sido removido completamente e que a válvula de serviço antes da válvula de controle de líquido (C) não tenha ficado bloqueada com dióxido de carbono sólido (gelo seco de R-744); e
7. Antes de recolocar o evaporador em operação normal, ele deve ser evacuado (veja Etapa de Trabalho 8). O gás deve ser carregado no evaporador a uma pressão de aproximadamente 10 bar(g), antes de abri-lo para a linha de líquido e a linha de sucção, a fim de evitar a formação de gelo seco. O gás pode ser retirado de um cilindro de gás R-744 ou da sucção do sistema, abrindo gradualmente a válvula de bloqueio (B).

4 Abertura do circuito de refrigeração R-744

Verifique se o sistema/componente do circuito de refrigeração está completamente livre de fluido refrigerante.

Se for preciso desligar o sistema R-744, é possível que a pressão de parada suba a um nível superior à pressão de descarga de algumas ou de todas as válvulas de alívio de pressão. Se houver um sistema de resfriamento de emergência auxiliar, é possível que ele seja usado para manter a pressão abaixo das pressões de descarga das PRVs por um curto intervalo de tempo, se não houver carga no sistema.

Abra o sistema ou parte dele para os trabalhos preparatórios para reparo/manutenção.

5 Execute o reparo (manutenção)

Certifique-se de substituir/reparar somente componentes iguais ao do fabricante do equipamento original (OEM), para garantir a integridade subsequente pretendida do sistema. Ao adicionar óleo é preciso muito cuidado, para evitar a entrada de umidade e ar no sistema. O óleo deve ser bombeado e não despejado no sistema. Qualquer recipiente de óleo, filtro secador ou outros componentes do circuito deve ser aberto (removendo as vedações) logo antes da montagem no sistema.

6 Vedação do sistema

A brasagem dos componentes será feita durante a limpeza (*flushing*) do sistema/parte do sistema com OFDN, para evitar contaminação. Vede o sistema para o teste de pressão na sequência.

7 Teste do sistema (teste de estanqueidade e/ou de resistência/pressão)

Após a conclusão do reparo todo o sistema (ou a parte seccionada do sistema em questão e, especificamente, as juntas brasadas), deve ser testado sob pressão com OFDN, quanto à resistência e à estanqueidade, de acordo com as normas aplicáveis.

- Conforme ABNT NBR ISO 5149-2, são os seguintes testes:
- Teste de resistência a 1,1 x PS[11] para a maior parte da tubulação (ou seja, juntas que são de categoria de risco 1 (GHS) ou inferior);
- Teste de resistência a 1,43 x PS para o lado de alta pressão de sistemas transcríticos, que são de categoria de risco 2 (GHS) ou superior. Como opção pode ser usado 1,1 x PS, nesse caso, 10% das juntas devem passar por teste não destrutivo;
- Teste de estanqueidade a 1,0 x PS;
- Teste de pressão com 1,0 x PS (veja também o Capítulo 13.3); e
- Teste de vazamento fino a aproximadamente 6 bar (0,6 MPa(g).

[13] PS = pressão máxima permitida para a qual o sistema ou componente foi projetado, conforme especificado pelo fabricante.

- ⚠ Realize o teste de pressão sempre em áreas bem ventiladas! O OFDN tem efeito sufocante quando em altas concentrações.
- ⚠ Não devem ser usados conjuntos *manifold* com visor!!!
- ⚠ Use somente um regulador de pressão do cilindro confiável e aplicável à pressão de teste pretendida.

Execução do teste de vazamento fino, aplicando uma mistura de 5% de H_2 e 95% de N_2 (gás marcador)	⚠ Uma pressão de teste inicial de aproximadamente 6 bar é totalmente adequada para um teste de vazamento fino confiável. Por razões econômicas, o teste de vazamento fino deve ser realizado na mesma etapa de trabalho que o teste de resistência à pressão; • Comece com o teste de vazamento fino e siga com o teste de resistência à pressão; • Aumente lentamente a pressão no sistema até 6 bar. Esse procedimento gradual reduz o consumo de gás marcador caso a pressão tenha de ser reduzida novamente, para corrigir vazamentos maiores (às vezes de forma audível); e • Após o teste de vazamento fino, sempre permita que o gás marcador possa sair ao ar livre, pois a mistura de hidrogênio/nitrogênio tem um efeito sufocante quando em altas concentrações.

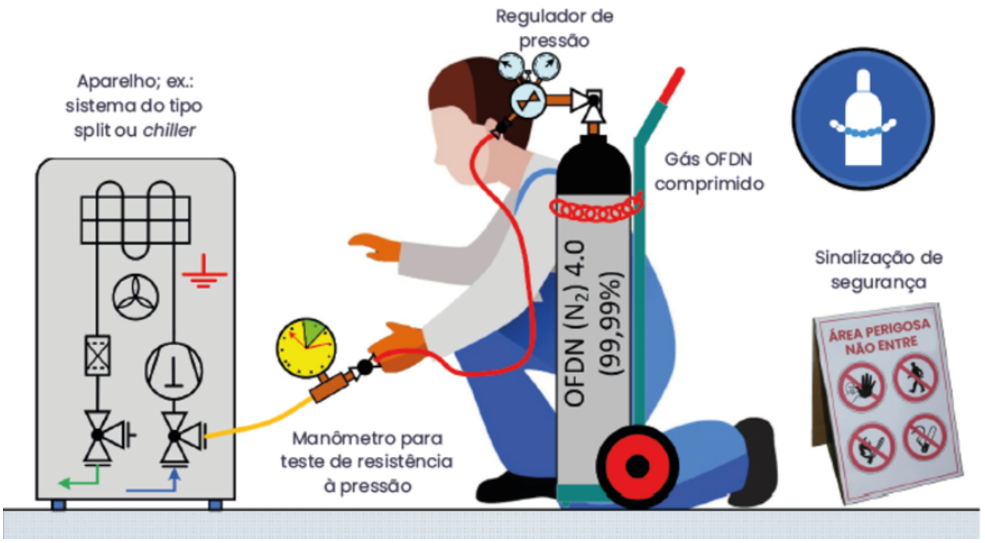
A norma relevante deve ser consultada, para requisitos específicos para o teste de pressão (ABNT NBR ISO 5149-2). Componentes e conjuntos, como compressores e conjuntos selados em fábrica, normalmente não precisam ser testados sob pressão no local, pois já foram testados pelo fabricante.

Ao realizar testes de pressão, as práticas de trabalho recomendadas devem ser seguidas:

- ⚠ Válvulas de alívio de pressão devem ser isoladas, durante o teste de pressão.
- ⚠ Equipamentos, incluindo o regulador de nitrogênio, devem ser classificados para a pressão aplicada;
- ⚠ A área deve ser desocupada por qualquer pessoa que não esteja diretamente envolvida nas atividades de teste de pressão;
- ⚠ O OFDN deve ser carregado lentamente, em etapas, no sistema e uma verificação inicial deve ser realizada a aproximadamente 5 bar(g) (0,5 MPa(g);
- ⚠ A pressão do teste de resistência deve ser mantida por, no mínimo, 15 minutos;
- ⚠ O nitrogênio usado para o teste de vazamento deve ser liberado para uma área bem ventilada, de preferência externa; e
- ⚠ A pressão deve ser reduzida até a pressão do teste de estanqueidade e cada junta deve ser verificada com solução de espuma e sabão, ou a pressão deve ser mantida e monitorada por, pelo menos, 24 horas.

Se a integridade do sistema for registrada pelo teste de pressão ou de estanqueidade, prossiga para a Etapa 8 de testes do sistema. Se forem identificados vazamentos, o reparo deve ser feito diretamente e o passo a passo da ação deve iniciar novamente na Etapa 5.

Figura 507 – Disposição para testes de pressão com ferramentas e equipamentos



Fonte: Rolf Huehren.

8 Abertura do circuito de refrigeração R-744

O vácuo é usado nos sistemas AVAC-R por duas razões:

- Para remover gases estranhos, prevenindo avarias no circuito de refrigeração; e
- Em caso de desidratação do sistema de refrigeração: ao reduzir a pressão, a água entra em ebulição em temperatura ambiente e é conduzida para fora do sistema na forma de mistura de ar e vapor.

Todas as válvulas devem ser abertas (todo o sistema ou parte/seção do sistema) para garantir que a pressão possa ser equalizada, no sistema todo, e que seja aplicado vácuo em todas as seções da tubulação.

Vácuo

A(s) bomba(s) de vácuo usadas devem ser potentes e em bom estado para o trabalho. A bomba de vácuo deve conter óleo novo a cada tarefa de manutenção (conforme sua contaminação).

Deve ser realizado um teste de aumento de vácuo por tempo adequado. O teste no circuito de refrigeração completo deve ser realizado, pelo menos, por 24 horas.

Quebra do vácuo com nitrogênio seco e livre de oxigênio (vácuo triplo)

O vácuo triplo é o processo em que o sistema é colocado sob vácuo três vezes, em vez de um único vácuo profundo, que muitas vezes é usado. Uma limpeza (*flushing*) com OFDN é feita no sistema entre cada execução do vácuo, o que ajuda a absorver traços de umidade que eventualmente possam continuar no sistema (especificamente em baixas temperaturas ambientes). O enfraquecimento das ligações covalentes entre a umidade e as paredes internas do sistema (tubulação, componentes) é um resultado eficiente da limpeza (*flushing*) com OFDN e do vácuo triplo.

A sequência normal da realização do vácuo triplo é a seguinte:

1. Aplique vácuo de até 1.000 mícrons no sistema;
2. Quebre o vácuo, com OFDN, em baixa pressão por 5 minutos;
3. Evacue o sistema até um nível de vácuo de 500 mícrons;
4. Quebre o vácuo, com OFDN, em baixa pressão por 5 minutos;
5. Evacue o sistema até um nível de vácuo de 300 mícrons;
6. Isole a bomba de vácuo do sistema e desligue-a; e
7. Realize um teste de aumento de vácuo, de 15 minutos, e certifique-se de que o nível de vácuo não suba acima de 500 mícrons.

Como realizar um teste de aumento do vácuo?	Um teste de aumento de vácuo é um método usado para testar um sistema quanto a vazamentos, observando o nível de vácuo durante um tempo predeterminado. O teste é realizado baixando o nível de vácuo do sistema até aproximadamente 300 mícrons, antes de isolar a bomba de vácuo do sistema e desligá-la. O nível de vácuo deve ser observado durante 15 minutos, durante os quais um aumento para mais de 500 mícrons indica uma falha no teste, mas quando o sistema mantém o nível de vácuo abaixo de 500 mícrons, o teste é considerado bem-sucedido. No caso de falha no teste de aumento de vácuo, devem ser realizados testes de pressão e de estanqueidade com OFDN. Se forem identificados vazamentos, o reparo deve ser feito diretamente.

⚠ **Atenção:** As mangueiras flexíveis de transferência de fluido refrigerante e as gaxetas muitas vezes são fontes de vazamento!

Carga do R-744

O R-744 está disponível em cilindros com uma válvula de extração de líquido ou de gás e, para sistemas maiores, também está disponível em contêiner a granel. Geralmente, os cilindros de R-744 são mais pesados do que os outros cilindros de fluido refrigerante. Portanto, é preciso ter cuidado ao manuseá-los, por exemplo, eles devem ser deslocados em um carrinho (como deve ser feito também com o cilindro de OFDN). Em geral, eles são menos estáveis do que outros cilindros de fluido refrigerante, devido à relação entre o diâmetro e a altura, portanto, devem ser protegidos quando estiverem em uso, assim como no armazenamento e transporte.

O equipamento usado para conectar o cilindro ao sistema deve ser classificado para a pressão do R-744. Normalmente, usa-se mangueira hidráulica ou mangueira de malha de aço. Exemplos são mostrados no Capítulo 5.9 (Ferramentas e Equipamentos).

A conexão ao cilindro deve ser a conexão com a classificação e o tamanho corretos para a válvula do cilindro. Não deve ser usado um adaptador padrão para um cilindro de fluidos refrigerantes HCFC/HFC. Todas as linhas de carga devem ser evacuadas ou purgadas, antes de realizar a carga, para reduzir a entrada de ar e umidade no sistema. Monitore o cilindro na balança, para medir o peso do fluido refrigerante antes da retirada.

Carga do estágio inferior dos sistemas em cascata

Antes que o estágio inferior (baixa temperatura) de um sistema em cascata seja carregado, certifique-se que o estágio superior esteja operacional. Portanto, o estágio superior deve ser carregado e comissionado antes de realizar a carga no estágio inferior.

Monitoramento do peso da carga de fluido refrigerante R-744	A carga inicial de fluido refrigerante R-744 de forma gasosa (10 bar(g)) e a subsequente carga de forma líquida do circuito de refrigeração, devem ser monitoradas pela medição do peso do cilindro de carga, usando uma balança de apropriada. Medição do peso do cilindro **a.** antes da retirada do fluido refrigerante; e **b.** após a carga completa do fluido refrigerante.

Para evitar a formação de gelo seco, o sistema em vácuo deve ser carregado com vapor de R-744 a uma pressão acima do ponto triplo do CO_2 (recomenda-se 10 bar(g) - 1,0 MPa). É importante entender que todo o sistema deve estar acima do ponto triplo, o que provavelmente acontece quando todos os manômetros mostrarem uma pressão de 10 bar. Quando isso for alcançado, o sistema poderá ser carregado com líquido.

É preciso ter cuidado ao carregar sistemas com R-744 para garantir que as válvulas de alívio de pressão (PRVs) de segurança não descarreguem. A pressão do cilindro do R-744 será maior do que algumas ou todas as pressões de alívio das PRVs, **especialmente aquelas no estágio inferior dos sistemas em cascata** e nos lados de baixa e intermediária dos sistemas transcríticos com conceito booster.

Para evitar a descarga das PRVs, o fluido refrigerante deve ser carregado lentamente, permitindo que a pressão do sistema se iguale totalmente, especialmente durante a carga inicial de todo o sistema.

Método de pré-carga (somente para R-744 gasoso)

A carga inicial do sistema AVAC-R sempre deve começar com CO_2 gasoso, para evitar a formação de gelo seco.

