

Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH



**Projetos Demonstrativos de Melhor Contenção
de HCFC-22 em Supermercados
Tecnologia Alternativa: Sistema Subcrítico com CO₂
Supermercado Angeloni - Balneário Camboriú (SC)**



PROGRAMA
BRASILEIRO DE
ELIMINAÇÃO DOS

HCFCs
Projeto para o Setor de Serviços

Presidência da República

Jair Messias Bolsonaro

Ministério do Meio Ambiente

Ricardo Salles

Secretaria Executiva

Luís Gustavo Biagioni

Secretaria de Relações Internacionais

Eduardo Lunardelli Novaes

Ministério do Meio Ambiente
Secretaria de Relações Internacionais
Departamento de Economia Ambiental e Acordos Internacionais

Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH

**Projetos Demonstrativos de Melhor Contenção
de HCFC-22 em Supermercados
Tecnologia Alternativa: Sistema Subcrítico
com CO₂ Supermercado Angeloni
Balneário Camboriú (SC)**

**Departamento de Economia Ambiental
e Acordos Internacionais**

Nelcilândia Pereira de Oliveira

**Coordenação-Geral de Economia Ambiental
e Acordos Internacionais**

Ivana Merched Oliveira Guerreiro

Coordenação Técnica

Frank Amorim (MMA)

Magna Luduvise (MMA)

Miquel Pitarch (GIZ)

Stefanie von Heinemann (GIZ)

Autoria

Miquel Pitarch

Equipe Técnica Angeloni

Leandro da Silva de Mello

Norberto Colla

Ricardo Nazário

Equipe Técnica GIZ

Adenilson Belizário

Dennis Huehren

Gutenberg da Silva Pereira

Colaboração

Ana Bárbara Zanella

Rolf Huehren

Tatiana Lopes de Oliveira Pereira

Fotografia

Adenilson Belizário

Dennis Huehren

Rolf Huehren

Stefanie von Heinemann

Projeto Gráfico, Diagramação e Arte

Danilo Koch

Revisão e edição de texto

Susana Ferraz, Sete Estrelas Comunicação

Secretaria de Relações Internacionais

Departamento de Economia Ambiental
e Acordos Internacionais

Esplanada dos Ministérios, Bloco B,
5º andar, Sala 522, CEP: 70.068-900

Brasília - DF

Telefone: (61) 2028-2248

E-mail: ozonio@mma.gov.br

**Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

SCN Quadra 1, Bloco C, Sala 1501, Ed.

Brasília Trade Center, CEP: 70.711-902

Brasília-DF

Telefone: (61) 2101-2170

E-mail: giz-brasilien@giz.de

Reprodução deste documento

Este documento pode ser reproduzido na íntegra ou em parte sem consentimento prévio por escrito desde que a parte reproduzida seja atribuída ao Ministério do Meio Ambiente e à Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Lista de Figuras

Figura 1 – Sistema em cascata simplificado com CO ₂ na parte de baixa temperatura.....	16
Figura 2 – Exemplo de <i>datalogger</i> de temperatura	21
Figura 3 – Exemplo de <i>manifold</i> digital.....	22
Figura 4 – Exemplo de câmera termográfica.....	22
Figura 5 – Exemplo de detector eletrônico de gases halogenados.....	23
Figura 6 – Exemplo de vazamento de referência	23
Figura 7 – Exemplo de detector eletrônico de dióxido de carbono	24
Figura 8 – Exemplo de analisador de gases	24
Figura 9 – Equipamento <i>Climacheck</i>	25
Figura 10 – Tela inicial do Pró-Ozônio	26
Figura 11 – Fachada da loja Angeloni Balneário Camboriú	27
Figura 12 – Esquema simplificado do sistema de resfriados utilizando HCFC-22	28
Figura 13 – Rack de compressores para o regime de resfriados utilizando HCFC-22	29
Figura 14 – Esquema simplificado do sistema de congelados utilizando HCFC-22	29
Figura 15 – Rack de compressores para o regime de congelados utilizando HCFC-22.....	30
Figura 16 – Ciclo de BT com os pontos medidos pelo <i>Climacheck</i>	30
Figura 17 – Potência consumida pelos 4 compressores no ciclo de BT (HCFC-22).....	32
Figura 18 – Temperatura de evaporação do móvel E18.....	33
Figura 19 – Temperatura do ambiente interno do móvel E18.....	33
Figura 20 – Foto ilustrando a disposição dos produtos no móvel E18	34
Figura 21 – Temperatura do ambiente interno do móvel M03	34
Figura 22 – Resultados das análises das amostras de HCFC-22	35
Figura 23 – Dados de consumo de potência e capacidade frigorífica dos compressores em função das condições de temperatura no evaporador e condensador (HCFC-22).....	37
Figura 24 – Detector eletrônico de gases halogenados para identificação de microvazamentos	38
Figura 25 – Sensor de pressão da bomba de óleo com vazamento	39
Figura 26 – Tampas sem <i>orings</i> adequados utilizados nas válvulas de passagem	39
Figura 27 – Quantidade elevada de conexões por flange (algumas com vazamento evidente)	40
Figura 28 – Válvula <i>Schrader</i> sem vedação com vazamento	40
Figura 29 – Exemplos de conexões brasadas com vazamento	40
Figura 30 – Condensador NK para o ciclo de MT (HCFC-22)	41
Figura 31 – Condensador em V para o ciclo de BT (HCFC-22)	42
Figura 32 – Válvula de expansão do tipo flange manual	43
Figura 33 – Formação de camada de gelo nos evaporadores (HCFC-22)	43
Figura 34 – Disposição no expositor de queijo e margarina.....	44
Figura 35 – Termografia no expositor de laticínios	44
Figura 36 – Fixação inadequada da tubulação e linhas de sucção.....	45
Figura 37 – Placa informativa dos tanques de líquido.....	46
Figura 38 – Válvula de serviço e carcaça do compressor apresentavam corrosão	46
Figura 39 – Pontos críticos do painel elétrico com imagem termográfica	46
Figura 40 – Esquema simplificado do novo sistema de refrigeração com CO ₂ e HFC-134a	50
Figura 41 – Dessuperaquecedor do ciclo com CO ₂ com um ventilador	51
Figura 42 – Condensador com seis ventiladores para o ciclo D (HFC-134a)	52
Figura 43 – Sala de máquinas com os rack de compressores A, C e D	52
Figura 44 – Compressores em paralelo do ciclo C (CO ₂).....	53

Figura 45 – Braçadeiras para medição da corrente dos compressores do ciclo D (MT, HFC-134a) .	55
Figura 46 – Sensor de temperatura do equipamento <i>Climacheck</i> na linha de líquido	55
Figura 47 – Potência consumida pelos três compressores do Ciclo A (HFC-134a)	56
Figura 48 – Resultados das análises das amostras de HCFC-22	57
Figura 49 – Resultados do software do fabricante de compressores <i>Bitzer</i> para o modelo 4EHC-6K 20D (Ciclo C, CO ₂)	61
Figura 50 – Resultados no software do fabricante de compressores <i>Bitzer</i> para o modelo 6G-40.2Y (Ciclo A, HFC-134a)	62
Figura 51 – Resultados no software do fabricante de compressores <i>Bitzer</i> para o modelo 6G-40.2Y (Ciclo D, HFC-134a)	63
Figura 52 – Resultados no software do fabricante de compressores <i>Bitzer</i> para o modelo 6G-40.2Y (Ciclo B, HFC-134a)	64

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Propriedades medidas e calculadas do ciclo de resfriados e congelados (sistema com HCFC-22)	31
Tabela 2 – Consumo de fluido frigorífico HCFC-22 em 2014 e 2015 em kg por mês (dados fornecidos pela loja)	36
Tabela 3 – Potência, capacidade frigorífica e capacidade calorífica (calor rejeitado) para cada compressor	37
Tabela 4 – Número e modelo dos diferentes compressores e ventiladores nos condensadores para cada ciclo	51
Tabela 5 – Custo dos diferentes serviços para a instalação do sistema em cascata no Angeloni	54
Tabela 6 – Principais dados medidos nos quatro ciclos do sistema em cascata	56
Tabela 7 – Carga de fluido frigorífico em cada circuito e vazamento anual médio	58
Tabela 8 – Modelo e capacidade total dos condensadores de ar para cada ciclo de refrigeração montados no telhado do supermercado	59
Tabela 9 – Expositores e câmaras do sistema de resfriados (MT)	59
Tabela 10 – Expositores e câmaras do sistema de congelados (BT)	60
Tabela 11 – Comparação dos vazamentos dos fluidos frigoríficos no sistema antigo e novo e seu impacto ambiental	66
Tabela 12 – Comparação entre o sistema com HCFC-22 e o sistema em cascata para cada aplicação: MT e BT	68



Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 O Protocolo de Montreal	12
1.2 Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH)	13
2. PROJETOS DEMONSTRATIVOS	14
3. INTRODUÇÃO AO SISTEMA EM CASCATA COM CO₂.....	15
3.1 Características do CO ₂	15
3.2 Sistema em cascata.....	16
3.3 Segurança.....	17
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
4.1 Etapas de implementação	20
4.2 Equipamentos e ferramentas	21
4.2.1 <i>Dataloggers</i> de temperatura	21
4.2.2 <i>Manifold</i> digital	22
4.2.3 Câmera termográfica	22
4.2.4 Detector eletrônico de gases halogenados.....	23
4.2.5 Detector eletrônico de dióxido de carbono	24
4.2.6 Analisador de gases	24
4.2.7 <i>Climacheck</i>	25
4.3 Sistema Pró-Ozônio.....	26
5. PROJETO DEMONSTRATIVO ANGELONI BALNEÁRIO CAMBORIÚ – PARTE 1:	
PRÉ-INTERVENÇÃO NO CIRCUITO DE HCFC-22.....	27
5.1 Descrição do sistema de refrigeração – sistema com HCFC-22	28
5.1.1 Composição do sistema de média temperatura para produtos resfriados	28
5.1.2 Composição do sistema de baixa temperatura para produtos congelados	29
5.2 Levantamento de dados paramétricos.....	30
5.2.1 Medições no circuito de refrigeração	30
5.2.2 Compressores.....	32
5.2.3 Degelo.....	32
5.2.4 Temperaturas em expositores, câmaras e salas de preparo	33
5.2.5 Análise do fluido frigorífico utilizado no sistema	35

5.2.6	Vazamento do fluido frigorífico.....	35
5.3	Regime de operação.....	37
5.4	Identificação dos principais pontos críticos.....	38
5.4.1	Pontos críticos de vazamento.....	38
5.4.2	Condensadores.....	41
5.4.3	Evaporadores, expositores e válvulas de expansão.....	42
5.4.4	Tubulação frigorífica.....	45
5.4.5	Segurança e placas de identificação	45
5.4.6	Outros pontos críticos	46
5.5	Recomendações para o sistema com HCFC-22	47
6.	PROJETO DEMONSTRATIVO ANGELONI BALNEÁRIO CAMBORIÚ – PARTE 2:	
	ANÁLISE DO SISTEMA EM CASCATA À BASE DE CO₂ E HFC-134a.....	49
6.1	Descrição do sistema de refrigeração – sistema em cascata com CO ₂ e HFC-134a.....	49
6.1.1	Ciclo C – Regime de congelados com CO ₂	52
6.1.2	Ciclo D – Regime de resfriados com HFC-134a.....	53
6.1.3	Ciclo A – Conectado ao condensador do ciclo C, com HFC-134a.....	53
6.1.4.	Ciclo B – Conectado ao sub-resfriador dos ciclos com HFC-134a (A e D).....	53
6.2	Implementação do novo sistema em cascata e lições aprendidas.....	54
6.2.1	Lições aprendidas durante a instalação no Angeloni.....	54
6.3	Levantamento de dados paramétricos.....	55
6.3.1	Medições dos ciclos A, B, C, D	56
6.3.2	Análise do fluido frigorífico utilizado no sistema em cascata.....	57
6.3.3	Vazamento do fluido frigorífico.....	58
6.4	Regime de operação.....	58
6.4.1	Condensadores.....	59
6.4.2	Expositores e câmaras	59
6.4.3	Regime de operação do Ciclo C – Baixa temperatura (ciclo com CO ₂).....	61
6.4.4	Regime de operação do Ciclo A – Ciclo de HFC-134a conectado ao condensador de CO ₂ ..	62
6.4.5	Regime de operação do Ciclo D – Ciclo de MT com HFC-134a (glicol e condensador de CO ₂)	65
6.4.6	Regime de operação do Ciclo B – Ciclo sub-refriamento com HFC-134a.....	64
6.5	Comparação: sistema HCFC-22 versus sistema em cascata com CO ₂	65
6.5.1	Emissões diretas.....	65
6.5.2	Consumo de energia.....	66
7.	CONCLUSÃO	69
8.	BIBLIOGRAFIA.....	72
	Anexo 1 – Diagrama esquemático do sistema de média temperatura com HCFC-22	74
	Anexo 2 – Diagrama esquemático do sistema de baixa temperatura com HCFC-22	76
	Anexo 3 – Diagrama esquemático do sistema em cascata com CO₂ e HFC-134a.....	78



Introdução

Nesta publicação apresentam-se os resultados do Terceiro Projeto Demonstrativo de Melhor Contenção de HCFC-22 em Supermercados, realizado no período entre setembro de 2015 e novembro de 2017 no supermercado Angeloni, localizado na cidade de Balneário Camboriú (SC). Trata-se de um estudo de caso, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e implementado pela agência bilateral Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, que faz parte das diversas iniciativas do País para atender ao Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs) e para promover a redução dos vazamentos de fluidos frigoríficos, por meio da aplicação das boas práticas durante os serviços de instalação, reparo, manutenção e operação de equipamentos de refrigeração e ar condicionado.

Este Projeto Demonstrativo foi idealizado no âmbito do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH) (descrito a seguir no item 1.2.), porque o setor supermercadista¹, composto por hipermercados, supermercados, *cash and carry* (atacarejos), hortifrúteis e lojas de conveniência, é o principal consumidor do fluido frigorífico HCFC-22, utilizado nos equipamentos de refrigeração comercial para a conservação dos alimentos (PORTAL ABRAS, 2018). Segundo dados do PBH, o setor de serviços respondeu, em 2013, por aproximadamente 65% da importação total de HCFCs realizada pelo País, sendo que a substância mais importada é o HCFC-22 (MMA, 2016). Quando considerada apenas a importação do HCFC-22, o setor supermercadista consumiu cerca de 40% do volume importado (14.256,44 toneladas de HCFC-22) apenas para a realização de manutenções urgentes provocadas pelos vazamentos de fluidos frigoríficos.

O diagnóstico do PBH realizado em 2013, que deu origem a este projeto demonstrativo, revelou que os principais problemas de vazamentos de HCFCs em supermercados estavam relacionados aos seguintes fatores: baixa qualidade técnica profissional, baixo padrão das práticas de manutenção e conserto, falta de ferramentas adequadas, baixa qualidade das instalações existentes, ausência de manutenção preventiva e/ou regular, projetos e serviços de instalação inadequados e falta de conscientização ambiental. Também foi apontado que a reposição de HCFC-22 nos equipamentos de refrigeração nos supermercados é considerada, em geral, uma atividade normal, que faz parte do dia a dia dos técnicos responsáveis pela manutenção das lojas. Isto ocorre porque muitos sistemas de refrigeração operam fora das especificações de projeto dos fabricantes. Com essa situação, que se mantém até hoje, geralmente há grandes índices de vazamentos de fluidos frigoríficos nos supermercados, que por sua vez ocasionam danos ambientais.

Os vazamentos, além de prejudicarem o meio ambiente, causam também perdas financeiras significativas para as empresas supermercadistas usuárias de sistemas de refrigeração. A reposição obrigatória e constante dos fluidos frigoríficos apresenta-se como uma perda financeira direta. Mas há possibilidade de perdas maiores, pois a queda de confiabilidade funcional do sistema acelera modos de falha e inoperância, que podem causar prejuízos imensuráveis, como a perda de todos os produtos alimentícios resfriados e congelados das lojas. Outra perda importante a ser considerada está na possibilidade de diminuição da eficiência energética de todo o sistema, pois

¹ De acordo com dados da Associação Brasileira de Supermercados (Abrás), o setor supermercadista representa 5,4% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, tendo em 2017 chegado à marca de 89,3 mil lojas e 1,822 milhão de funcionários diretos, pelos dados da pesquisa Ranking Abrás/SuperHiper 2018. Disponível em: <<http://www.abrasnet.com.br/clipping.php?area=20&clipping=63952>>. Acesso em 26 de novembro de 2019.

a queda de desempenho pelo descontrole de pressões e temperaturas operacionais contribui para o aumento do consumo de energia, causando mais prejuízo financeiro.