Quando o CO_2 é retirado lenta e suavemente (cerca de 20-40 g/s ou ~1 bar por 30 segundos) de um cilindro de gás, por meio de uma mangueira apropriada, ele é carregado em estado gasoso. Esse é o método correto ao pré-carregar o sistema por meio do tanque de líquido.

Essa carga lenta deve continuar até que seja atingida uma pressão mínima de 10 bar, para a qual a temperatura de saturação do R-744 é de -40 °C, o que deixa uma margem de segurança em relação à temperatura de -56,6 °C, na qual o gelo seco começa a se formar. É mais seguro encher o tanque de líquido com CO_2 gasoso até que a pressão no tanque seja igual à pressão no cilindro de CO_2, desde que o tamanho de carga exigida pela instalação não seja excedida.

Procedimentos perigosos no método de pré-carga	⚠ A pré-carga de R-744 é perigosa, quando o gás é retirado do cilindro por meio de um fluxo intenso e violento. Esse processo de expansão rápida causa uma queda significativa da temperatura do gás na saída da mangueira e dentro do cilindro. ⚠ Ao carregar o CO_2 de um cilindro para o tanque de líquido (que se encontra sob vácuo profundo) do sistema dessa maneira, pode haver risco de resfriamento rápido demais do tanque, atingindo os parâmetros do ponto triplo. Isso pode levar à formação de gelo seco dentro da mangueira ou da instalação.

Método de carga final de forma líquida

A carga final do sistema deve ocorrer somente após o processo de pré-carga. Ela pode ser feita com fluido refrigerante em estado líquido no tanque de líquido ou com fluido refrigerante gasoso na sucção (com o compressor em funcionamento).

Quando o sistema já estiver pré-carregado com gás R-744, a aproximadamente 10 bar, conforme explicado anteriormente, é possível usar um cilindro de líquido e injetar o fluido refrigerante CO_2 (R-744) de forma líquida, diretamente do cilindro.

O enchimento do tanque de líquido com fluido refrigerante líquido deve ser feito de forma controlada, para evitar que o tanque resfrie rapidamente, o que pode levar à formação de uma certa quantidade de gelo seco.

Procedimentos perigosos na carga final	Ao carregar o sistema (sob vácuo profundo) diretamente, retirando o fluido refrigerante em estado líquido de um tubo pescador do cilindro de CO_2 e ignorando a pré-carga com gás R-744, o gelo seco se formaria em grandes quantidades no tanque de líquido. Essa situação atrasaria muito o processo de start-up da instalação, pois o gelo seco sublima a uma taxa de apenas 1% de sua massa total por hora.

9 Iniciar, verificar e fechar o sistema – sequência das atividades

***Start-up* do sistema**

- Continue carregando com fluido refrigerante em estado líquido;
- Permita que o sistema se estabilize nas condições de operação projetadas;
- Monitore pressões, temperaturas e o desempenho do sistema, usando sensores e manômetros instalados;
- Aos poucos, vá acrescentando mais fluido refrigerante em estado líquido, até o sistema atingir seu nível especificado de carga; e
- Evite carregar excessivamente e consulte as especificações do fabricante (veja placa de identificação do sistema) para saber qual a carga projetada.

Verificação da operação

- Verifique se as pressões e as temperaturas estão dentro da faixa operacional especificada;
- Verifique a operação do compressor nas condições especificadas;
- Verifique a funcionalidade da válvula de expansão e do controlador e o resfriamento uniforme;
- Certifique-se da ausência de vibração anormal, ruídos ou oscilações de temperatura;
- Permita que o sistema opere continuamente até alcançar condições operacionais estáveis;
- Verifique se os valores de sub-resfriamento e superaquecimento atendem às especificações; e
- Anote os parâmetros operacionais no relatório de comissionamento.

Fechamento do sistema

Depois de carregar, desconecte cuidadosamente as mangueiras, procurando minimizar a quantidade de fluido refrigerante emitida, e continuando como segue:

- Feche a válvula rotalock do lado de alta pressão para isolar a válvula de serviço do circuito de refrigeração;
- Transfira o fluido refrigerante do lado de alta pressão do *manifold* para a conexão de serviço (sistema) do lado de baixa pressão;
- Feche a válvula rotalock do lado de baixa pressão;
- Desconecte lentamente o conjunto *manifold* das conexões de serviço;
- Retire o conjunto *manifold* do sistema;
- Lembre-se: o fluido refrigerante não deve ser liberado para a atmosfera;
- Coloque e aperte todas as tampas das válvulas até ficarem estanques, para evitar vazamentos e proteger as válvulas; e
- Monitore a balança e o peso do cilindro para medir a carga final de fluido refrigerante.

10 Verificação final de vazamento

Após fechar (vedar) o sistema, faça verificações de estanqueidade, usando uma combinação de:

- Detectores de gás (*sniffer*) – verifique cada uma das juntas (reparada no local), conexões e componentes quanto à presença de fluido refrigerante;
- Teste de bolhas – verifique cada junta, conexão e componente quanto à presença de bolhas, usando solução com espuma e sabão;
- Procure por vazamentos no lado de alta pressão do sistema (enquanto o sistema está em operação); e
- Se for identificado um vazamento, siga os procedimentos apropriados para consertá-lo (Etapa 7).

⚠ Lembre-se, os sistemas AVAC-R podem apresentar mais de um vazamento!

11 Verificações de rotina

Limpeza pós-manutenção

Depois de concluir os serviços, faça uma limpeza completa do local de trabalho. Descarte, adequadamente, os materiais e fluidos refrigerantes contaminados, de acordo com as normas ambientais. Inspecione as ferramentas e os equipamentos, quanto à funcionalidade e à qualquer possibilidade de dano, antes de guardá-los, garantindo que permaneçam em boas condições para uso futuro.

Registro dos dados

No formulário de *start-up* do sistema, registre as pressões, temperaturas e outros parâmetros de desempenho do sistema. Registre também a carga total final de fluido refrigerante, para referência futura.

Preencha todos os dados requeridos no livro de registros do sistema.

Instrução aos operadores

Forneça instruções ao usuário final ou à equipe de manutenção sobre a operação do sistema e os procedimentos de segurança. Assine o relatório de *start-up* e obtenha também a assinatura do proprietário/cliente/supervisor.

13.3 Teste de pressão com OFDN

É importante observar que, ao usar esse método, a temperatura do sistema (supostamente a temperatura ambiente) também deve ser considerada devido à relação entre a temperatura e a pressão do nitrogênio gasoso no sistema.

Se isso não for feito, um aumento na temperatura ambiente poderá mascarar uma perda de nitrogênio. De acordo com a Lei de Gay-Lussac (também conhecida como Lei de Amontons sobre Pressão-Temperatura):

⚠ Atenção

A Lei de Amontons, muitas vezes chamada de 2ª Lei de Gay-Lussac, postula que a pressão dos gases ideais é diretamente proporcional à temperatura, com um volume constante em um sistema fechado (transformação isocórica de estado) e uma quantidade constante de substância. Portanto, quando o gás é aquecido, a pressão aumenta, e quando é resfriado, a pressão diminui. Essa relação foi descoberta por Guillaume Amontons.

A lei de Amontons é expressa pela seguinte equação:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Onde:

p_1 é a pressão ao iniciar o teste, em bar (pressão absoluta = pg + 1 bar)

p_2 é a pressão ao concluir o teste, em bar (pressão absoluta = pg + 1 bar)

T_1 é a temperatura ambiente ao iniciar o teste, **em Kelvin**

T_2 é a temperatura ambiente ao concluir o teste, em Kelvin

Exemplo:

Pressão inicial (p_g) é de 22 bar = p_g + 1 bar = p_{abs} =23 bar

Temperatura inicial T_1 é de 35 °C + 273 K = 308 K

Temperatura final T_2 é de 15 °C + 273 K = 288 K

Pergunta: Qual é a pressão manométrica p_{2g} à temperatura final T_2

A fórmula acima pode ser solucionada para p_2 (pressão ao final do teste de pressão).

$$p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$\rightarrow p_2 = 23\ \text{bar} \left(\frac{288\ \text{K}}{308\ \text{K}}\right)$$

$$\rightarrow p_2 = 21{,}5\ \text{bar}$$

$p_{2g} = p_{2abs} - 1\ \text{bar} = 21{,}5\ \text{bar} - 1\ \text{bar} = 20{,}5\ \text{bar}$

A diferença de pressão no manômetro é de $p_{1g} - p_{2g}$ = 22 bar – 20.05 bar = 1.5 bar

Isso quer dizer que houve uma diminuição da pressão em 1,5 bar, de acordo com a lei de Amontons discutida anteriormente, e não se trata de uma perda de carga de nitrogênio.

Em geral, para a maioria das pressões, a pressão varia em 0,7 bar por variação de 5K na temperatura (*para pressões associadas ao R-744, a mudança será maior*).

13.4 **Manutenção Preventiva Planejada**

As atividades de manutenção preventiva na área de AVAC-R abrangem, em geral, o cuidado com aparelhos, equipamentos, ferramentas, máquinas e, por último, mas não menos importante, instalações fixas para uma ampla gama de finalidades diferentes. O foco é manter todos os objetos técnicos e mecânicos em boas condições funcionais, a fim de manter a funcionalidade pretendida e a segurança necessária.

Definição de manutenção, conforme ABNT NBR 17131	A manutenção é uma combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo supervisão, destinadas a manter ou restaurar um item (componente, equipamento ou sistema) em estado do qual possa desempenhar uma função requerida. Ações de manutenção técnica incluem a observação e análise do estado do referido item (por exemplo, inspeção, monitoramento, ensaios, diagnóstico, prognóstico, etc.) e ações de manutenção ativa (por exemplo, reparo, recondicionamento).

Os objetivos da manutenção são:

1. Programar as atividades de manutenção preventiva planejada de acordo com a seção ou parte específica do sistema AVAC-R (lista de Manutenção Preventiva Planejada);
2. Garantir a disponibilidade do item para funcionar conforme exigido e a um custo ideal;
3. Considerar a segurança, as pessoas, o meio ambiente e quaisquer outros requisitos obrigatórios associados ao item;
4. Considerar os impactos ambientais; e
5. Manter a durabilidade do item e/ou a qualidade do produto ou serviço fornecido, considerando os custos.

Atividades de manutenção devem ser realizadas por um profissional competente de forma que:

1. A probabilidade de acidentes com pessoas seja minimizada;
2. Danos materiais sejam minimizados;
3. Os componentes do sistema permanecem em bom estado de funcionamento;
4. A finalidade e a disponibilidade do sistema sejam mantidas;
5. Vazamentos de fluido refrigerante ou de óleo sejam identificados e consertados; e
6. O desperdício de energia seja minimizado.

Além disso, há também a obrigação do proprietário/operador de cumprir os requisitos exigidos pelas regulamentações técnicas, leis ambientais e instruções dos fabricantes para manter a confiabilidade operacional e a segurança de um sistema de refrigeração. Ademais, o proprietário/supervisor/operador deve garantir que cada componente do sistema sujeito a manutenção esteja acessível. Os componentes, conjuntos ou equipamentos devem ser passíveis de manutenção, o que significa, em detalhes:

1. Disponibilidade da funcionalidade do sistema; e
2. Produtos armazenados nos diferentes pontos de resfriamento, ou no espaço resfriado, devem ser realocados (pelo tempo das atividades de manutenção na seção).

Uma lista abrangente de atividades de manutenção preventiva planejadas aplicáveis está disponível no Anexo 6.

14

COMUNICAÇÃO, DOCUMENTAÇÃO E RELATÓRIO

14 Comunicação, documentação e relatório

A comunicação eficiente com o cliente e a produção de relatórios precisos são componentes essenciais para o sucesso no setor de AVAC-R. Este capítulo traz orientações práticas para garantir relacionamentos fortes com o cliente e relatórios claros e abrangentes.

A comunicação com o cliente no setor de AVAC-R exige clareza, profissionalismo e expertise técnica. É crucial usar uma linguagem precisa para explicar os detalhes técnicos com eficiência. A base de qualquer interação é a escuta ativa, que ajuda a compreender totalmente as preocupações do cliente. Transparência e honestidade são as ferramentas chave para uma interação de confiança com o cliente, especialmente ao diagnosticar problemas técnicos e explicar soluções técnicas.

A comunicação normalmente é feita por telefone, por escrito ou em interação pessoal direta. Uma abordagem estruturada é essencial para conversas telefônicas:

- Prepare e estruture as intercomunicações em geral;
- Sempre comece com um cumprimento cordial;
- Deixe os problemas bem claros para o cliente;
- Detalhe as etapas seguintes e resuma as responsabilidades técnicas e contratuais;
- A comunicação por escrito, seja por e-mails ou relatórios, deve sempre ser concisa e sem erros; e
- As reuniões pessoais exigem preparação abrangente, apresentações claras e acompanhamentos para documentar os tópicos discutidos.

14.1 Produção de relatórios

Os relatórios, no setor de AVAC-R, servem não apenas como documentação, mas também como uma ferramenta vital de comunicação. Os tipos comuns de relatório incluem diagnóstico, manutenção e relatórios finais de projetos. Um relatório bem estruturado começa com uma página de título contendo informações essenciais, como o nome e informações de contato da empresa e do cliente, data e descrição do projeto/assunto.

A introdução explica a finalidade do relatório, enquanto a seção principal apresenta os detalhes técnicos, as medições e análises. O relatório termina com recomendações factíveis, seguidas por um apêndice com material de suporte, como diagramas ou fotos.

A precisão técnica é essencial. Todos os dados devem ser verificáveis e apresentados em uma estrutura clara e lógica para garantir que mesmo as informações complexas sejam fáceis de compreender. Auxílios visuais, como diagramas e tabelas, melhoram ainda mais a compreensão do material.

14.2 Boas práticas e ferramentas

O treinamento regular de comunicações com o cliente e a produção de relatórios é um fator de sucesso importantíssimo. As listas de verificação podem ajudar, ga-

rantindo que os pontos chave não sejam ignorados. Por exemplo, na comunicação com o cliente, é essencial confirmar que todas as informações relevantes tenham sido coletadas e que o cliente tenha sido informado sobre as etapas seguintes.

Os modelos de relatórios oferecem uma fundação sólida e podem ser ajustados à empresa para atenderem aos requisitos específicos de um projeto, garantindo uma apresentação consistente e profissional.

14.3 **Registros e tipos de registros**

Um registro significa fazer e manter uma evidência completa, precisa e confiável das formalidades oficiais ou transações e atividades comerciais na forma de informações registradas. Isso significa que a produção de registros envolve manter os registros de ações iniciais, planejamento, monitoramento, inspeções, operações e manutenção, além de medidas de emergência, condições e desempenho de todas as atividades que o profissional competente em AVAC-R conduz em sua linha de trabalho ou negócios.

Os registros são criados e mantidos de várias formas, incluindo:

14.3.1. **Registros físicos**

São representações físicas dos dados armazenados em várias mídias, como anotações e papéis, e tais registros podem ser tão abrangentes quanto o necessário, mas ocupam espaço de verdade.

14.3.2 **Registros eletrônicos**

São documentos eletrônicos (digitais) criados e mantidos usando-se tecnologia ou dispositivos eletrônicos, principalmente computadores, telefones, etc. Tais registros podem ser salvos digitalmente e não exigem muito espaço físico.

14.3.3 **Registros empresariais**

São registros relativos às operações de uma empresa. Os documentos empresariais incluem contratos, acordos, folha de pagamento, planos, relatórios e afins.

14.3.4 **Registros setoriais**

Esses registros são relativos à operação de um setor em particular. Os registos do setor de AVAC-R, por exemplo, incluem documentação de componentes/sistema, instruções de instalação e operação do OEM (sigla de *"Original Equipment Manufacturer"*, ou "Fabricante Original do Equipamento"), manuais de usuário do OEM, relatórios históricos, políticas e materiais relevantes a todo o setor.

14.3.5 **Registros legais**

Manter alguns desses registros é uma exigência legal. Os registros legais são aqueles em que as regras, relativas aos padrões de conformidade (ABNT NBR ISO 5149), são consideradas obrigações legais, como documentos de avaliação de risco

(por exemplo, Análise de Risco de Última Hora - LMRA), instruções condensadas (breves) para sistemas AVAC-R, certificados de estanqueidade, documentos de proteção contra explosões e, finalmente, mas não menos importantes, as fichas de dados segurança (FDS).

14.3.6 **Registros de correspondência**

Esses registros são documentos criados dentro do escritório ou recebidos de fora dele (por exemplo, e-mails, cartas, memorandos, avisos, etc.)

14.3.7 **Registros de contabilidade**

Esses registros referem-se a transações financeiras, como vendas, receitas de caixa, comprovantes de depósito, balancetes, etc.

14.3.8 **Registros dos funcionários**

Documentos contendo informações dos funcionários ou qualquer registro relacionado a um funcionário (por exemplo, endereço e detalhes de contato, salário, histórico de trabalho e promoções, descrição do trabalho, registros recorrentes de instruções de segurança, permissões de trabalho, presenças e faltas, etc.)

14.3.9 **Registros de progresso**

Registros apresentando informações relacionadas ao progresso dos negócios (por exemplo, relatórios de desempenho, status do projeto, aquisições, custos, orçamento, etc.)

14.3.10 **Registros variados**

São registros não cobertos pelos outros tipos. Registros nessa categoria geralmente são relacionados a expansão, diversificação e muitas outras atividades de negócios (por exemplo, avaliações, pesquisas, etc.).

14.4 **Requisitos para comunicações e documentos técnicos de acordo com a ABNT NBR ISO 5149 Partes 1 a 4**

A norma ISO 5149 detalha os requisitos de segurança e ambientais para sistemas de refrigeração e bombas de calor, incluindo documentação técnica. A norma é dividida em quatro partes, abrangendo projeto, operação, teste e manutenção. Abaixo, uma visão geral dos requisitos da documentação técnica com base nas quatro partes da norma.

Os requisitos principais são:

- Incluir todas as informações relevantes para projeto, instalação, comissionamento e manutenção;
- Estruturar claramente a documentação, com referências e detalhes sobre a fonte;

- Cumprir a ABNT NBR ISO 5149 e as regulamentações e normas nacionais e internacionais aplicáveis;
- Destacar os perigos e as medidas de mitigação de riscos; e
- Documentar as medidas, para evitar emissões e garantir a gestão adequada de resíduos.

14.4.1 **Parte 1: Requisitos de segurança para o projeto**

Esta seção se concentra nas considerações de segurança durante a fase de projeto dos sistemas de refrigeração e bombas de calor.

Requisitos para a documentação do projeto do sistema de AVAC-R e aspectos de segurança genéricos:

- Descrição do sistema, incluindo diagramas esquemáticos;
- Especificações de componentes usados no sistema; e
- Evidência da conformidade com os parâmetros de segurança.

Avaliação de risco:

- Documentação de riscos em potencial (por exemplo, vazamentos e excessos de pressão);
- Medidas de mitigação para riscos identificados; e
- Responsabilidades.

Lista de materiais e componentes:

- Lista detalhada de materiais e componentes com especificações; e
- Certificados e declarações de conformidade.

14.4.2 **Parte 2: Requisitos de estanqueidade e força mecânica**

Esta seção cobre os requisitos mecânicos e termodinâmicos, bem com a estanqueidade do sistema.

Requisitos da documentação para testes de pressão:

- Registros dos testes de pressão e estanqueidade conduzidos;
- Métodos e resultados dos testes.

Verificação de força:

- Cálculos demonstrando a força mecânica das válvulas de pressão e da tubulação;
- Evidência de conformidade de acordo com as normas aplicáveis (por exemplo, Diretiva para equipamento de pressão).

Monitoramento de vazamentos:

- Documentação dos procedimentos de testes e monitoramento de vazamentos; e
- Especificações dos instrumentos de teste usados.

14.4.3 **Parte 3: Requisitos de instalação e operação**

Esta parte especifica os requisitos de instalação, comissionamento e operação segura de sistemas de AVAC-R.

Instruções de instalação:

- Diretrizes passo a passo para a instalação do sistema;
- Requisitos ambientais da instalação (por exemplo, ventilação e acessibilidade).

Manual de operações:

- Instruções detalhadas para operação do sistema, incluindo procedimentos de emergência;
- Diretrizes de segurança e manutenção.

Requisitos do treinamento:

- Documentação do treinamento fornecido para o pessoal de operações;
- Manuais de usuário e documentos de qualificação.

14.4.4 **Parte 4: Requisitos de supervisão, manutenção e inspeção de operações**

Esta parte se foca na operação segura e manutenção periódica dos sistemas.

Planos de manutenção:

- Atividades e intervalos de manutenção programados; e
- Registros e listas de verificação de inspeção.

Documentação do monitoramento operacional:

- Registros de parâmetros operacionais (por exemplo, pressões, temperaturas e vazamentos); e
- Ações corretivas para casos de desvio dos valores normais.

Relatórios de inspeção:

- Registros de todas as inspeções e seus resultados; e
- Evidência de conformidade com requisitos e normas legais.

Documentação ambiental:

- Protocolos para manuseio do fluido refrigerante; e
- Relatórios de atividades de reciclagem e descarte.

REFERÊNCIAS

Referências

AIR-CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE. AHRI Guideline K-2015: Containers for Recovered Non-flammable Fluorocarbon Refrigerants (Recipientes para Fluidos Refrigerantes Fluorocarbonetos Não Inflamáveis Recuperados). [S. l.: s. n.], 2015.

AIR-CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE. AHRI Guideline Q-2016: Content Recovery & Proper Recycling of Refrigerant Cylinders (Recuperação do Conteúdo e Reciclagem Adequada de Cilindros de Refrigerante). [S. l.: s. n.], 2016.

AIR-CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE. AHRI Guideline N-2017: Assignment of Refrigerant Container Colors (Atribuição de Cores para Recipientes de Fluidos Refrigerantes). [S. l.: s. n.], 2017.

AIR-CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE. AHRI Guideline M-2020: Unique Fittings and Service Ports for Flammable Refrigerant Use (Conexões e portas de serviço exclusivas para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis). [S. l.: s. n.], 2020.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. ANSI/ISEA Z89.1-2014 (R2019): American National Standard for Industrial Head Protection (Norma Nacional Americana para Proteção Industrial da Cabeça). [S. l.: s. n.], 2019.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. ANSI/ISEA 105-2016.1: American National Standard for Hand Protection Classification (Norma Nacional Americana para Classificação da Proteção das Mãos). [S. l.: s. n.], 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM B280-23: Standard Specification for Seamless Copper Tube for Air Conditioning and Refrigeration Field Service (Especificação padrão para tubo de cobre sem emendas para serviços de ar condicionado e refrigeração). [S. l.: s. n.], 2023.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE 34:2019: Designation and Safety Classification of Refrigerants (Designação e Classificação de Segurança dos Fluidos Refrigerantes). [S. l.: s. n.], 2019.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE 15:2019: Safety Standard for Refrigeration Systems (Norma de segurança para sistemas de refrigeração). [S. l.: s. n.], 2019.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE 17:2022: Method of Testing Capacity of Electronic and Thermostatic Refrigerant Expansion Valves (Método de Ensaio de Capacidade de Válvulas de Expansão de Fluido Refrigerante Eletrônicas e Termostáticas). [S. l.: s. n.], 2022.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME BPVC:2023: Boiler and Pressure Vessel Code (Código de Caldeiras e Vasos de Pressão). [S. l.: s. n.], 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410:2004: Instalações elétricas de baixa tensão. [S. l.: s. n.], 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 1000:2011: Unidades SI e recomendações para o uso dos seus múltiplos e de algumas outras unidades. [S. l.: s. n.], 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 8000-1:2011: Grandezas e unidades - Parte 1: Generalidades. [S. l.: s. n.], 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13698:2011: Equipamentos de proteção respiratória – Peça semifacial filtrante para partículas. [S. l.: s. n.], 2011.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 12100:2013: Segurança de máquinas – Princípios gerais de projeto – Avaliação e redução de riscos. [S. l.: s. n.], 2013.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419:2015: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. [S. l.: s. n.], 2015.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12543:2017: Equipamentos de proteção respiratória – Classificação. [S. l.: s. n.], 2017.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16069:2018: Segurança em sistemas frigoríficos. [S. l.: s. n.], 2018.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13598:2018: Vasos de pressão para refrigeração. [S. l.: s. n.], 2018.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16667:2018: Especificações para fluidos frigoríficos. [S. l.: s. n.], 2018.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16666:2018: Fluidos frigoríficos – Designação e classificação de segurança. [S. l.: s. n.], 2018.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 5149-1:2020: Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Segurança e requisitos ambientais – Parte 1: Definições, classificação e critérios de seleção. [S. l.: s. n.], 2020.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 5149-2:2022: Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Segurança e requisitos ambientais – Parte 2: Projeto, construção, ensaios, identificação e documentação. [S. l.: s. n.], 2022.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 5149-3:2020: Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Segurança e requisitos ambientais – Parte 3: Local de instalação. [S. l.: s. n.], 2020.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 5149-4:2020: Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Segurança e requisitos ambientais – Parte 4: Operação, manutenção, reparos e regeneração. [S. l.: s. n.], 2020.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15569:2021: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Requisitos de projeto e instalação. [S. l.: s. n.], 2021.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15976:2022: Redução das emissões de fluidos refrigerantes em equipamentos e instalações estacionárias de refrigeração e ar-condicionado – Requisitos gerais e procedimentos. [S. l.: s. n.], 2022.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 60079-10-1:2022: Atmosferas explosivas – Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas de gás explosivo. [S. l.: s. n.], 2022. (equivalente à norma IEC 60079-10-1)
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 17131:2023: Sistemas de climatização e refrigeração – Qualificação e certificação de pessoas. [S. l.: s. n.], 2023.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16401:2024: Instalações de condicionamento de ar – Sistemas centrais e unitários. [S. l.: s. n.], 2024.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16186:2024: Refrigeração comercial, detecção de vazamentos, contenção de fluido refrigerante, manutenção e reparos.
CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CSA). CSA B339:2018: Cylinders, spheres and tubes for the transportation of dangerous goods (Cilindros, esferas e tubos para o transporte de produtos perigosos). [S. l.: s. n.], 2018.

COMPRESSED GAS ASSOCIATION. CGA V-1:2023: Standard for compressed gas cylinder valve outlet and inlet connections (Norma para conexões de saída e entrada de válvulas de cilindros de gás comprimido.). [S. l.: s. n.], 2023.

COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPEIA. Diretiva 92/1/CEE da Comissão, de 13 de Janeiro de 1992, relativa ao controlo das temperaturas nos meios de transporte e nas instalações de depósito e armazenagem de alimentos ultracongelados destinados à alimentação humana. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31992L0001. Acesso em: 9 abr. 2025.

COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPEIA. Diretiva 93/43/CEF DO Conselho de 14 de Junho de 1993 relativa à higiene dos géneros alimentícios. Disponível em: <eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31993L0043>. Acesso em: 9 abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Regulamento (UE) nº 517/2014/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de abril de 2014 relativo aos gases fluorados com efeito de estufa. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517. Acesso em: 1º abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Regulamento de Execução (UE) 2015/2067/CE da Comissão de 17 de novembro de 2015 que estabelece os requisitos mínimos e as condições para o reconhecimento mútuo da certificação de pessoas singulares no que respeita aos equipamentos de refrigeração fixos, equipamentos de ar condicionado fixos, bombas de calor fixas e unidades de refrigeração de camiões e reboques refrigerados que contêm gases fluorados com efeito de estufa e para a certificação de empresas no que respeita aos equipamentos de refrigeração fixos, equipamentos de ar condicionado fixos e bombas de calor fixas que contêm gases fluorados com efeito de estufa. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R2067. Acesso em: 1º abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Diretiva 2014/68/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de maio de 2014 relativa à harmonização da legislação dos Estados-Membros respeitante à disponibilização de equipamentos sob pressão no mercado. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0068. Acesso em: 1º abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Diretiva 2006/40/EC do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de maio de 2006, relativa à restrição da utilização de certos fluorocarbonetos em sistemas de ar condicionado e de refrigeração de veículos a motor. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0040. Acesso em: 1º abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de maio de 2006, relativa à segurança das máquinas. Disponível em: https://www.oet.pt/downloads/legislacao/Directiva2006_42_CE.pdf. Acesso em: 1º abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Diretiva 2014/35/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de fevereiro de 2014 relativa à harmonização da legislação dos Estados-Membros respeitante à disponibilização no mercado de material elétrico destinado a ser utilizado dentro de certos limites de tensão. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0035. Acesso em: 1º abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Diretiva 2014/34/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de fevereiro de 2014 relativa à harmonização da legislação dos Estados-Membros relativa a aparelhos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas (reformulação). Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0034. Acesso em: 1º abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Directiva 1999/92/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 1999 relativa às prescrições mínimas destinadas a promover a melhoria da protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores susceptíveis de serem expostos a riscos derivados de atmosferas explosivas. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:01999L0092-20070627. Acesso em: 1º abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Regulamento (CE) nº 1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2008 relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R1272. Acesso em: 1º abr. 2025.

COMUNIDADE EUROPEIA. Regulamento (CE) nº 37/2005 da Comissão de 12 de Janeiro de 2005 relativo ao controlo das temperaturas nos meios de transporte e nas instalações de depósito e armazenagem de alimentos ultracongelados destinados à alimentação humana. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32005R0037. Acesso em: 9 abr. 2015.

COMUNIDADE EUROPEIA. Regulamento (CE) nº 1005/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Setembro de 2009 relativo às substâncias que empobrecem a camada de ozono. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1005. Acesso em: 9 abr. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO CONAMA nº 267, de 14 de setembro de 2000: Dispõe sobre a proibição da utilização de substâncias que destroem a Camada de Ozônio. Publicada no DOU no 237, de 11 de dezembro de 2000, Seção 1, páginas 27-29. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=265. Acesso em: 9 abr. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. Publicada no DOU nº 247, 26 de dezembro de 2011. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=640. Acesso em: 9 abr. 2015.

DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG E.V. DGUV Regel 112-190 (BGR 190): Benutzung von Atemschutzgeräten (Utilização de Equipamentos de Proteção Respiratória). [S. l.: s. n.], 2021.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 8941:1982: Symbols and units for refrigeration (Símbolos e unidades para refrigeração). [S. l.: s. n.], 1982.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 51503-1-12:2021: Lubricants – Refrigeration oils – Part 1: Minimum requirements (Lubrificantes – Óleos para refrigeração – Parte 1: Requisitos mínimos). [S. l.: s. n.], 2021.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 2405:2023-10: Pipelines in refrigerating systems and cooling equipment – Marking (Tubulações em sistemas de refrigeração e equipamentos de resfriamento – Marcação). [S. l.: s. n.], 2023.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN EN 50057:1993-07: Electrical apparatus for the detection and measurement of combustible gases; performance requirements for group II apparatus indicating up to 100 % lower explosive limit (Aparelhos elétricos para detecção e medição de gases combustíveis; requisitos de desempenho para aparelhos do grupo II, indicando até 100 % do limite inferior de explosividade). Versão alemã EN 50057:1991.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN EN 50054:1999-07: Electrical apparatus for the detection and measurement of combustible gases – General requirements and test methods (Aparelhos elétricos para detecção e medição de gases combustíveis – Requisitos gerais e métodos de ensaio). Versão alemã EN 50054:1998.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 4140:2023: Insulation work on industrial installations and building equipment – Execution of thermal and cold insulations (Trabalhos de isolamento em instalações industriais e equipamentos prediais – Execução de isolamentos térmicos e frigoríficos). [S. l.: s. n.], 2023.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN EN 13485:2024: Thermometers for measuring the ambient or internal temperature for the transport, storage and distribution of temperature sensitive goods – Tests, performance, suitability (Termômetros para medição da temperatura ambiente ou interna para o transporte, armazenamento e distribuição de produtos sensíveis à temperatura – Ensaios, desempenho, adequação). [S. l.: s. n.], 2024.

EUROPEAN STANDARD. EN 378-1:2016+A1:2020: Refrigerating systems and heat pumps, safety and environmental requirements – Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria (Sistemas de refrigeração e bombas de calor, requisitos ambientais e de segurança – Parte 1: Requisitos básicos, definições, classificação e critérios de seleção). [S. l.: s. n.], 2020.

EUROPEAN STANDARD. EN 378-2:2016: Refrigerating systems and heat pumps, safety and environmental requirements – Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation (Sistemas de refrigeração e bombas de calor, segurança e requisitos ambientais – Parte 2: Projeto, construção, testes, marcação e documentação). [S. l.: s. n.], 2016.

EUROPEAN STANDARD. EN 378-3:2016+A1:2020: Refrigerating systems and heat pumps, safety and environmental requirements – Part 3: Installation site and personal protection (Sistemas de refrigeração e bombas de calor, requisitos ambientais e de segurança – Parte 3: Proteção do pessoal e do local de instalação). [S. l.: s. n.], 2020.

EUROPEAN STANDARD. EN 378-4:2016+A1:2019: Refrigerating systems and heat pumps, safety and environmental requirements – Part 4: Operation, maintenance, repair and recovery (Sistemas de refrigeração e bombas de calor, requisitos ambientais e de segurança – Parte 4: Operação, manutenção, reparos e regeneração). [S. l.: s. n.], 2019.

EUROPEAN STANDARD. EN 1861:1998: Refrigerating systems and heat pumps – System flow diagrams and piping and instrument diagrams – Layout and symbols (Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Diagramas de fluxo do sistema e diagramas de tubulação e instrumentação –layout e símbolos). [S. l.: s. n.], 1998.

EUROPEAN STANDARD. EN 61010-1:2010/A1:2019/AC:2019-04: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements (Requisitos de segurança para equipamentos elétricos de medição, controle e uso em laboratório – Parte 1: Requisitos gerais). [S. l.: s. n.], 2019.

EUROPEAN STANDARD. EN IEC 61010-2-030:2021: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 2-030: Particular requirements for equipment having testing or measuring circuits (Requisitos de segurança para equipamentos elétricos para medição, controle e uso em laboratório – Parte 2-030: Requisitos particulares para equipamentos com circuitos de teste ou medição). [S. l.: s. n.], 2021.

EUROPEAN STANDARD. EN IEC 61010-031:2023: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 031: Safety requirements for hand-held and hand-manipulated probe assemblies for electrical test and measurement (Requisitos de segurança para equipamentos elétricos para medição, controle e uso em laboratório – Parte 031: Requisitos de segurança para conjuntos de sondas manuais e manipuladas à mão para teste e medição elétrica). [S. l.: s. n.], 2023.

EUROPEAN STANDARD. EN 61243-3:2014: Live working – Voltage detectors – Part

3: Two-pole low-voltage type (Trabalho ao vivo – Detectores de tensão – Parte 3: Tipo de baixa tensão de dois polos). [S. l.: s. n.], 2014.

EUROPEAN STANDARD. EN 133:2002: Respiratory protective devices – Classification (Equipamentos de proteção respiratória – Classificação). [S. l.: s. n.], 2002.

EUROPEAN STANDARD. EN 134:2024: Respiratory protective devices – Nomenclature of components (Equipamentos de proteção respiratória – Nomenclatura dos componentes). [S. l.: s. n.], 2024.

EUROPEAN STANDARD. EN 529:2005: Respiratory protective devices – Recommendations for selection, use, care and maintenance – Guidance document (Equipamentos de proteção respiratória – Recomendações para a seleção, uso, cuidado e manutenção – Documento de orientação). [S. l.: s. n.], 2005.

EUROPEAN STANDARD. EN 3-5:1996: Portable fire extinguishers – Part 5: Specification and supplementary tests (Extintores de incêndio portáteis – Parte 5: Especificações e ensaios suplementares). [S. l.: s. n.], 1996.

EUROPEAN STANDARD. EN 13306:2017: Maintenance – Maintenance terminology (Manutenção – Terminologia de manutenção). [S. l.: s. n.], 2017.

EUROPEAN STANDARD. EN 13322-1:2024: Transportable gas cylinders – Refillable welded steel gas cylinders – Design and construction – Part 1: Carbon steel (Cilindros de gás transportáveis – Cilindro de gás de aço soldado recarregável – Projeto e fabricação – Parte 1: Aço carbono). [S. l.: s. n.], 2024.

EUROPEAN STANDARD. EN IEC 61326-1:2021: Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements – Part 1: General requirements (Equipamentos elétricos para medição, controle e uso em laboratório – Requisitos de EMC – Parte 1: Requisitos gerais). [S. l.: s. n.], 2021.

EUROPEAN STANDARD. EN 50581:2012: Technical documentation for the assessment of electrical and electronic products with respect to the restriction of hazardous substances (Documentação técnica para a avaliação de produtos elétricos e eletrônicos com relação à restrição de substâncias perigosas). [S. l.: s. n.], 2012.

EUROPEAN STANDARD. EN 1089-3:2011: Transportable gas cylinders – Gas cylinder identification (excluding LPG) – Part 3: Colour coding (Cilindros de gás transportáveis – Identificação de cilindros de gás (exceto GLP) – Parte 3: Codificação por cores). [S. l.: s. n.], 2011.

EUROPEAN STANDARD. EN 1127-1:2019: Explosive atmospheres – Explosion prevention and protection – Part 1: Basic concepts and methodology (Atmosferas explosivas – Prevenção de explosão e proteção contra explosão – Parte 1: Conceitos básicos e metodologia). [S. l.: s. n.], 2019.

EUROPEAN STANDARD. EN 12830:2018: Temperature recorders for the transport, storage and distribution of temperature-sensitive goods – Tests, performance, suitability (Registradores de temperatura para o transporte, armazenamento e distribuição de produtos sensíveis à temperatura – Ensaios, desempenho, adequação). [S. l.: s. n.], 2018.

EUROPEAN STANDARD. EN 13486:2023: Temperature recorders and thermometers for measuring the transport, storage and distribution of temperature-sensitive goods – Periodic verification (Registradores de temperatura e termômetros para medição da temperatura ambiente ou interna no transporte, armazenamento e distribuição de produtos sensíveis à temperatura – Verificação periódica). [S. l.: s. n.], 2023.

EUROPEAN STANDARD. EN 50110-1:2023: Operation of electrical installations – Part 1: General requirements (Operação das instalações elétricas – Parte 1: Requisitos gerais). [S. l.: s. n.], 2023.

EUROPEAN STANDARD. EN 12735-1:2020: Copper and copper alloys – Seamless, round tubes for air conditioning and refrigeration – Part 1: Tubes for piping sys-

tems (Cobre e ligas de cobre – Tubos redondos sem emenda para ar condicionado e refrigeração – Parte 1: Tubos para sistemas de tubulação). [S. l.: s. n.], 2020.

EUROPEAN STANDARD. EN 12735-2:2024: Copper and copper alloys – Seamless, round tubes for air conditioning and refrigeration – Part 2: Tubes for equipment (Cobre e ligas de cobre – Tubos redondos sem emenda para ar condicionado e refrigeração – Parte 2: Tubos para equipamentos). [S. l.: s. n.], 2024.

EUROPEAN STANDARD. EN 50104:2020/A1:2023: Electrical equipment for the detection and measurement of oxygen – Performance requirements and test methods (Equipamentos elétricos para detecção e medição de oxigênio – Requisitos de desempenho e métodos de ensaio). [S. l.: s. n.], 2023.

EUROPEAN STANDARD. EN 50270:2015: Electromagnetic compatibility – Electrical apparatus for the detection and measurement of combustible gases, toxic gases or oxygen (Compatibilidade eletromagnética – Aparelhos elétricos para detecção e medição de gases combustíveis, gases tóxicos ou oxigênio). [S. l.: s. n.], 2015.