A partir deste cenário, ressalta-se que este Projeto se estabelece a partir da aplicação das Boas Práticas de Refrigeração Comercial (MMA; GIZ, 2017)², que indicam que qualquer recarga no sistema só deve ser realizada depois da completa verificação das causas de vazamentos e do devido reparo no sistema, com a contenção total a partir do uso de equipamentos adequados. São muitas as causas possíveis de vazamentos, como, por exemplo: excesso de vibração ou a fadiga dos materiais, manipulação muito intensa dos equipamentos e componentes, variações intensas de temperatura ou estresse térmico, operação com equipamentos obsoletos, etc. Afora essas causas, materiais, impacta nesta situação o fator humano, pela falta de conscientização ambiental, já apontada, e também pela falta de conhecimento e treinamento técnico da equipe de manutenção da loja. Todos esses fatores influenciam para a má qualidade da manutenção e funcionamento inadequado dos sistemas de refrigeração dos supermercados.

Levando em conta a importância de uma solução para essa situação crítica, surgiram no âmbito do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH) os projetos demonstrativos de melhor contenção de HCFC-22 em sistemas de refrigeração comercial. Esses projetos, entre outros atributos, contribuem para a redução de perdas financeiras e de alimentos, dada a importância do setor de refrigeração no varejo brasileiro.

As lojas que utilizam HCFC-22 no Brasil em seus equipamentos de refrigeração podem optar pelo *retrofit* de seus sistemas, como já demonstrado nos dois primeiros projetos realizados³, ou por uma troca de sistemas com uso de tecnologias alternativas, que funcionam à base de fluidos frigoríficos menos agressivos ao meio ambiente. Em ambos os casos, a principal orientação é sempre seguir as boas práticas de refrigeração.

Atualmente, a utilização de tecnologias alternativas com o uso de fluidos frigoríficos naturais (como CO₂, Amônia e Propano) em sistemas de refrigeração comercial é uma tendência mundial, devido aos ganhos ambientais e eficiência energética, e é cada vez mais uma solução considerada pelos empresários do setor supermercadista do País, principalmente para novas lojas ou para substituição de sistemas antigos e obsoletos.

Portanto, o terceiro projeto demonstrativo no âmbito do PBH, objeto deste estudo de caso, trata da análise do supermercado Angeloni, situado na cidade de Balneário Camboriú em Santa Catarina, que decidiu realizar uma troca completa do sistema de refrigeração existente à base de HCFC-22 por um sistema subcrítico de dióxido de carbono (CO₂) em cascata com o HFC-134a, oriundo de uma outra loja desativada. O fluido HFC-134a não agride a Camada de Ozônio, mas apresenta potencial de aquecimento global (GWP) de 1.430. Este potencial é um pouco menor do que o HCFC-22, que tem GWP de 1.810.

Antes da realização do projeto, a loja apresentava taxas de vazamento anuais de até 113% em relação à carga instalada de HCFC-22, o que gerava grandes perdas financeiras e danos ao meio ambiente. No início do projeto, o objetivo era levar a instalação a condições seladas (vazamentos perto do zero) com o *retrofit* do sistema, sem troca de fluido frigorífico, mas, devido à decisão da diretoria do Grupo Angeloni de trocar o sistema de refrigeração por completo no decorrer do projeto, este estudo de caso passou a ter como foco a apresentação das vantagens e desvantagens da nova instalação. O objetivo deste estudo de caso é contribuir para a implementação de projetos similares em outras lojas, além de apontar também as melhorias executadas em relação ao sistema anterior, que operou com HCFC-22 no período de 1999 a 2016.

2 As Boas Práticas de Refrigeração Comercial divulgadas pelo PBH por meio de publicações, apostilas, cursos técnicos e vídeos. Disponível em: <www.boaspraticasrefrigeracao.com.br e mma.gov.br/ozônio>. Acesso em 13 de setembro de 2019.

3 Os dois primeiros projetos demonstrativos foram realizados em dois supermercados: em São Paulo (SP), no Hortifruti do Campo, e em Belém (PA), no Yamada Nazaré. Relatórios disponíveis para download em: <<http://www.boaspraticasrefrigeracao.com.br/publicacoes>>. Acesso em 24 de janeiro de 2019.

1.1 O Protocolo de Montreal

O Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, que completou 32 anos de existência em 2019, é um tratado internacional ratificado por 198 Partes, incluindo o Brasil, que estabelece uma série de metas e procedimentos compartilhados de proteção da Camada de Ozônio do Planeta. Esta camada, formada pelo componente atmosférico ozônio (O₃), está localizada entre 20 e 35 quilômetros de altitude, onde se concentra cerca de 90% de suas moléculas. Dentre as suas diversas importâncias, o ozônio é o único gás que filtra o excesso de radiação ultravioleta do tipo B (UV-B), nociva aos seres vivos. Contudo, há gases utilizados pelo homem que podem destruir estas moléculas tão importantes, tais como os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs). É por isso que ocorre uma grande ação mundial, incluindo o Brasil, para criteriosamente eliminar o consumo dos HCFCs, substituindo esses fluidos por outros, mais amigáveis ao meio ambiente, e, com isso, promover a evolução tecnológica dos sistemas de refrigeração para benefício de toda a população.

Ao longo de três décadas, o País eliminou o consumo de aproximadamente 17 mil toneladas de Potencial de Destruição do Ozônio (PDO) decorrentes das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs), compreendendo a eliminação de substâncias controladas tais como clorofluorcarbonos (CFCs), halons, tetracloreto de carbono (CTC) e brometo de metila na agricultura.

Após o sucesso da primeira fase do Protocolo de Montreal para a eliminação da produção e consumo das SDOs, com os trabalhos para eliminação do consumo dos clorofluorcarbonos (CFCs)⁴, foi iniciada uma nova fase voltada para as substâncias conhecidas como hidroclorofluorcarbonos (HCFCs). Por meio da Decisão XIX/6, de 2007, os Estados Partes do Protocolo de Montreal estabeleceram um novo cronograma, iniciando-se com congelamento do consumo de HCFCs em 2013 (meta de congelamento pela média de consumo dos anos de 2009 e 2010), seguido por uma redução escalonada até a eliminação completa, prevista para 2040⁵.

4 Eliminação de 100% do consumo dos CFCs, com o fim das importações, ocorreu em 2010.

5 Cronograma de eliminação para os países em desenvolvimento, no qual se inclui o Brasil. Os países em desenvolvimento apresentam cronograma de eliminação do consumo de HCFCs antecipado.

1.2 Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH)

Sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e com o apoio das agências implementadoras PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), UNIDO (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial) e da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) *GmbH*, o Brasil elaborou o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), que define as estratégias para controle, redução e eliminação do consumo de HCFCs no Brasil, conforme cronograma de eliminação definido pelo Protocolo de Montreal, para a execução de atividades e projetos relacionados à conversão tecnológica dos setores de manufatura de espumas de poliuretano, refrigeração e ar condicionado e de contenção de vazamentos de HCFCs no setor de serviços. A elaboração e a implementação do PBH contam com a participação ativa de entidades representativas dos setores público e privado.

A Etapa 1 do PBH foi aprovada em 2011 com o objetivo de eliminar 16,6% do consumo de HCFCs até 2015 (BRASIL, 2011). A Etapa 2 do PBH foi aprovada em 2015, com o objetivo de eliminar 39,3% do consumo até 2020 e de 51,6% até 2021 (BRASIL, 2016). Em todas essas etapas, a GIZ foi a agência implementadora designada pelo governo brasileiro para atuar na execução dos projetos para o setor de serviços de refrigeração e ar condicionado.

No setor de serviços, as ações do PBH estão direcionadas para a redução dos vazamentos de fluidos frigoríficos, por meio da aplicação das boas práticas durante os serviços de reparo, manutenção, instalação e operação de equipamentos de refrigeração e ar condicionado. Nesse contexto destaca-se o presente estudo de caso, que faz parte dos “Projetos Demonstrativos de Melhor Contenção de HCFC-22 em Supermercados”, coordenado pelo MMA e implementado com apoio técnico da GIZ.