EUROPEAN STANDARD. EN 50561-1:2013: Power line communication apparatus used in low-voltage installations - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement - Part 1: Apparatus for in-home use (Equipamentos de comunicação em linhas de energia utilizados em infraestruturas de baixa tensão — Características de perturbações rádio — Limites e métodos de medição — Parte 1: Equipamentos para uso doméstico). [S. l.: s. n.], 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Portaria nº 58, DE 16 DE FEVEREIRO DE 2022: Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Inspeção Técnica e Manutenção de Extintores de Incêndio – Consolidado. Disponível em: http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/PORTARIA-58-DE-16-02-2022.pdf. Acesso em: 1º abr. 2025.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60364-1:2005: Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions (Instalações elétricas de baixa tensão – Parte 1: Princípios fundamentais, avaliação das características gerais, definições). [S. l.: s. n.], 2005.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60529:1989+AMD1:1999+AMD2:2013 CSV: Degrees of protection provided by enclosures (Graus de proteção providos por invólucros). [S. l.: s. n.], 2013.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61140:2016: Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment (Proteção contra choque elétrico – Aspectos comuns para instalação e equipamentos). [S. l.: s. n.], 2016.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 63000:2018: Technical documentation for the assessment of electrical and electronic products with respect to the restriction of hazardous substances (Documentação técnica para avaliação de produtos elétricos e eletrônicos com relação à restrição de substâncias perigosas). [S. l.: s. n.], 2016.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60900:2018: Live working – Hand tools for use up to 1 000 V AC and 1 500 V DC (Trabalho sob tensão – Ferramentas manuais para uso em até 1 000 V em corrente alternada e 1 500 V em corrente contínua). [S. l.: s. n.], 2018.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60204-1:2018: Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements (Segurança de máquinas – Equipamentos elétricos de máquinas – Parte 1: Requisitos gerais). [S. l.: s. n.], 2018.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60364-8-1:2019: Low-voltage electrical installations – Part 8-1: Functional aspects – Energy efficiency

(Instalações elétricas de baixa tensão – Parte 8-1: Aspectos funcionais – Eficiência energética). [S. l.: s. n.], 2019.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61557-8:2014: Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems (Segurança elétrica em sistemas de distribuição de baixa tensão até 1 000 V CA e 1 500 V CC – Equipamentos para teste, medição ou monitoramento de medidas de proteção – Parte 8: Dispositivos de monitoramento de isolamento para sistemas IT). [S. l.: s. n.], 2014.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61558-2-6:2021: Safety of transformers, reactors, power supply units and combinations thereof – Part 2-6: Particular requirements and tests for safety isolating transformers and power supply units incorporating safety isolating transformers for general applications (Segurança de transformadores, reatores, unidades de alimentação e suas combinações – Parte 2-6: Requisitos particulares e ensaios para transformadores de isolamento de segurança e unidades de alimentação que incorporam transformadores de isolamento de segurança para aplicações gerais). [S. l.: s. n.], 2021.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-29-1:2016+AMD1:2020 CSV: Explosive atmospheres – Part 29-1: Gas detectors – Performance requirements of detectors for flammable gases (Atmosferas explosivas – Parte 29-1: Detectores de gás – Requisitos de desempenho de detectores para gases inflamáveis). [S. l.: s. n.], 2020.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60617:2025: Graphical symbols for diagrams (Símbolos gráficos para diagramas). [S. l.: s. n.], 2025.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60364-4-41:2005+AMD1:2017 CSV: Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock (Instalações elétricas de baixa tensão – Parte 4-41: Proteção para segurança – Proteção contra choque elétrico). [S. l.: s. n.], 2017.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60204-1:2016+AMD1:2021 CSV: Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements (Segurança de máquinas –Equipamentos elétricos de máquinas – Parte 1: Requisitos gerais). [S. l.: s. n.], 2021.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-19:2010/AMD1:2015: Explosive atmospheres – Part 19: Equipment repair, overhaul and reclamation (Atmosferas explosivas – Parte 19: Reparo, revisão e recuperação de equipamentos). [S. l.: s. n.], 2015.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60364-6:2016: Low voltage electrical installations – Part 6: Verification (Instalações elétricas de baixa tensão – Parte 6: Verificação). [S. l.: s. n.], 2016.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-1:2014: Explosive atmospheres – Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures "d" (Atmosferas explosivas – Parte 1: Proteção de equipamento por invólucro à prova de explosão "d"). [S. l.: s. n.], 2014.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-11:2023: Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i" (Atmosferas explosivas – Parte 11: Proteção de equipamento por segurança intrínseca "i"). [S. l.: s. n.], 2023.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60335-2-24:2020: Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-24: Particular.requirements for refrigerating appliances, ice-cream appliances and ice makers (Aparelhos eletrodomésticos e similares –Segurança – Parte 2-24: Requisitos particulares para aparelhos de refrigeração, e para máquinas de fazer sorvete e gelo). [S. l.:

s. n.], 2020.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60335-2-40:2024: Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-40: Particular requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers (Aparelhos eletrodomésticos e similares – Segurança – Parte 2-40: Requisitos particulares para bombas elétricas de calor, aparelhos de ar condicionado e desumidificadores). [S. l.: s. n.], 2024.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60335-2-89:2019: Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with an incorporated or remote refrigerant unit or motor-compressor (Aparelhos eletrodomésticos e semelhantes – Segurança – Parte 2-89: Requisitos particulares para aparelhos de refrigeração comerciais e máquinas de fazer gelo com unidade de refrigeração ou motor-compressor incorporado ou remoto). [S. l.: s. n.], 2019.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. EN IEC 60079-0:2018/A11:2024: Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements (Atmosferas explosivas – Parte 0: Equipamentos – Requisitos gerais). [S. l.: s. n.], 2024.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-10-1:2020: Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres (Atmosferas explosivas – Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas de gás explosivo). [S. l.: s. n.], 2020.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-14:2024: Explosive atmospheres – Part 14: Electrical installation design, selection and installation of equipment, including initial inspection (Atmosferas explosivas – Parte 14: Projeto de instalação elétrica, seleção e instalação de equipamentos, incluindo inspeção inicial). [S. l.: s. n.], 2024.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-15:2017: Explosive atmospheres – Part 15: Equipment protection by type of protection "n" (Atmosferas explosivas – Parte 15: Proteção de equipamentos pelo tipo de proteção "n"). [S. l.: s. n.], 2017.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-17:2023: Explosive atmospheres – Part 17: Electrical installations inspection and maintenance (Atmosferas explosivas – Parte 17: Inspeção e manutenção de instalações elétricas). [S. l.: s. n.], 2023.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF ALL-NATURAL REFRIGERATION. ANSI/IIAR 2-2021: Design of safe closed-circuit ammonia refrigeration systems (projeto de sistemas seguros de refrigeração de amônia em circuito fechado). [S. l.: s. n.], 2021.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION. IIR:2015: The Role of Refrigeration in the Global Economy (2015), 29th Note on Refrigeration Technologies (O Papel da Refrigeração na Economia Global (2015), 29ª Nota sobre Tecnologias de Refrigeração. Disponível em: https://iifiir.org/en/fridoc/the-role-of-refrigeration--in-the-global-economy-2015-138763. Acesso em: 8 abr. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 5175-1:2017: Gas welding equipment – Safety devices – Part 1: Devices incorporating a flame (flashback) arrestor (Equipamentos de soldagem a gás – Dispositivos de segurança – Parte 1: Dispositivos que incorporam válvula corta-chama (corte instantâneo). [S. l.: s. n.], 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15996:2017: Gas cylinders – Residual pressure valves – Specification and type testing of cylinder valves incorporating residual pressure devices (Cilindros de gás – Válvulas de pressão residual – Especificação e teste de tipo de válvulas de cilindro incorporando dispositivos de pressão residual). [S. l.: s. n.], 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 45001:2018: Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use (Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional – Requisitos com orientações de uso). [S. l.: s. n.], 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7000:2019: Graphical symbols for use on equipment – Registered symbols (Símbolos gráficos para uso em equipamentos – Símbolos registrados). [S. l.: s. n.], 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7010:2019/AMD 7:2023: Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Registered safety signs (Símbolos gráficos – Cores de segurança e sinais de segurança – Sinais de segurança registrados). [S. l.: s. n.], 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 18496:2020: Brazing - Fluxes for brazing - Classification and technical delivery conditions (Brasagem - Fluxos para brasagem - Classificação e condições técnicas de fornecimento). [S. l.: s. n.], 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 21922:2021: Refrigerating systems and heat pumps - Valves - Requirements, testing and marking (Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Válvulas - Requisitos, ensaios e marcação). [S. l.: s. n.], 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10297:2024: Gas cylinders –Cylinder valves – Specification and type testing (Cilindros de gás – Válvulas de cilindro –Especificação e teste de tipo). [S. l.: s. n.], 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 24664:2024: Refrigerating systems and heat pumps - Pressure relief devices and their associated piping - Methods for calculation (Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Dispositivos de alívio de pressão e suas tubulações associadas - Métodos de cálculo). [S. l.: s. n.], 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14903:2025: Refrigerating systems and heat pumps – Qualification of tightness of components and joints (Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Qualificação da estanqueidade de componentes e juntas). [S. l.: s. n.], 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13043:2011: Road vehicles – Refrigerant systems used in mobile air conditioning systems (MAC) – Safety requirements (Veículos rodoviários – Sistemas de refrigeração utilizados em sistemas de ar-condicionado automotivo (MAC) – Requisitos de segurança). [S. l.: s. n.], 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13585:2021: Brazing –Qualification testing of brazers and brazing operators (Brasagem – Ensaios de qualificação de brasadores e operadores de brasagem). [S. l.: s. n.], 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13971:2012: Refrigeration systems and heat pumps – Flexible pipe elements, vibration isolators, expansion joints and non-metallic tubes – Requirements and classification (Sistemas de refrigeração e bombas de calor — Elementos de tubulação flexíveis, isoladores de vibração, juntas de dilatação e tubos não metálicos – Requisitos e classificação). [S. l.: s. n.], 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 22712:2023: Refrigerating systems and heat pumps – Competence of personnel (Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Competência de pessoas). [S. l.: s. n.], 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 817:2024: Refrigerants –Designation and safety classification (Fluidos refrigerantes – Designação e classificação de segurança). [S. l.: s. n.], 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17672:2024: Brazing – Filler metals (Brasagem – Metais de preenchimento) [S. l.: s. n.], 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 5194-1:2014: Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements – Part 1: Definitions, classification and selection criteria (Sistemas de refrigeração e bombas de calor – Requisitos ambientais e de segurança – Parte 1: Definições, classificação e critérios de seleção). [S. l.: s. n.], 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10628-1:2014: Diagrams for the chemical and petrochemical industry – Part 1: Specification of diagrams (Diagramas para a indústria química e petroquímica – Parte 1: Especificação dos diagramas). [S. l.: s. n.], 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10628-2:2012: Diagrams for the chemical and petrochemical industry – Part 2: Graphical symbols (Diagramas para a indústria química e petroquímica – Parte 2: Símbolos gráficos). [S. l.: s. n.], 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4413:2010: Hydraulic fluid power – General rules and safety requirements for systems and their components (Sistemas hidráulicos – Requisitos gerais e diretrizes para seu projeto e utilização). [S. l.: s. n.], 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13577-2:2023: Industrial furnaces and associated processing equipment – Safety – Part 2: Combustion and fuel handling systems (Fornos industriais e equipamentos de processamento associados – Segurança – Parte 2: Sistemas de combustão e manuseio de combustível). [S. l.: s. n.], 2023.

LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN. LUA NRW (2006): Handbuch für die Ausbildung im Bereich "Elektrische Anlagen" in den Berufen Fachkraft für Abwassertechnik und Fachkraft für Wasserversorgungstechnik (Manual para treinamento no campo de "sistemas elétricos" nas profissões de especialista em tecnologia de águas residuais e especialista em tecnologia de abastecimento de água). Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, 2006.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 6 – Equipamentos de Proteção Individual – EPI. Normas regulamentadoras da legislação de segurança de saúde no trabalho do Ministério do Trabalho. Redação dada pela Portaria MTP nº 2.175, de 28 de julho de 2022. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadoras/normas-regulamentadoras-vigentes/NR06atualizada2023.pdf. Acesso em: 1º abr. 2025.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Normas regulamentadoras da legislação de segurança de saúde no trabalho do Ministério do Trabalho. Texto dado pela Portaria MTE n.º 598, de 07 de dezembro de 2004. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf. Acesso em: 1º abr. 2025.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Normas regulamentadoras da legislação de segurança de saúde no trabalho do Ministério do Trabalho. Redação dada pela Portaria SEPRT n.º 916, de 30/07/19. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf. Acesso em: 1º abr. 2025.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 13 – Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento. Normas regulamentadoras da legislação de segurança de saúde no trabalho do Ministério do Trabalho. Redação dada pela

Portaria MTb n° 1.846, de 01 de julho de 2022. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-13-atualizada-2022-retificada.pdf. Acesso em: 1° abr. 2025.

PROKLIMA INTERNATIONAL. GIZ-PROKLIMA: 2016: Promoting Food Security and Safety via Cold Chains (Promovendo a Segurança Alimentar e a Qualidade dos Alimentos por meio das Cadeias de Frio). Disponível em: https://www.green-cooling-initiative.org/news-media/publications/publication-detail/2016/12/01/promoting-food-security-and-safety-via-cold-chains. Acesso em: 8 abr. 2025.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. SAE J1627:2011: Performance Criteria for Electronic Refrigerant Leak Detectors (Critérios de Desempenho para Detectores Eletrônicos de Vazamento de Refrigerante). [S. l.: s. n.], 2011.

UNDERWRITERS LABORATORIES. UL 913:2022: Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for Use in Class I, II, and III, Division 1, Hazardous (Classified) Locations (Equipamentos Intrinsecamente Seguros e Equipamentos Associados para Uso em Locais Perigosos (Classificados) das Classes I, II e III, Divisão 1). [S. l.: s. n.], 2022.

UNDERWRITERS LABORATORIES. UL 484:2022: Room Air Conditioners (Condicionadores de ar para salas). [S. l.: s. n.], 2022.

UNDERWRITERS LABORATORIES. UL 471:2024: Commercial Refrigerators and Freezers (Refrigeradores e Freezers Comerciais). [S. l.: s. n.], 2024.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2010/35/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de junho de 2010, relativa aos equipamentos sob pressão transportáveis. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0035. Acesso em: 1° abr. 2025.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. VDI 2078:2015: Calculation of thermal loads and room temperatures – Design cooling load and annual simulation (Cálculo de cargas térmicas e temperaturas dos ambientes – carga térmica de resfriamento de projeto e simulação anual). [S. l.: s. n.], 2015.

ANEXOS

Anexos

Anexo 1: **Avaliação de risco de última hora**

Figura 508 – Modelo de avaliação de risco de última hora

VERIFICAÇÃO OBRIGATÓRIA!!! (antes de todas as rotinas) exigida por lei
AVALIAÇÃO DE RISCO DE ÚLTIMA HORA PARA TRABALHO DE SERVIÇO E INSTALAÇÃO

Nome do/da técnico/a:	Tipo de trabalho:	Instalação / Serviço
Centro de serviço:	N° ordem do trabalho:	
Nome do cliente:		
Data:	E-mail:	
Observação: Use o verso, se necessário.	Relativo a:	

1. Resultados da avaliação de risco:

O local de trabalho está OK

Desobstruído	Sim ☐	Não ☐	Elevação/deslocamento de cargas pesadas	Sim ☐	Não ☐
Piso	Sim ☐	Não ☐	Peças móveis: • Dispositivos de içamento • Guindaste		
Iluminação	Sim ☐	Não ☐	Transporte: • Empilhadeira • Tráfego		
Ventilação	Sim ☐	Não ☐	Ferramentas / outros equipamentos de trabalho	Sim ☐	Não ☐
Rotas de escape desobstruídas	Sim ☐	Não ☐	Trabalho com risco de queda	Sim ☐	Não ☐
Espaços confinados, containers, dutos no piso, tetos intermediários	Sim ☐	Não ☐	Subida em telhado, plataformas de trabalho etc.	Sim ☐	Não ☐
Condições de trabalho:	Sim ☐	Não ☐	• Escada • Plataforma • Andaime		
• Poeira • Calor • Frio			• Rotas de transporte • Iluminação • Unidade/piso escorregadio		
Ruídos	Sim ☐	Não ☐	Conhecido um acesso ao local de trabalho?	Sim ☐	Não ☐
Área Ex	Sim ☐	Não ☐	Barreiras necessárias no local de trabalho	Sim ☐	Não ☐
Perigo de incêndio/faíscas	Sim ☐	Não ☐	Trabalho em instalações elétricas	Sim ☐	Não ☐
Substâncias perigosas	Sim ☐	Não ☐	Trabalho em sistema de detecção de gás	Sim ☐	Não ☐
R717 - R744 - R290 - R600a - outros	Sim ☐	Não ☐	Trabalho em sistema de ventilação seguro	Sim ☐	Não ☐
Água quente/água/água residuais	Sim ☐	Não ☐	Trabalho em sistema de detecção de incêndio	Sim ☐	Não ☐
Bordas afiadas	Sim ☐	Não ☐	Outros:	Sim ☐	Não ☐

2. Existe risco imediato para você ou outras pessoas?/ Medidas necessárias por supervisores regionais? Sim ☐ Não ☐

Caso afirmativo, envolva-os durante a análise de risco e peça para que todos assinem a análise.