2 Projetos Demonstrativos

Os projetos demonstrativos de contenção de vazamentos de HCFCs em instalações de refrigeração de supermercados têm como objetivo apresentar melhorias técnicas e procedimentos de manutenção e operação que contribuam para diminuição ou eliminação dos vazamentos de HCFC-22, com o propósito de reduzir ou eliminar perdas econômicas e ambientais. Durante a implementação de cada projeto, possíveis fontes para a melhoria da eficiência energética do sistema de refrigeração dos supermercados também podem ser identificadas, revertendo-se em significativos ganhos adicionais.

Estes projetos demonstrativos monitoram e avaliam os efeitos da aplicação das boas práticas em todos os processos que envolvem a utilização dos HCFCs, incluindo o consumo de energia, com a identificação das potenciais fontes para a redução de custos fixos de operação e manutenção. O escopo prevê o aperfeiçoamento das práticas de contenção de vazamentos do HCFC-22 em três supermercados. Desta forma, o objetivo final é manter os sistemas das lojas em condições de operação "seladas", ou seja, "livres de vazamentos".

As três lojas parceiras para a implementação dos projetos demonstrativos foram:

1º Projeto: Supermercado Y.Yamada, Belém - PA (Região Norte);

2º Projeto: Supermercado Hortifruti do Campo, São Paulo - SP (Região Sudeste);

3º Projeto: Supermercado Angeloni, Balneário Camboriú - SC (Região Sul).

Nos dois primeiros projetos foram realizadas intervenções completas para redução dos vazamentos de HCFC-22, sem troca de fluido frigorífico, incluindo atividades como a visita de avaliação inicial da loja; definição de equipamentos e acessórios para aquisição; plano de trabalho; treinamento dos técnicos em boas práticas de refrigeração comercial; intervenção local; monitoramento pós-implementação; e publicação dos resultados para divulgação.

Conforme mencionado anteriormente, a diretoria do Grupo Angeloni decidiu, após a visita de avaliação e elaboração do Plano de Intervenção, realizar uma troca completa do sistema de refrigeração existente a base de HCFC-22 por um sistema subcrítico de CO₂ em cascata com o HFC-134a, oriundo de uma outra loja desativada. O CO₂ é um fluido natural com impacto ambiental consideravelmente menor do que o HCFC-22, porém essa substância possui algumas características especiais que devem ser levadas em consideração durante o desenho do sistema de refrigeração, como será abordado a seguir, no Capítulo 3.

Este estudo de caso descreve a situação prévia do supermercado Angeloni com o sistema antigo à base do HCFC-22 e as mudanças executadas para a instalação do novo sistema de refrigeração, com foco na apresentação das vantagens e desvantagens da nova instalação com o objetivo de contribuir para a implementação de projetos similares em outras lojas.

Para maior divulgação das informações constantes para todo o setor de serviços no Brasil, os três estudos de caso dos *Projetos Demonstrativos de Melhor Contenção de HCFC-22 em Supermercados*, incluindo o descrito nesta publicação, estão disponíveis para download gratuito nos seguintes websites: www.boaspraticasrefrigeracao.com.br/publicacoes e www.mma.gov.br/ozonio.



Introdução ao Sistema em Cascata com CO₂

Como este estudo de caso analisa a troca de um sistema à base de HCFC-22 por um sistema em cascata usando HFC-134a e CO₂, este capítulo fornece uma breve introdução às peculiaridades dos sistemas em cascata, com o uso do CO₂ como fluido frigorífico.

3.1 Características do CO₂

O CO₂ é um fluido natural, utilizado como fluido frigorífico no início do uso da refrigeração pela humanidade, anteriormente ao surgimento dos clorofluorcarbonos (CFCs). Ele é incolor e inodoro, não é tóxico e tampouco é inflamável, sendo classificado como fluido frigorífico do grupo de segurança A1, de acordo com a ABNT NBR 16666:2018 (ABNT, 2018b). Além disso, quando liberado para a atmosfera não agride a Camada de Ozônio (PDO = 0) e apresenta impacto desprezível para o sistema climático global (GWP = 1). Portanto, trata-se de uma alternativa segura e amigável ao meio ambiente para uso em sistemas de refrigeração.

Destaca-se que o CO₂ possui algumas características especiais que devem ser levadas em consideração em um sistema de refrigeração. Uma das principais diferenças em relação ao HCFC-22 e a outros fluidos frigoríficos frequentemente utilizados é a temperatura crítica: enquanto o HCFC-22 tem uma temperatura crítica de 96 °C, o CO₂ possui uma temperatura crítica de 31,1 °C. Isto significa que quando se trabalha com temperaturas superiores à temperatura crítica não existe condensação, uma vez que a transição para o estado líquido se torna impossível (variação de temperatura a pressão constante) (VAN WYLEN et al, 2013). Quando a rejeição de calor é feita acima da temperatura crítica, o sistema é chamado de “transcrítico”.

Os sistemas com CO₂ possuem alta eficiência em determinadas aplicações e são muito utilizados em regiões de clima temperado ou mais frio, devido à baixa temperatura ambiente. Entretanto, também podem ser usados de forma eficiente em climas mais quentes, quando aplicadas algumas modificações no ciclo de refrigeração, tais como: sub-resfriamento mecânico e resfriamento evaporativo (KARAMPOUR, M.; SAWALHA, S., 2018). Uma alternativa é usar um ciclo de CO₂ na parte de baixa temperatura conectado em cascata a um ciclo de refrigeração na parte de alta temperatura usando outro fluido frigorífico (de preferência com zero PDO e baixo GWP) para que o CO₂ trabalhe em condições subcríticas. A aplicação “subcrítica” (sistema em cascata) é usada na maioria das aplicações de CO₂ existentes no Brasil (MMA; GIZ, 2015d).

Outra característica do CO₂ é a sua alta pressão de trabalho. Por exemplo, o HCFC-22 tem uma pressão de saturação (manométrica) a 30 °C de 10,85 bar, enquanto para o CO₂ essa pressão é de 70,16 bar. As diferenças de pressão são fatores de segurança a serem levados em consideração para projetos, seleção de componentes e materiais, entre outros.

O CO₂ possui alta capacidade volumétrica de refrigeração. Em condições subcríticas, esta capacidade pode ser entre 5 a 8 vezes maior do que do HCFC-22. Com isso, para uma mesma capacidade frigorífica, os compressores,

tubulações e outros componentes têm um tamanho menor nos sistemas de CO₂, resultando em sistemas mais compactos e com menor carga de fluido refrigerante.

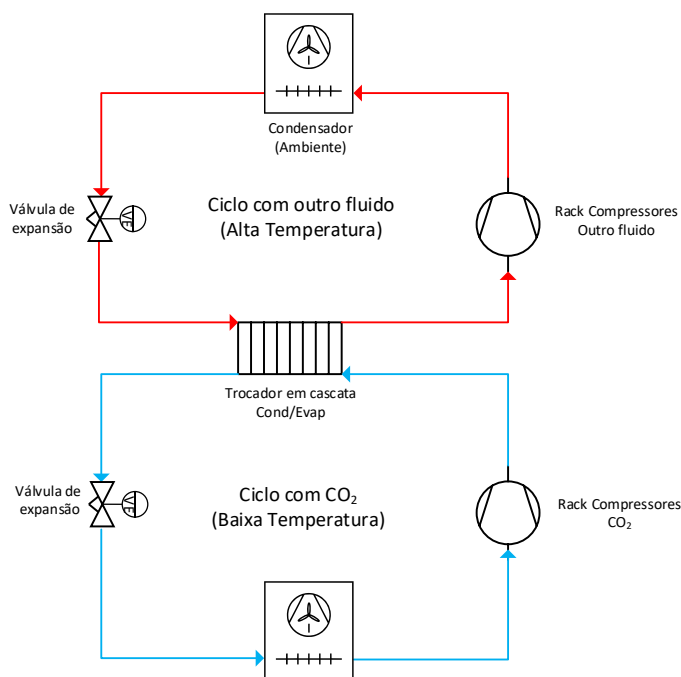
3.2 Sistema em cascata

Os sistemas em cascata são geralmente usados quando há uma diferença de temperatura elevada⁶ entre a fonte de calor (sistema de refrigeração) e o ambiente (onde se dissipa o calor). Sendo assim, um sistema de refrigeração em cascata pode aproveitar a melhor opção de fluido refrigerante para cada faixa de temperatura. Nesse sentido, o fluido natural CO₂ é geralmente usado para o regime de baixa temperatura (congelados). Para o regime de média temperatura (resfriados) existem outras opções de fluidos refrigerantes, como o HFC-134a, utilizado no Angeloni, e fluidos naturais com baixo GWP, como, por exemplo: HC-290, HC-600a, R-717, etc. (CALIFORNIA, 2019). No entanto, cada fluido refrigerante tem suas vantagens, desvantagens e restrições, que devem ser avaliadas dependendo de cada aplicação.