Anote aqui suas observações:

3. Medidas de acordo com a análise de risco (os riscos têm que ser eliminados com) - seleção dos EPIs obrigatórios:

Roupas de proteção para brasagem / soldagem	☐	*Eletricidade*	*Roupas de proteção para > especificar* ☐
Ferramentas elétricas isoladas	☐	*RCD*	*Material de isolamento elétrico* ☐
Luvas de segurança > descrever função de proteção	☐		*Detector pessoal de gás* ☐
Óculos de segurança	☐		*Soprador de ar portátil* ☐
Óculos de proteção em formato de cesta	☐		*Conjunto de aterramento ESD* ☐
Botas de segurança	☐		*Máscara de gás (tipo de filtro)* ☐
Capacete de segurança	☐		*Máscara contra poeira (especificar)* ☐
Boné com casqueta	☐		*Extintor de incêndio* ☐
Proteção auricular	☐		*Sistema de proteção contra quedas* ☐

3.1 Comentários adicionais para a realização do trabalho (se necessário, use o verso deste documento):

4. Medidas adicionais

4.1 As áreas afetadas precisam ser informadas?	Não ☐	Caso afirmativo, quais?
4.2 São necessários certificados de autorização? (ex.: certificado para brasagem, soldagem etc.)	Não ☐	Caso afirmativo, quais?
4.3 Outros requisitos precisam ser respeitados? (pergunte ao cliente)	Não ☐	Caso afirmativo, quais?
4.4 O conjunto secundário da válvula de segurança de CO_2 (serviço) foi verificado e está na posição / função correta?	Sim ☐	Não ☐
4.5 O sistema de ventilação de segurança está funcionando (ou a troca de ar natural é suficiente)?	Sim ☐	Não ☐
4.6 O sistema fixo de aviso de gás está funcionando e em bom estado?	Sim ☐	Não ☐
4.7 Tem nitrogênio (OFDN) disponível para deixar o sistema inerte?	Sim ☐	Não ☐

5. Avaliação de risco de última hora feita por:

Data:

Profissional de serviço
Nome / Função / Assinatura

Cliente:
Assinatura e nome legível

Fonte: Rolf Huehren.

Figura 509 – Permissão de trabalho geral

DETALHES DA PERMISSÃO				
N° Permissão:	**Data de emissão:**	**Data e horário de início:**	**Data e horário de fim:**	

LOCAL/ÁREA DE TRABALHO

DETALHES DA EQUIPE			
NOME:	ID DA EQUIPE:	GÉNERO:	QUALIFICAÇÕES:

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE DE TRABALHO

AVALIAÇÃO DE RISCO		
Foi feita uma avaliação de risco para a atividade?	SIM	NÃO

DECLARAÇÃO - DECLARO QUE:		
1. Fiz uma inspeção completa da área de trabalho e identifiquei os potenciais perigos.	SIM	NÃO
2. Tomei todas as precauções necessárias para reduzir os riscos associados à atividade.	SIM	NÃO
3. Verifiquei que todas as pessoas envolvidas na atividade receberam o devido treinamento e têm as qualificações necessárias.	SIM	NÃO
4. Confirmei que todas as permissões, licenças e autorizações foram obtidas.	SIM	NÃO
5. Verifiquei que a área de trabalho está livre de potenciais perigos ou riscos associados à atividade.	SIM	NÃO
6. Providenciei o correto isolamento dos equipamentos elétricos em relação a fonte de energia e identifiquei/ bloqueei o local.	SIM	NÃO

7. Forneci à equipe os equipamentos de proteção individual (EPIs) para a atividade. Lista de verificação de EPIs:		
a. Óculos de segurança;		
b. Luvas – com isolamento – resistentes a substâncias químicas;		
c. Proteção respiratória		
d. Roupas de trabalho apropriadas;		
e. Ferramentas resistentes a choque elétrico, como alicates, chaves de fenda, indicadores de tensão;		
f. Calçados de segurança;		
g. Capacete rígido;		
h. Outros > especificar.		
8. Elaborei um plano de comunicação para emergências.	SIM	NÃO
9. Fiz uma inspeção final antes de autorizar a atividade.	SIM	NÃO
10. Informei à equipe todas as precauções de segurança necessárias.	SIM	NÃO
11. Confirmei que todos os equipamentos de teste apropriados estão disponíveis e em boas condições de funcionamento.	SIM	NÃO
12. Verifiquei que a equipe está ciente dos procedimentos adequados para manusear as ferramentas e os equipamentos relacionados à atividade.	SIM	NÃO
13. Confirmei que a equipe recebeu treinamento para a operação segura de máquinas e equipamentos relevantes à atividade.	SIM	NÃO
14. Implementei um sistema de permissão para trabalhar, se necessário.	SIM	NÃO
15. Verifiquei que a equipe recebeu o devido treinamento sobre medidas e práticas gerais de segurança.	SIM	NÃO
16. Elaborei e comuniquei um plano de resposta em caso de emergência.	SIM	NÃO

Declaração – Declaro por meio deste documento que todas as precauções e medidas de segurança foram tomadas, e que eu entendo e aceito a responsabilidade pela execução segura da atividade descrita acima.

Nome, assinatura e data:

Aprovador

Fonte: Rolf Huehren.

Figura 510 – Formulários de avaliação geral de risco

AVALIAÇÃO DE RISCO

Nº AR: ..... **Versão: .....** **Pág. 1 de 3**

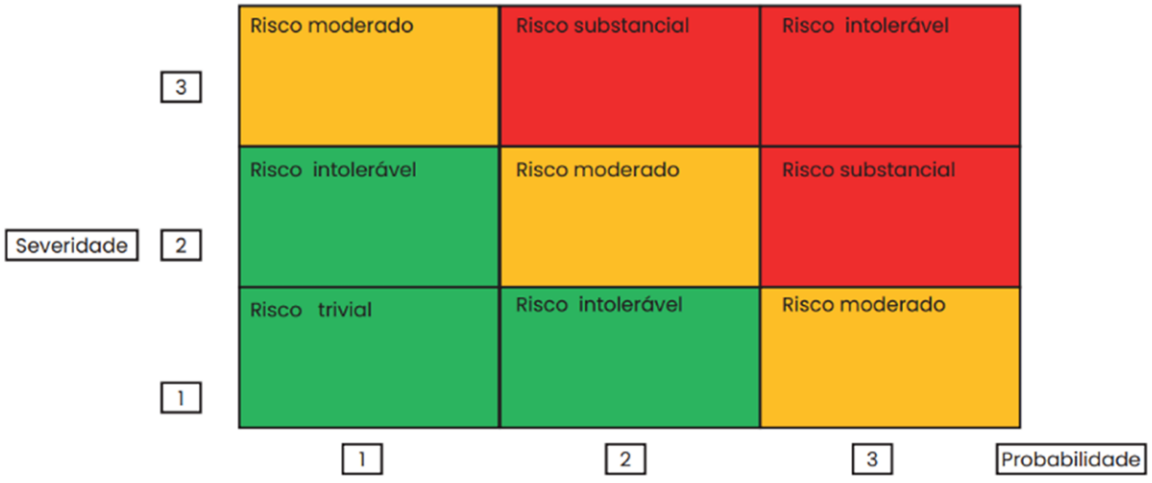
Projeto: ..... **Nome: .....** **Processo/atividade: .....**

Nº	Descrição do perigo	Quem poderia se machucar?	Controles atuais	Classificação de risco com controles atuais			Mais trabalho necessário para ter o nível aceitável de risco/ outras avaliações aplicáveis	Classificação de risco com controles adicionais			Ação por	Data de conclusão, se aplicável
				L	S	RR		L	S	RR		

CLASSIFICAÇÃO DE PROBABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DE SEVERIDADE		CLASSIFICAÇÃO DE RISCO (probabilidade x severidade)	
= Improvável	Baixa (1)	= Lesão para primeiros socorros	1 = Risco trivial	6 = Risco substancial
= Possivelmente	Média (2)	= Lesão grave ou mais de três dias de afastamento do trabalho	2 = Risco tolerável	9 = Risco intolerável
= Provável	Alta (3)	= Incapacidade permanente ou morte	3 ou 4 = Risco moderado	

Detalhe da atividade do processo/trabalho:

Versão:	Observações	Nome	Assinatura	Cargo/ empresa	Data	Data para revisão



CLASSIFICAÇÃO DE PROBABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DE SEVERIDADE		CLASSIFICAÇÃO DE RISCO (probabilidade x serveridade)	
= Improvável	Baixa (1)	= Lesão para primeiros socorros	1 = Risco trivial	6 = Risco substancial
= Possivelmente	Média (2)	= Lesão grave ou mais de três dias de afastamento do trabalho	2 = Risco tolerável	9 = Risco intoleravel
= Provável	Alta (3)	= Incapacidade permanente ou morte	3 ou 4 = Risco moderado	

Fonte: Rolf Huehren.

Figura 511 – Permissão para trabalhar – trabalho a quente

DESCRIÇÃO DO TRABALHO

LOCAL DO TRABALHO			
PRÉDIO	**PISO**	**SALA**	**LOCAL**

Data solicitada (duração máx. 1 dia):		**Válido a partir de (hora):**		**Até:**	

DETALHES DE CONTATO (MÉTODOS DE CONTATO)					
Celular:		**Tel. Local:**		**Nº escritório:**	
Representante do projeto no local:		**Help Desk local:**		**Segurança:**	

Potenciais perigos:	[ ] Enriquecimento de oxigênio [ ] Diminuição de oxigênio [ ] Gás tóxico [ ] Gás explosivo [ ] Perigo biológico [ ] Calor [ ] Ruído [ ] Pouca iluminação [ ] Objetos que podem provocar tropeços / quedas / golpes [ ] Outros – forneça detalhes		
Medidas de controle:			
Outros perigos identificados:		**Medidas de controle:**	

Fonte: Rolf Huehren.

Continuação – Figura 511 – Permissão para trabalhar – trabalho a quente

REQUISITOS DE SEGURANÇA OBRIGATÓRIOS *(consulte mais orientações no verso)*	
Verificação de todas as áreas e remoção ou proteção dos combustíveis antes do início do trabalho	
Verificação, proteção e limitação de todas as áreas, conforme necessário; exibição da sinalização de aviso	
Isolamento de todos os sistemas associados ao trabalho, inclusive alarmes de fumaça	
Assistente de prontidão (competente) com extintor de incêndio adequado para a tarefa	
Notificação do gerente de instalações do prédio	
Verificação/inspeção da área para combustão **1 hora** após a conclusão do trabalho	

PESSOA QUE VAI ENTRAR NA ÁREA DE TRABALHO	

Permissão:		**Data**		**Hora**	
Permissão recebida por:		**Data**			

CANCELAMENTO DA PERMISSÃO					
Nome:		**Data:**		**Hora:**	

O que significa "trabalho a quente"?

Todas as operações temporárias envolvendo chamas abertas ou que produzam calor e/ou faíscas, incluindo, dentre outras, brasagem, corte, retífica, soldagem e descongelamento.

Validade

As permissões para trabalho a quente são válidas apenas por no máximo um dia de trabalho.

Lista de verificação de trabalho a quente

O formulário de permissão guia você pelos requisitos; ele representa mais uma forma de orientação.

Fluxos de mangueiras e sprinklers funcionando (onde aplicável).

Equipamentos de trabalho a quente em boas condições (ex.: fonte de alimentação, cabos e tochas devem ser inspecionados antes do uso para garantir que estejam em boas condições).

Extintores de incêndio (dois) de várias finalidades prontos para uso.

O/a operador/a deve estar treinado/a para uso do extintor de incêndio.

Contate o/a operador/a (ou engenheiro/a) do local para garantir que o sistema de alarme de incêndio esteja protegido/isolado conforme apropriado. **É preciso avisar com pelo menos dois dias de antecedência.**

Requisitos dentro da área de trabalho

- Verificar a área para ver se há material combustível que deva ser retirado antes do início do trabalho (por exemplo: papel, papelão, poeira, fiapos, detritos, líquidos inflamáveis e depósitos de óleo).
- Varrer o chão.
- Proteger o piso e outras superfícies combustíveis com tapetes de proteção contra calor ou outro material apropriado.
- Cobrir todas as aberturas nas paredes e no chão.
- Proteger passagens que estiverem embaixo de trabalho a quente.
- Eliminar atmosfera explosiva na área.
- Retirar líquidos inflamáveis/cilindros de gás da área de trabalho ou armazená-los de modo apropriado.
- Verificar e proteger a área, posicionando a sinalização de segurança.

Trabalho em paredes ou tetos

Afastar os combustíveis do outro lado da parede.

Monitoramento da área de trabalho a quente / incêndio

Deve-se ficar atento para princípios de incêndio durante o trabalho e até uma hora depois, incluindo intervalos para café ou almoço. Lembre-se de verificar as superfícies adjacentes (paredes, tetos falsos, etc.).

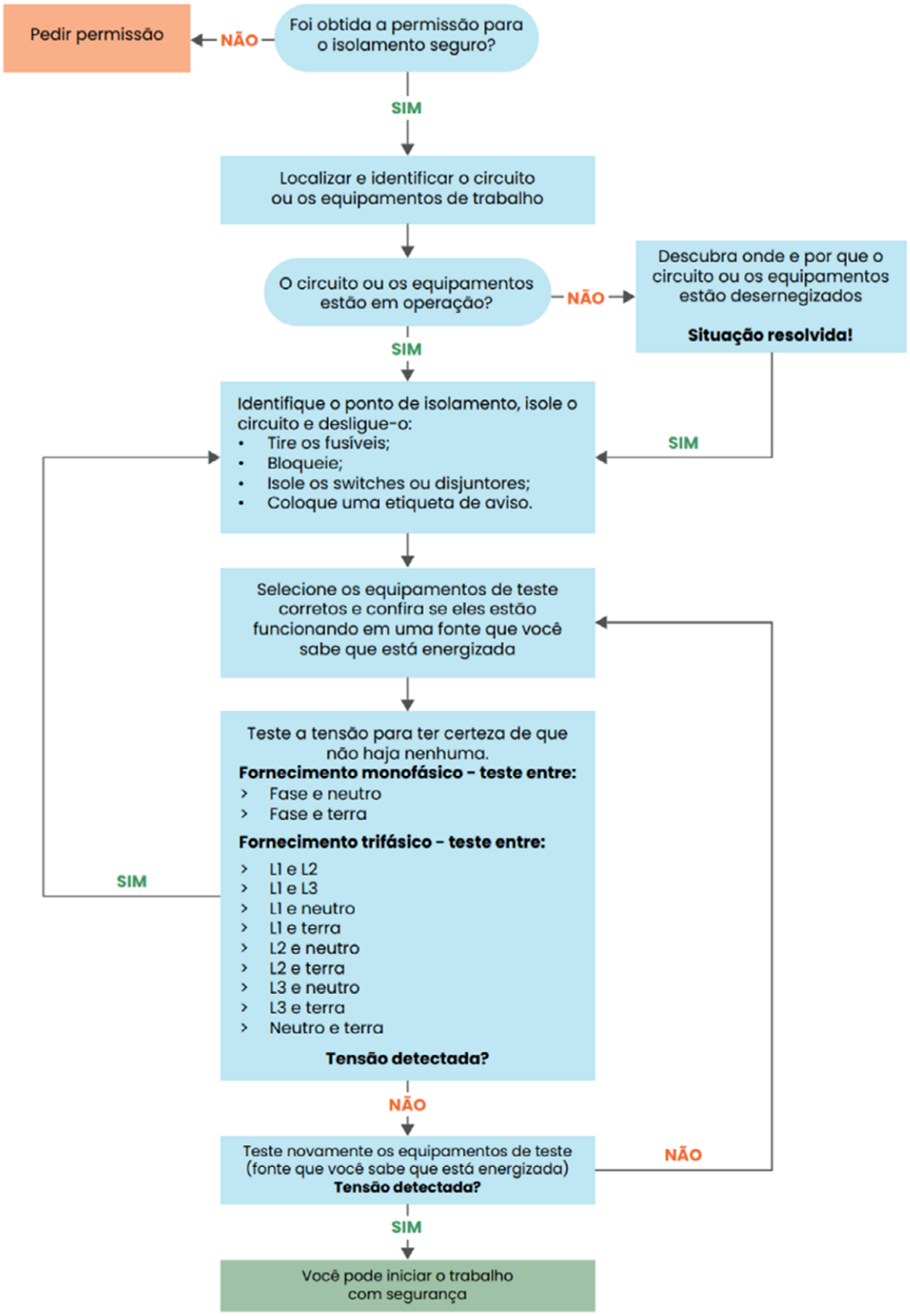
Conclusão de trabalho e monitoramento de incêndio

Confira se os dispositivos de proteção com alarme de incêndio foram retirados e devolvidos.

OBSERVAÇÃO:

Caso não seja possível redefinir o sistema de alarme de incêndio, ou tirar as tampas das cabeças dos detectores de alarme, deve-se realizar uma avaliação específica no local e implementar medidas de controle específicas. O/a engenheiro/a de instalações/segurança deve ser avisado/a.

Figura 512 – Procedimento de isolamento elétrico seguro



Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 6: *Checklist* de manutenção preventiva

***Checklist* de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada**			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 01**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
1. Compressor alternativo e rotativo			
1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
1.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
1.4	Medição da pressão de sucção[2]	X	
1.5	Medição da temperatura de sucção na entrada do compressor[2]	X	
1.6	Medição da pressão de descarga[2]	X	
1.7	Medição da temperatura de descarga	X	
1.8	Inspeção do nível de óleo[2]	X	
1.9	Análise da acidez do óleo[2]	X	
1.10	Troca de óleo [1 / 2]		X
1.11	Medição da pressão de óleo[2]	X	
1.12	Ajuste da pressão do óleo, caso seja necessário (seguir instruções do fabricante)[2]		X
1.13	Medição da temperatura do óleo antes e após o resfriador de óleo[2]	X	
1.14	Medição da temperatura de água antes e após o resfriador de óleo[2]	X	
1.15	Inspeção do funcionamento do separador de óleo	X	
1.16	Inspeção do funcionamento do aquecedor do cárter	X	
1.17	Inspeção do funcionamento do sistema sem carga	X	
1.18	Inspeção do funcionamento do controle de capacidade	X	
1.19	Inspeção do funcionamento da linha de gás quente	X	
1.20	Inspeção de vazamento no selo mecânico	X	
1.21	Inspeção das válvulas de isolamento (localizada entre o transdutor de pressão e a tubulação)		X
1.22	Medição da temperatura dos rolamentos e mancais	X	
1.23	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	
1.24	Unidades de acionamento[3]	Página 13	
1.25	Verificação do desempenho e sistema de controle	Página 12	

[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante

[2]Os dados de medição devem ser registrados

[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 02**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodi-camente	Sob Demanda
2. Trocador de calor			
2.1 Condensador resfriado a ar			
2.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.1.2	Inspeção das aletas e correção entre o espaçamento das mesmas		X
2.1.3	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
2.1.4	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.1.5	Medição da temperatura de condensação[2]	X	
2.1.6	Medição da temperatura de sub-resfriamento[2]	X	
2.1.7	Medição da temperatura do ar na entrada e saída do conden-sador2	X	
2.1.8	Ventilador	Página 11	
2.1.9	Verificação do ajuste da pressão de condensação	X	
2.1.10	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (con-forme seção 8)	X	
2.1.11	Medição do desempenho e sistema de controle	Página 12	
2.2 Condensador resfriado a água			
2.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.2.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
2.2.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.2.4	Medição da temperatura de condensação[2]	X	
2.2.5	Medição da temperatura de sub-resfriamento[2]	X	
2.2.6	Medição da temperatura da água na entrada e saída do con-densador[2]	X	
2.2.7	Determinação da temperatura de proteção anti-congelamento (água)[2]	X	
2.2.8	Inspeção do controle de resfriamento de água	X	
2.2.9	Ajuste do controlador de água		X
2.2.10	Bomba	Página 09	
2.2.11	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante e lubrificante (conforme detalhes na seção 8)	X	
2.2.12	Verificação do funcionamento do controlador de proteção contra congelamento	X	
2.2.13	Recarga do fluido anticongelante	X	
2.2.14	Verificação do desempenho e sistema de controle	Página 12	
[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante			
[2]Os dados de medição devem ser registrados			
[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manu-tenção do fabricante e ser registrada			

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 03**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
2.3 Condensador evaporativo			
2.3.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.3.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
2.3.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.3.4	Medição da temperatura de condensação[2]	X	
2.3.5	Medição da temperatura de sub-resfriamento[2]	X	
2.3.6	Medição da temperatura de bulbo úmido	X	
2.3.7	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante e lubrificante (conforme seção 8)	X	
2.3.8	Verificação dos pontos de vazamento de água	X	
2.3.9	Ventilador	Página 11	
2.3.10	Verificação da distribuição e alimentação de água	X	
2.3.11	Verificação do nível da água	X	
2.3.12	Verificação do funcionamento do sistema de abastecimento de água	X	
2.3.13	Verificação do funcionamento do eliminador de névoa (inspeção visual)	X	
2.3.14	Verificação do funcionamento do sistema de retirada de lodo	X	
2.3.15	Ajuste do sistema de retirada de lodo	X	
2.3.16	Verificação do sistema de drenagem	X	
2.3.17	Filtros	Página 09	
2.3.18	Verificação do aquecedor da bandeja	X	
2.3.19	Bomba	Página 09	
2.3.20	Verificação do aquecimento na superfície	X	
2.3.21	Unidades de acionamento	Página 13	
2.3.22	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
2.3.23	Verificação do desempenho e sistema de controle	Página 12	
[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante			
[2]Os dados de medição devem ser registrados			
[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada			

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 04**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodi-camente	Sob Demanda
2.4 Evaporador a ar (com fluido refrigerante)			
2.4.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.4.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
2.4.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.4.4	Inspeção das aletas e correção entre o espaçamento das mesmas		X
2.4.5	Medição da pressão de evaporação[2]	X	
2.4.6	Medição da temperatura de evaporação na saída do evaporador[2]	X	
2.4.7	Verificação do valor da temperatura de superaquecimento[2]	X	
2.4.8	Medição da temperatura do ar na entrada e saída do evaporador[2]	X	
2.4.9	Ventilador	Página 11	
2.4.10	Inspeção do funcionamento do regulador de pressão de sucção	X	
2.4.11	Inspeção do funcionamento do dreno de condensado	X	
2.4.12	Limpeza do dreno de condensado		X
2.4.13	Inspeção do funcionamento do sistema de anti-congelamento	X	
2.4.14	Inspeção do funcionamento do aquecedor do dreno de condensado	X	
2.4.15	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante e lubrifi-cante (conforme seção 8)	X	
2.4.16	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
2.4.17	Verificação do desempenho e sistema de controle	Página 12	
2.5 Trocador com fluido intermediário (água ou salmoura)			
2.5.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.5.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]	X	
2.5.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.5.4	Medição da pressão de evaporação[2]	X	
2.5.5	Medição da temperatura de evaporação na saída do evaporador[2]	X	
2.5.6	Verificação do valor da temperatura de superaquecimento[2]	X	
2.5.7	Medição da temperatura média da entrada/saída do evaporador[2]	X	
2.5.8	Verificação da temperatura mínima (de proteção) para o não conge-lamento do fluido intermediário[2]	X	
2.5.9	Inspeção do nível do fluido refrigerante (evaporador inundado)	X	
2.5.10	Bomba	Página 09	
2.5.11	Verificação dos pontos de vazamento de fluido (conforme detalhes na seção 8)	X	
2.5.12	Verificação do desempenho e sistema de controle	Página 12	
[1,2,3]veja página anterior			

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 05**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodica-mente	Sob Demanda
2.6 Resfriador de ar com fluido intermediário (água ou salmoura) "*fan coil*"			
2.6.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.6.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
2.6.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.6.4	Inspeção das aletas e correção entre o espaçamento das mesmas	X	
2.6.5	Medição da temperatura média de entrada e saída do resfriador[2]	X	
2.6.6	Medição da temperatura do ar na entrada e saída do refriador[2]	X	
2.6.7	Verificação do valor da temperatura de superaquecimento[2]	X	
2.6.8	Verificação do sistema de aquecimento[2]	X	
2.6.9	Ventilador	Página 11	
2.6.10	Verificação do funcionamento da válvula de *by-pass*	X	
2.6.11	Verificação do funcionamento da válvula solenoide	X	
2.6.12	Inspeção do funcionamento do dreno de condensado	X	
2.6.13	Limpeza do dreno de condensado	X	
2.6.14	Inspeção do funcionamento do sistema de anti-congelamento	X	
2.6.15	Inspeção do funcionamento do aquecedor do dreno de condensado	X	
2.6.16	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
2.6.17	Bomba	Página 09	
2.6.18	Verificação dos pontos de vazamento de água/salmoura	X	
2.6.19	Verificação do desempenho e sistema de controle	Página 12	

[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante

[2]Os dados de medição devem ser registrados

[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada

Checklist de Inspeção e Atividades para aManutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 06**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
3. Componentes do circuito de refrigeração			
3.1 Linhas			
3.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
3.1.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
3.1.3	Verificação de danos no isolamento	X	
3.1.4	Inspeção da fixação e ruído	X	
3.1.5	Inspeção dos amortecedores de vibração	X	
3.1.6	Verificação de obstrução no filtro secador	X	
3.1.7	Retirada do filtro secador[1]		X
3.1.8	Verificação das condições do fluido refrigerante na forma líquida através do visor de líquido (na linha de líquido)	X	
3.1.9	Verificação do indicador de umidade por mudança de cor	X	
3.1.10	Inspeção do nível de líquido no tanque	X	
3.1.11	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	
3.2 Controles e válvulas			
3.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
3.2.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
3.2.3	Verificação de danos no isolamento	X	
3.2.4	Inspeção da fixação e ruído	X	
3.2.5	Verificação da regulagem da válvula de controle	X	
3.2.6	Ajuste da válvula de controle		X
3.2.7	Verificação do funcionamento da válvula de passagem	X	
3.2.8	Verificação do funcionamento da válvula de retenção	X	
3.2.9	Verificação do funcionamento da válvula de 4 vias (aquecimento/ resfriamento)	X	
3.2.10	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	
3.3 Desempenho do sistema de controle (dispositivos de segurança)			
3.3.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
3.3.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
3.3.3	Inspeção e teste de operação	X	
3.3.4	Ajuste conforme dados de projeto	X	
3.3.5	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	
3.3.6	Verificação do desempenho e sistema de controle	X	