A Figura 1 mostra um diagrama simplificado de um sistema em cascata, onde o evaporador do CO₂ proporciona a capacidade frigorífica e o calor é dissipado ao ambiente através da conexão com outro ciclo de refrigeração (conexão do condensador de CO₂ com o evaporador do ciclo de alta temperatura). Desta forma, o CO₂ pode trabalhar em condições subcríticas, com menores pressões de trabalho.

A pressão no trocador em cascata dependerá do tipo de projeto. Para um sistema como o da Figura 1, em que o ciclo de alta temperatura só é usado para dissipar o calor no ciclo de CO₂, a pressão no trocador em cascata depende do equilíbrio entre o valor ótimo de eficiência energética e a pressão máxima de projeto no lado de CO₂.

Figura 1 – Sistema em cascata simplificado com CO₂ na parte de baixa temperatura



Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

⁶ Existem casos nos quais um ciclo de CO₂ transcrito com as modificações pertinentes é mais eficiente do que um sistema em cascata, inclusive em climas quentes. No entanto, muitas vezes, a preferência é dada ao sistema em cascata por questões de menor custo e maior simplicidade. Portanto, para cada caso, deve-se avaliar qual será a melhor opção.

Em uma aplicação real como em um supermercado, os ciclos de refrigeração geralmente são bem mais complexos do que o mostrado na Figura 1, porque em uma loja é necessário manter os produtos em diferentes temperaturas. No caso do supermercado Angeloni Balneário Camboriú, objeto deste estudo, optou-se pela instalação de um sistema com um ciclo de CO_2 para os produtos congelados, com os seus condensadores conectados a dois ciclos de HFC-134a, sendo um deles conectado aos expositores e câmaras de produtos resfriados através do ciclo de um fluido secundário, o glicol (no Capítulo 6 este tema é explanado). Neste caso, a temperatura de evaporação do sistema de alta temperatura (HFC-134a) dependerá das necessidades dos expositores de produtos resfriados.

O fluido frigorífico HFC-134a, usado no ciclo de alta temperatura do sistema em cascata do Angeloni Balneário Camboriú, possui um PDO de 0 (zero) e menor GWP que o HCFC-22, apesar do seu GWP ser de 1430, valor ainda relativamente alto (o GWP do HCFC-22 é de 1810).

Destaca-se que outros fluidos frigoríficos mais amigáveis ao meio ambiente que o HFC-134a podem ser usados no ciclo de alta temperatura, por exemplo, o fluido natural HC-290. Entretanto, cada caso precisa ser avaliado por um especialista da área de refrigeração comercial. Este profissional poderá orientar a empresa na escolha da opção de sistema/fluido frigorífico mais eficiente, para que a loja atinja a demanda frigorífica necessária com a melhor relação custo benefício, sempre seguindo as normas de segurança vigentes no País.

3.3 Segurança

Todas as instalações de refrigeração e climatização devem seguir a norma brasileira ABNT NBR 16069:2018 (ABNT, 2018a), independentemente do fluido frigorífico utilizado. Esta norma estabelece a segurança para o projeto, construção, instalação e operação de sistemas frigoríficos aplicados em refrigeração e climatização. Além de obedecer à norma, é fundamental que os técnicos e instaladores de sistemas de refrigeração sejam previamente treinados no uso seguro e eficiente do CO_2 antes de iniciar os serviços de instalação, operação e manutenção dos equipamentos.

Embora o CO_2 não seja um fluido tóxico e seja considerado “seguro” (classe de segurança A1), ele pode ocupar o volume do ar em caso de vazamento em um determinado ambiente, diminuindo a concentração de oxigênio e causando risco de asfixia. Em concentrações elevadas, o CO_2 tem efeitos narcóticos e, além disso, é um gás incolor e inodoro. Cuidado especial deve ser tomado na sala de máquinas, onde a maior parte da carga do CO_2 se encontra. O supermercado deve contar com sensores, sistema de ventilação, alarmes e seguir um protocolo de segurança para atuação em caso de alta concentração de CO_2 . Como o CO_2 tem uma densidade maior que a do ar, os sensores e exaustores devem ser colocados sempre o mais perto possível do piso.

Os ciclos de baixa temperatura nos sistemas em cascata podem trabalhar com pressões de condensação menores do que os sistemas com condensadores, trocando calor com a temperatura ambiente. Porém, quando o sistema de refrigeração é desligado, a temperatura do fluido sobe e atinge a temperatura ambiente. Deste modo, o CO_2 pode superar os 80 bar em climas quentes quando o sistema é desligado. Por segurança, existem diferentes soluções para evitar que pressões no sistema de CO_2 passem a ser um risco para a integridade de componentes e pessoas, tais como (DANFOSS, 2009):

- Sistema de refrigeração auxiliar: em caso de parada do sistema de CO_2 , um sistema auxiliar mantém o CO_2 frio no tanque de líquido (não funciona com falta de energia);
- Válvula de alívio: em caso de aumento de pressão, uma parte de CO_2 é liberada ao ambiente. Ao sair

CO₂, parte do líquido no sistema evaporará, esfriará o CO₂, e diminuirá a pressão. Trata-se de um sistema simples, mas parte do CO₂ é liberada para o ambiente (sistema usado pela loja Angeloni Balneário Camboriú);

- Depósito de expansão: em caso de aumento de pressão, uma parte do CO₂ é lançada para um depósito especial. Este sistema é mais caro. Contudo, não libera CO₂ para o ambiente.

Normalmente, a solução de liberar o CO₂ para o ambiente é a mais utilizada, devido ao baixo preço da substância e ao seu baixo impacto ambiental.

Quando utilizadas válvulas de alívio, o posicionamento deve obedecer às normas de segurança vigentes. A norma EN 378:2016 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARTIZATION, 2016) oferece orientações de como selecionar e posicionar válvulas de alívio. Cabe salientar que, devido às características do CO₂, não é recomendável o uso de válvulas de alívio nas linhas de líquido. O ponto triplo⁷ é mais alto (5,2 bar), em relação a outros fluidos frigoríficos, e a descarga do CO₂ líquido em qualquer ambiente com menos de 5,2 bar pode produzir grandes quantidades de gelo seco (partículas), podendo obstruir as válvulas.

⁷ O ponto triplo é aquele onde coexistem as três fases: sólido, gás e líquido (MORAN et al, 2018).



4 Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos de execução dos projetos demonstrativos, com ênfase na estanqueidade dos sistemas de refrigeração comercial, contaram com o conhecimento e a experiência internacional da GIZ na área de refrigeração, para orientação e implementação das atividades, sempre sob a coordenação do governo brasileiro, por meio do MMA. Esses procedimentos envolveram etapas como: processo de seleção da loja; formalização da parceria com a empresa beneficiária; visita de avaliação; definição de equipamentos e acessórios para aquisição; plano de trabalho; ações no local; monitoramento pós-implementação; e publicação dos resultados para divulgação. No caso da loja Angeloni Balneário Camboriú, não foi implementada a intervenção local, como ocorreu nos dois primeiros projetos demonstrativos (em São Paulo e Belém), mas em termos de ações locais foi realizado monitoramento da instalação desde sua operação com HCFC-22 até a operação com o novo sistema de refrigeração à base de CO₂ e HFC-134a.

A seleção das lojas participantes dos projetos demonstrativos aconteceu por meio de um processo seletivo, realizado em estreita cooperação com a Associação Brasileira de Supermercados (Abras), e levando em conta critérios como tecnologia utilizada, tamanho, idade e localização da loja, entre outros.

A proposta foi desenvolver o projeto em diferentes regiões do País e em modelos de lojas que se adequassem aos critérios previamente estabelecidos para a produção de resultados satisfatórios ao projeto.

Ao demonstrar a viabilidade e os benefícios das atividades desenvolvidas, o propósito desses projetos demonstrativos é motivar, a partir da comprovação dos resultados e benefícios, outras empresas do setor supermercadista para que sigam os mesmos procedimentos e as boas práticas demonstradas nesta publicação, e assim viabilizem melhorias em seus sistemas.

Concomitantemente à seleção das lojas, foram estabelecidas parcerias para a definição das obrigações e responsabilidades das partes envolvidas (GIZ e empresa beneficiária).

Todos os processos descritos neste terceiro projeto demonstrativo, cujo estudo de caso é objeto desta publicação, foram realizados em cooperação com a diretoria do supermercado Angeloni e com apoio dos gestores da loja Angeloni Balneário Camboriú, localizada no estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil.

A seguir, são apresentadas as etapas de implementação e os equipamentos utilizados na loja. Nos próximos capítulos são apresentadas a análise do sistema antigo à base de HCFC-22, as mudanças no sistema de refrigeração realizadas pela loja e os resultados obtidos.

4.1 Etapas de implementação

As etapas de implementação executadas pelo supermercado Angeloni são distintas dos outros dois projetos demonstrativos realizados, pois foi realizada a troca completa do sistema de refrigeração, substituindo o sistema de HCFC-22 por um sistema em cascata utilizando HFC-134a e CO₂. Consequentemente, o projeto demonstrativo na loja Angeloni Balneário Camboriú seguiu os seguintes passos de implementação:

1 Realização de **análises técnicas iniciais** para verificação do estado e das condições de funcionamento dos equipamentos de refrigeração do sistema com HCFC-22, incluindo atividades, tais como: entrevista com a equipe técnica responsável pela operação; ajuste de documentação e projetos do sistema; inspeção visual, documentação fotográfica e termográfica da instalação; medição de temperatura e pressões em expositores e casa de máquinas; localização de pontos de vazamentos de fluido frigorífico por meio de detectores eletrônicos de gases halogenados, entre outros;

2 Realização de diagnóstico para **identificação dos problemas que provocam os vazamentos e a perda da eficiência** dos equipamentos, incluindo monitoramento do consumo de fluido frigorífico, energia elétrica e desempenho termodinâmico do sistema, conforme descrito no Capítulo 4. O monitoramento foi realizado em estreita cooperação com a administração do supermercado e as equipes técnicas da loja e da GIZ, sendo que os métodos de registro praticados referente ao consumo de fluido frigorífico e atividades de manutenção e reparo foram verificados e aprimorados;

3 **Discussão pelas equipes técnicas do supermercado e da GIZ**, definindo as atividades para corrigir os problemas identificados, seguindo as características gerais de sistemas em condições seladas, entre outras:

- Evitar conexões mecânicas de flange manual nas válvulas de expansão, válvulas solenoides, filtros, filtros secadores, entre outros componentes;
- Utilizar sempre que possível conexões brasadas. Caso contrário, uma boa alternativa são as conexões com componentes de pressão ou flanges de fabricação industrial;
- Evitar vibração do sistema por meio de fixação adequada da tubulação e componentes;
- Quando necessário, utilizar amortecedores de vibração;
- Facilitar acesso à tubulação;
- Utilizar tubos de processo termoplásticos e juntas e conectores industrializados;
- Utilizar vasos de pressão, tais como: tanques de líquido, separadores e acumuladores, válvulas de segurança, válvulas unidirecionais e dispositivo de contrapressão em condições seguras e com tecnologia mais recente;
- Aplicar válvulas de segurança independentes de contrapressão⁸, sempre que possível;
- Manter equipamentos e componentes livres de corrosão e formação de gelo;
- Manter o isolamento adequado dos tubos;
- Fazer manutenção preventiva do sistema de refrigeração e controlar regularmente os vazamentos;
- Recarregar o sistema somente quando houver um vazamento identificado e reparado;
- Atualizar de forma contínua o livro de registros do sistema (descrição de reparos, consumo de fluidos frigoríficos, uso de peças de reposição, etc.);
- Manter a documentação técnica do sistema de refrigeração disponível.

8 Válvulas de segurança que liberam o fluido frigorífico para outro local do sistema de refrigeração submetida a pressão diferente.

Essas recomendações foram realizadas depois da realização da visita inicial e das medições com o equipamento *Climacheck* e são importantes de serem destacadas, mesmo com a troca de sistema ocorrida posteriormente.

Registra-se também que antes da troca do sistema na loja Angeloni Balneário Camboriú houve treinamento dos colaboradores da loja para uso seguro de CO₂, promovido pelo fornecedor da tecnologia, a empresa Eletrofrío;

4 Realização de **análises técnicas** para verificação do estado e das condições de funcionamento dos equipamentos de refrigeração com o novo sistema de refrigeração em cascata (HFC-134a e CO₂), incluindo o monitoramento do consumo de fluido frigorífico, energia elétrica e desempenho termodinâmico do sistema;

5 **Avaliação técnica final** e identificação dos resultados alcançados, por meio da comparação dos dados de consumo de fluido frigorífico e do desempenho termodinâmico do sistema (antes e depois da troca do sistema de refrigeração).

4.2 Equipamentos e ferramentas

Os principais equipamentos e ferramentas de medição e de monitoramento utilizados durante a implementação do projeto demonstrativo são apresentados a seguir.

4.2.1 Dataloggers de temperatura

Para efeito de comparação das temperaturas pré e pós-intervenção, as medições de temperatura no ambiente dos expositores foram realizadas por meio de *dataloggers* registradores com resolução de 0,1 °C (modelo EBRO EBI 20), conforme Figura 2. O período de medições para este trabalho foi de 48 horas.

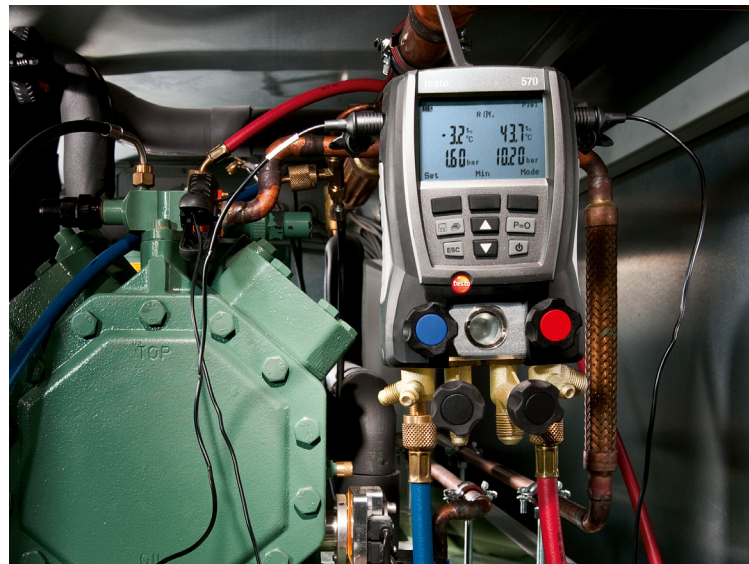
Figura 2 – Exemplo de *datalogger* de temperatura



4.2.2 *Manifold* digital

Nas medições de pressões e temperaturas de operação do sistema de refrigeração, para fins de transferência de fluido frigorífico e para a evacuação do sistema, foi utilizado *manifold* digital de quatro vias (Modelo Testo 570), conforme Figura 3.

Figura 3 – Exemplo de *manifold* digital



Fonte: Testo (Cortesia)

4.2.3 Câmera termográfica

A câmera termográfica (modelo Testo 870), apresentada na Figura 4, foi utilizada para realizar avaliações comparativas para a detecção de incongruências em válvulas de expansão, efeito de superlotação de alimentos em expositores, deficiência do isolamento térmico em trechos de tubulação e pontos com eventuais vazamentos.

Figura 4 – Exemplo de câmera termográfica



Fonte: Testo (Cortesia)

4.2.4 Detector eletrônico de gases halogenados

Para localização de microvazamentos no sistema de refrigeração foi utilizado detector eletrônico de gases halogenados (modelo *Inficon D-Tek Select*) com sensibilidade de 3 gramas por ano, conforme Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de detector eletrônico de gases halogenados



Fonte: *Inficon* (Cortesia)

Para confirmar se o desempenho do detector de gás estava conforme o esperado, foi realizado teste para calibração do equipamento. A calibração, antes de cada uso, é feita a partir de um equipamento de vazamento de referência de 5 gramas/ano (modelo *Inficon TekCheck 134a*), conforme Figura 6.