[1,2,3]veja página anterior

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 07**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodica-mente	Sob Demanda
3.4 Instrumentos indicadores			
3.4.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
3.4.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
3.4.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
3.4.4	Verificação do indicador de pressão (integridade)	X	
3.4.5	Verificação do indicador de temperatura (integridade)	X	
3.4.6	Verificação do indicador de nível (integridade)	X	
3.4.7	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	
[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante			
[2]Os dados de medição devem ser registrados			
[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada			

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 08**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodica-mente	Sob Demanda
4. Sistemas de resfriamento			
4.1 Sistemas de resfriamento evaporativo (torre de resfriamento)			
4.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
4.1.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
4.1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
4.1.4	Verificação de vazamento	X	
4.1.5	Ventilador	Página 11	
4.1.6	Verificação da alimentação e distribuição de água	X	
4.1.7	Verificação do nível da água	X	
4.1.8	Verificação do funcionamento do sistema de abastecimento de água	X	
4.1.9	Verificação do funcionamento do eliminador de névoa (inspeção visual)	X	
4.1.10	Verificação do funcionamento do sistema de retirada de lodo	X	
4.1.11	Ajuste do sistema de retirada de lodo		X
4.1.12	Verificação do sistema de drenagem	X	
4.1.13	Filtros	X	
4.1.14	Verificação do aquecedor da bandeja	X	
4.1.15	Bomba	X	
4.1.16	Verificação do aquecimento na superfície	X	
4.1.17	Unidades de acionamento	X	
4.1.18	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
4.1.19	Verificação do desempenho e sistema de controle	X	
4.2 Sistemas de resfriamento seco			
4.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
4.2.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
4.2.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
4.2.4	Verificação de vazamento	X	
4.2.5	Ventilador	Página 11	
4.2.6	Verificação do controle de proteção anti-congelamento	X	
4.2.7	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
4.2.8	Verificação do desempenho e sistema de controle	X	
[1,2,3]veja página anterior			

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 09**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodica-mente	Sob Demanda
5. Tubulação e seus componentes do circuito secundário (água e salmoura)			
5.1 Bombas			
5.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.1.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
5.1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.1.4	Inspeção de funcionamento	X	
5.1.5	Inspeção do sistema de controle de nível	X	
5.1.6	Verificação de vazamento (visual)	X	
5.1.7	Unidade de acionamento	Página 13	
5.1.8	Verificação do desempenho e sistema de controle	X	
5.2 Válvulas de passagem, balanceamento e controle			
5.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.2.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
5.2.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.2.4	Inspeção de funcionamento	X	
5.2.5	Verificação de vazamento (visual) (conforme seção 8)	X	
5.3 Filtros			
5.3.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.3.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
5.3.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.3.4	Limpeza dos filtros de tela (peneira)	X	
5.3.5	Verificação de vazamento (visual) (conforme seção 8)	X	
[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante			
[2]Os dados de medição devem ser registrados			
[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada			

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 10**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodica-mente	Sob Demanda
5.4 Tubulação (água/salmoura)			
5.4.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.4.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
5.4.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.4.4	Inspeção de danos no isolamento	X	
5.4.5	Verificação do funcionamento do indicador de temperatura (integridade)	X	
5.4.6	Verificação do funcionamento do indicador de pressão (integridade)	X	
5.4.7	Verificação dos amortecedores de vibração	X	
5.4.8	Inspeção do sistema anti-congelamento	X	
5.4.9	Verificação do sistema de aquecimento de superfície	X	
5.4.10	Inspeção do funcionamento dos aparelhos e equipamentos de segurança	X	
5.4.11	Verificação de pulga de ar	X	
5.4.12	Verificação de vazamento (visual)	X	
5.5 Vasos de expansão			
5.5.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.5.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
5.5.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.5.4	Verificação das válvulas de passagem e do tubo de expansão	X	
5.5.5	Verificação da pressão no vaso de expansão	X	
5.5.6	Verificação do coxim hidráulico	X	
5.5.7	Criação do coxim hidráulico		X
5.5.8	Verificação do funcionamento da válvula de segurança	X	
5.5.9	Verificação de vazamento (visual)	X	
[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante			
[2]Os dados de medição devem ser registrados			
[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada			

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 11**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodi-camente	Sob Demanda
6. Sistemas de manuseio do ar			
6.1 Ventiladores			
6.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
6.1.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
6.1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
6.1.4	Verificação do balanceamento do ventilador	X	
6.1.5	Ajuste das lâminas (pás)	X	
6.1.6	Inspeção de ruído dos rolamentos	X	
6.1.7	Lubrificação dos rolamentos		X
6.1.8	Verificação das conexões	X	
6.1.9	Verificação dos amortecedores de vibração	X	
6.1.10	Verificação dos equipamentos de segurança	X	
6.1.11	Verificação do controle de ventilação	X	
6.1.12	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
6.1.13	Verificação do sistema de drenagem	X	
6.1.14	Unidades de acionamento	Página 13	
6.2 Dutos e filtros de ar (para regiões acessíveis)			
6.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
6.2.2	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão interna	X	
6.2.3	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
6.2.4	Inspeção da fixação e ruído	X	
6.2.5	Verificação do sistema de drenagem	X	
6.2.6	Limpeza do sistema de drenagem[1]		X
6.2.7	Verificação de vazamento de ar nas junções flexíveis	X	
6.2.8	Verificação de vazamento de ar	X	
6.2.9	Inspeção de corrosão ou dano nos filtros	X	
6.2.10	Limpeza dos filtros[1]		X

[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante

[2]Os dados de medição devem ser registrados

[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 12**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodi-camente	Sob Demanda
7. Instalações elétricas e medição de desempenho e sistema de controle			
7.1 Quadro de controle			
7.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
7.1.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
7.1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
7.1.4	Inspeção das conexões elétricas	X	
7.1.5	Apertar todas as conexões elétricas (com o circuito desligado)	X	
7.1.6	Inspeção visual dos condutores elétricos (soltos/desgastados)	X	
7.1.7	Verificar e registrar tensão elétrica dos diversos circuitos[2]	X	
7.1.8	Verificar e registrar o consumo de energia das cargas principais[2]	X	
7.1.9	Verificação do funcionamento dos componentes de medição elétrica	X	
7.1.10	Verificação de desgaste dos componentes de medição elétrica	X	
7.1.11	Configuração do desempenho e sistema de controle	X	
7.1.12	Medição de sinais de entrada e testes conforme definidos no projeto elétrico	X	
7.1.13	Verificar e registrar configurações de operação[2]	X	
7.1.14	Realizar e registrar calibrações e parametrizações[2]	X	
7.1.15	Verificar pontos ligados/desligados	X	
7.1.16	Verificar tempos de operação do equipamento a fim de planejar as manutenções	X	
7.1.17	Medição do valor máximo da corrente elétrica do equipamento e verificação do ajuste do sistema de segurança de corrente elétrica	X	
7.1.18	Revisão do histórico de diagnósticos incluindo incidentes e alarmes	X	
7.1.19	Inspeção do funcionamento dos dispositivos de segurança	X	
7.1.20	Inspeção dos controles e sistema de segurança	X	
7.1.21	Configuração dos parâmetros de segurança[2]	X	
7.1.22	Verificação das lâmpadas indicadoras	X	
7.1.23	Verificação dos sistemas de alarmes	X	
7.1.24	Verificação do funcionamento do interruptor de emergência	X	
7.1.25	Inspeção da ventilação de entrada e saída	X	
7.1.26	Inspeção das baterias de reserva (substitua se necessário)[1]	X	
[1,2,3]veja página anterior			

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 13	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodi-camente	Sob Demanda
7.2 Motor elétrico			
7.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
7.2.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
7.2.3	Inspeção da fixação e ruído (rolamento)	X	
7.2.4	Lubrificação dos rolamentos[1]		X
7.2.5	Apertar todas as conexões elétricas (com circuito elétrico desligado)	X	
7.2.6	Inspeção visual dos condutores elétricos (soltos/desgastados)	X	
7.2.7	Verificar e registrar tensão elétrica dos diversos circuitos[2]	X	
7.2.8	Verificar e registrar o consumo de energia[2]	X	
7.2.9	Medição das fases[2]	X	
7.2.10	Teste do isolamento elétrico[2]	X	
7.2.11	Inspeção do sentido de rotação	X	
7.2.12	Inspeção do funcionamento dos dispositivos de segurança e proteção	X	
7.3 Correia de transmissão			
7.3.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
7.3.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
7.3.3	Inspeção da tensão e alinhamento da correia	X	
7.3.4	Ajuste da tensão e alinhamento da correia		X
7.3.5	Substituição da correia de transmissão[1]		X
7.3.6	Inspeção do funcionamento dos dispositivos de segurança e proteção	X	
7.4 Acoplamento de transmissão			
7.4.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
7.4.2	Limpeza para melhor funcionamento[1]		X
7.4.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
7.4.4	Inspeção do alinhamento	X	
7.4.5	Verificação do óleo	X	
7.4.6	Substituição do óleo[1]		X
[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante			
[2]Os dados de medição devem ser registrados			
[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada			

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 14**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodi-camente	Sob Demanda
8. Verificação/Teste de vazamentos			
8.1 Inspeção e métodos de testes de vazamentos indiretos			
8.1.1	Inspeção e análise dos registros de manutenção e reparo	X	X
8.1.2	Inspeção dos registros de manuseio de fluido refrigerante (recarga, recolhimento)	X	X
8.1.3	Inspeção dos dados do sistema (projeto e operação)	X	X
8.1.4	Inspeção de ruído e vibração	X	X
8.1.5	Inspeção de corrosão	X	X
8.1.6	Inspeção de vazamentos de óleo	X	X
8.1.7	Inspeção de avaria dos componentes	X	X
8.1.8	Inspeção dos dispositivos de segurança	X	X
8.1.9	Inspeção dos controles e sensores de pressão	X	X
8.1.10	Inspeção das condições dos manômetros	X	X
8.1.11	Definir valores de inspeção para os dispositivos de segurança e controle de pressão	X	X
8.1.12	Verificar temperatura e pressão de operação do sistema	X	X
8.1.13	Verificar parâmetro de temperatura para refrigeração	X	X
8.1.14	Verificar nível nos visores de liquido ou indicadores de nível	X	X
8.1.15	Verificar se a queda de eficiência do sistema	X	X

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 15**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodi-camente	Sob Demanda
8. Verificação/Teste de vazamentos			
8.2 Inspeção e métodos de testes de vazamentos diretos			
8.2.1	Detecção de vazamento de fluido refrigerante por meio de detector de gás portátil	X	X
8.2.2	Verificar sensibilidade (deve estar em 5 gramas por ano)	X	X
8.2.3	Verificar a calibração do detector de gás portátil	X	X
8.2.4	Verificação de vazamento por meio de nitrogênio seco com água e sabão	X	X
8.2.5	Verificação de vazamento por meio de vestígios de óleo	X	X
8.2.6	Inspeção nas conexões de solda ou brasagem	X	X
8.2.7	Inspeção de vazamentos nas válvulas (tampas, hastes das válvulas de serviços, schrader, etc.)	X	X
8.2.8	Verificação de vazamento nos retentores, selos e flanges	X	X
8.2.9	Verificação de vazamento nas regiões de vibração	X	X
8.2.10	Verificação de vazamento na carcaça dos filtros secadores com núcleo substituível	X	X
8.2.11	Verificação de vazamento nos dispositivos de segurança	X	X
8.2.12	Verificação de vazamento nos plugues fusíveis	X	X
8.2.13	Verificação de vazamento nos discos de ruptura	X	X
8.2.14	Verificação de corrosão e danos mecânicos nas curvas e tubos dos condensadores	X	X
8.2.15	Verificação de corrosão e danos mecânicos nas curvas e tubos dos evaporadores	X	X
8.2.16	Verificação de vazamento nos pressostatos	X	X
8.2.17	Verificação de vazamento nas válvulas solenoides, partes móveis e juntas	X	X
8.2.18	Verificação de vazamento nas bandejas e dreno de condensado	X	X
8.2.19	Verificação de vazamento no visor de líquido e conexões	X	X
8.2.20	Reparo obrigatório dos vazamentos detectados[1]	X	X
8.2.21	Repetir a detecção de vazamentos nos componentes, quando tiverem sido consertados	X	X
8.2.22	Atualizar livro de registros com detalhes e retorno dos resultados das inspeções dos vazamento	X	X
8.2.23	Reinspeção do vazamento consertado, 30 dias após o reparo[1]	X	X

[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		**Página 16**	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodica-mente	Sob Demanda
9. Documentação e identificação (componentes do sistema e sala de máquinas)			
9.1	Verificar disponibilidade das instruções do fabricante	X	
9.2	Verificar disponibilidade do projeto elétrico	X	
9.3	Verificar disponibilidade do diagrama de fluxo	X	
9.4	Verificar disponibilidade das instruções de manutenção	X	
9.5	Verificar disponibilidade das informações operacionais para o usuário	X	
9.6	Verificar disponibilidade da placa de identificação do sistema	X	
9.7	Documentação referente à verificação dos equipamentos sob pressão e seus componentes	X	
9.8	Disponibilidade do livro de registros (consumo de fluido refrigerante, reparos, manutenção preventiva planejada)	X	
9.9	Verificar registros de teste de estanqueidade	X	
9.10	Verificar registros e integridade do livro de registros	X	
9.11	Verificar disponibilidade de identificação necessária para segurança	X	
9.12	Verificar visualidade da identificação e avisos de segurança	X	
9.13	Verificar identificação de emergência, primeiros socorros e plano de ação	X	
9.14	Verificar disponibilidade de dados de contato das empresas de instalação e manutenção	X	
[1]O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante			
[2]Os dados de medição devem ser registrados			
[3]Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada			

Fonte: Rolf Huehren.

Apoio:

ABRAVA

Parceria:

ELETROFRIO

FAPRO ETP GRUPO EDUCACIONAL

Firjan SENAI

Implementação:

cooperação alemã DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Por meio da:

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Coordenação:

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA

GOVERNO DO BRASIL DO LADO DO POVO BRASILEIRO