Figura 6 – Exemplo de vazamento de referência



Fonte: *Inficon* (Cortesia)

4.2.5 Detector eletrônico de dióxido de carbono

Para localização de microvazamentos no sistema de refrigeração foi utilizado detector de dióxido de carbono (modelo *Inficon D-Tek CO₂*) com sensibilidade de 5 gramas/ano, conforme Figura 7.

Figura 7 – Exemplo de detector eletrônico de dióxido de carbono



4.2.6 Analisador de gases

Para identificação do tipo de fluido frigorífico presente no sistema de refrigeração foi utilizado o analisador de gases (modelo *Neutronics RI 700H*), conforme Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de analisador de gases



4.2.7 Climacheck

O equipamento *Climacheck*, apresentado na Figura 9, baseia-se cientificamente na avaliação termodinâmica dos dados medidos com conexão de dez pontos de medição para um circuito. Os dados são coletados e usados para cálculos e análise. O equipamento *Climacheck* oferece resultados e informações (CLIMACHECK, 2017), como, por exemplo:

- Capacidade de refrigeração e aquecimento (kW);
- Coeficiente de Performance (COP) — Índice de Eficiência de Energia (EER);
- Eficiência isentrópica do compressor;
- Eficiência do condensador;
- Eficiência do evaporador;
- Entrada de energia elétrica;
- Taxas de fluxo de ar/água;
- Valores de superaquecimento/sub-resfriamento;
- Indicação de excesso ou carga de frigorífico inadequada.

Com o equipamento *Climacheck* foram realizadas no supermercado Angeloni Balneário Camboriú as seguintes medições, no sistema de alta temperatura:

- Medição de temperaturas na entrada (sucção) de gás dos compressores com sensor do tipo Termopar;
- Medição de temperaturas na saída (descarga) de gás do compressor com sensor do tipo Termopar;
- Medição de temperaturas na saída de líquido do condensador com sensor do tipo Termopar;
- Medição de pressão de baixa na entrada do compressor;
- Medição de pressão de alta na saída do compressor;
- Medição de temperatura de ar na entrada do condensador;
- Medição de temperatura de ar na saída do condensador;
- Medição de corrente e tensão em cada fase do compressor.

Os dados obtidos no *Climacheck* foram armazenados em nuvem no site *Climacheck Online* (CLIMACHECK SWEDEN AB, 2010), sendo posteriormente interpretados na plataforma Windows.

Figura 9 – Equipamento *Climacheck*



Fonte: Kühlenanalyse/Climacheck (Cortesia)

4.3 Sistema Pró-Ozônio

O monitoramento dos dados de consumo de fluido frigorífico foi realizado por meio do sistema de documentação online Pró-Ozônio, que foi criado e implantado no âmbito do Projeto para o Setor de Serviços do PBH. O sistema funciona como um livro de registros digital. Todos os dados relacionados ao recolhimento e à carga de fluido frigorífico no sistema foram registrados no Pró-Ozônio, o que viabilizou a documentação e, portanto, gerou um melhor controle sobre o consumo dos fluidos frigoríficos e dos custos envolvidos. Além disso, o sistema também apoia os seus usuários no gerenciamento e documentação de atividades regulares de manutenção e reparo.

O Pró-Ozônio está disponível de forma gratuita no website: www.ozoniohfc.com.br (ver Figura 10). Os direitos de todos os usuários estão protegidos, bem como a segurança de dados e o pleno acesso à gestão de dados pessoais.

Figura 10 – Tela inicial do Pró-Ozônio



5

Projeto Demonstrativo

Angeloni Balneário Camboriú

Parte 1: Pré-intervenção no circuito de HCFC-22

A Parte 1 deste estudo de caso descreve as atividades realizadas no sistema de refrigeração do supermercado Angeloni Balneário Camboriú (SC), que trabalhou com o HCFC-22 desde 1999 até a sua substituição por um sistema em cascata em 2016.

A loja possui uma área de vendas de aproximadamente 3.750 m² e 24 *checkouts*. A fachada da loja é ilustrada na Figura 11.

Em setembro de 2015 ocorreu a primeira visita da equipe da GIZ para a verificação inicial do sistema e planejamento das adequações necessárias. Nesta visita foram realizadas as medições para definição das alterações e melhorias.

Figura 11 – Fachada da loja Angeloni Balneário Camboriú



Fonte: Angeloni Balneário Camboriú (SC)

5.1 Descrição do sistema de refrigeração com HCFC-22

O sistema de refrigeração do supermercado Angeloni Balneário Camboriú (SC) é composto por um sistema de baixa temperatura (BT) para produtos congelados e outro de média temperatura (MT) para produtos resfriados. Os dois sistemas de refrigeração, antes da implementação das mudanças, usavam HCFC- 22 como fluido frigorífico, com uma carga total de aproximadamente 650 kg.

Antes da mudança, o sistema de refrigeração possuía três compressores do tipo semi-hermético em paralelo para o regime de resfriados e quatro compressores semi-herméticos para o regime de congelados. Os Anexos 1 e 2 retratam os diagramas esquemáticos detalhados (PIDs) dos sistemas de refrigeração, de média e baixa temperaturas, respectivamente, e mostram a lista completa dos componentes.

5.1.1 Composição do sistema de média temperatura para produtos resfriados

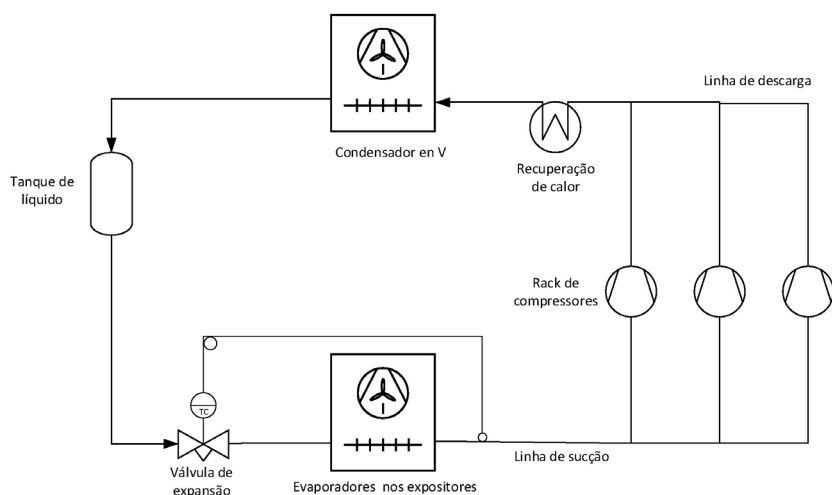
A Figura 12 mostra o esquema simplificado do circuito de média temperatura (MT) para produtos resfriados, que foi instalado em 1999. Ele era composto por três compressores do modelo *Discus Copeland* trifásicos (380V), que trabalhavam em paralelo (Rack MT, ver Figura 13), como segue:

- 1) Vdi 1 - *Copeland* D6DJ3- 4000 AWX
- 2) Vdi 2 - *Copeland* D6DJ5- 4000 AWX
- 3) Vdi 3 - *Copeland* D6DH5-3500 AWX

A tecnologia *Discus* oferece um bom nível de eficiência energética e um grande pacote operacional em comparação com os compressores de válvulas “reed” tradicionais.

O circuito de MT incorpora um sistema de recuperação de calor antes do condensador, que aquece um pequeno tanque de água entre 45 °C e 50 °C. Segundo a equipe do supermercado, a água era usada à época apenas para abastecer os banheiros. Nesta situação, a maior parte do calor era rejeitada pelo condensador localizado no telhado. Tratava-se de condensador com 6 ventiladores e spray de água. O evaporador era colocado diretamente nos expositores e câmaras refrigerados.

Figura 12 – Esquema simplificado do sistema de resfriados utilizando HCFC-22



Fonte: Miquel Pitarch (*HEAT GmbH*)

Figura 13 – Rack de compressores para o regime de resfriados utilizando HCFC-22



5.1.2 Composição do sistema de baixa temperatura para produtos congelados

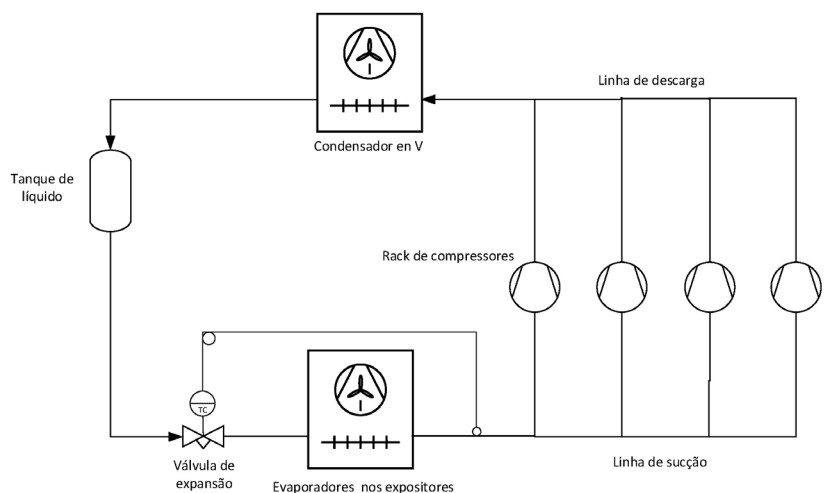
A Figura 14 mostra o esquema simplificado do circuito de baixa temperatura (BT) para produtos congelados, que também foi construído em 1999. Para alcançar os requisitos de capacidade em baixas temperaturas de evaporação, o circuito BT utilizava quatro compressores modelo *Discus Copeland* trifásicos (380V) trabalhando em paralelo (Rack BT, ver Figura 15), como segue:

- 1) Vdi 1 - *Copeland* D6DT5- 3200 AWX
- 2) Vdi 2 - *Copeland* D6DT3- 3200 AWX
- 3) Vdi 3 - *Copeland* D6DT3- 3200 AWX
- 4) Vdi 4 - *Copeland* D6DL5- 2700 AWX

Devido ao nível de temperatura a ser superado e ao fluido frigorífico utilizado (HCFC-22), cada um desses compressores possuía um sistema de refrigeração por ar (ventilador) no cabeçote. Os modelos de compressores do ciclo de BT são especialmente desenhados para trabalhar com temperaturas de evaporação de até -50°C .

O condensador estava instalado no telhado. Tratava-se de um condensador refrigerado a ar em “V” com dois ventiladores e spray d’água. O evaporador era colocado diretamente nos expositores refrigerados.

Figura 14 – Esquema simplificado do sistema de congelados utilizando HCFC-22



Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

Figura 15 – Rack de compressores para o regime de congelados utilizando HCFC-22



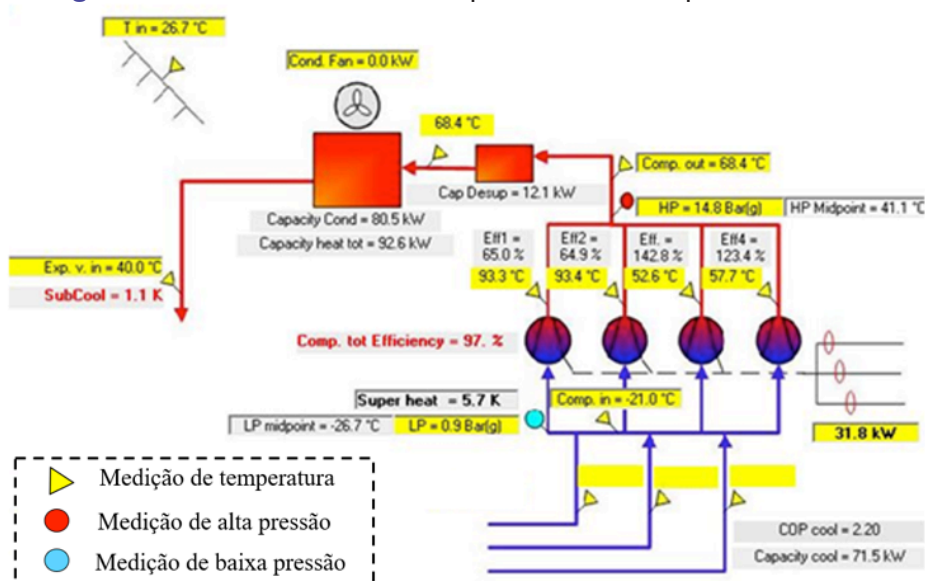
5.2 Levantamento de dados paramétricos

O processo de levantamento de dados paramétricos é descrito a seguir.

5.2.1 Medições no circuito de refrigeração

O equipamento *Climacheck* realiza medições em pontos estratégicos do circuito de refrigeração para a análise termodinâmica e energética. Os dados de temperatura, pressão e potência consumida são armazenados e enviados para um servidor, podendo ser visualizados de forma remota, *online*. A Figura 16 mostra um exemplo do ciclo de BT com os pontos medidos: os triângulos amarelos são pontos de medição de temperatura, o círculo azul claro é o ponto de medição de baixa pressão e o círculo vermelho é o ponto de medição de alta pressão. A potência é medida por meio da voltagem e da corrente na linha elétrica.

Figura 16 – Ciclo de BT com os pontos medidos pelo *Climacheck*



Fonte: *Climacheck online*

A Tabela 1 apresenta as propriedades medidas (valores médios), por meio do equipamento *Climacheck*, no ciclo MT e BT durante os primeiros dias de setembro de 2015.

Tabela 1 – Propriedades medidas e calculadas do ciclo de resfriados e congelados (sistema com HCFC-22)

Propriedades	Dados MT	Dados BT
Pressão manométrica de alta (bar)	13,26	13,22
Temperatura de condensação relativa à alta pressão (°C)	37,1	37
Pressão manométrica de baixa (bar)	2,30	0,47
Temperatura de evaporação relativa à baixa pressão (°C)	-12,1	-32,4
Temperatura de sucção (°C)	12,5	-5,7
Superaquecimento total (K)	24,6	26,7
Temperatura de descarga (°C)	106,5	120,5
Temperatura pré-expansão (°C)	36,2	34,7
Sub-resfriamento total (K)	0,9	2,2

Fonte: Miquel Pitarch (*HEAT GmbH*)

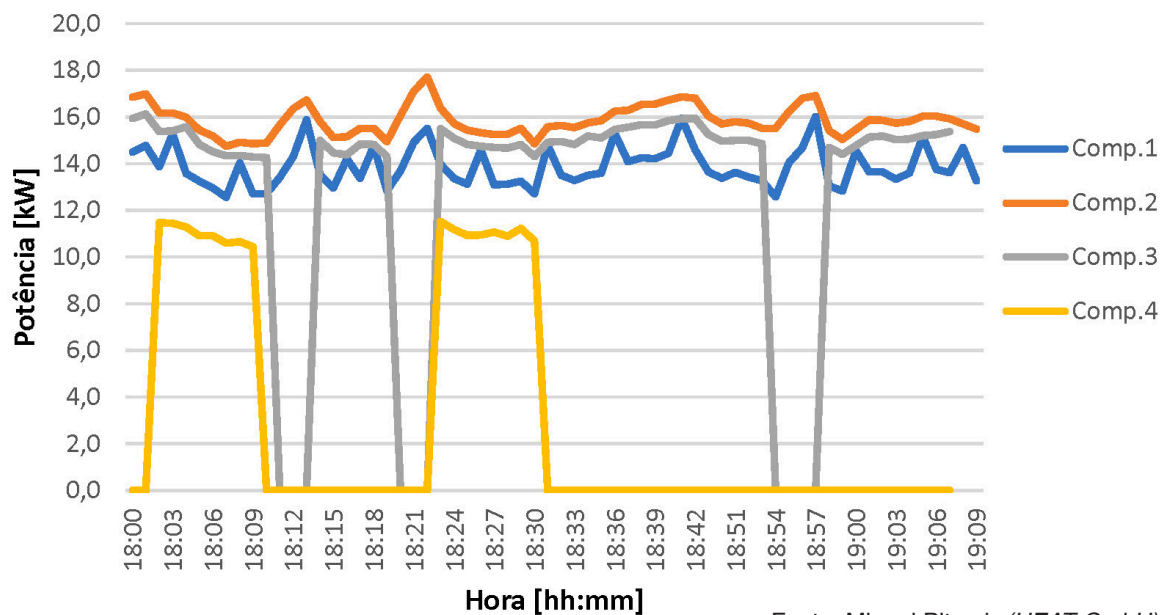
Nota-se que o valor do sub-resfriamento está abaixo dos valores recomendados, sendo 3 K o valor mínimo necessário para evitar evaporação do fluido na pré-expansão (MORAN et al, 2018). Isso indica que o sistema poderia apresentar falta de carga devido ao vazamento contínuo de HCFC-22. A baixa carga pode causar bolhas na entrada da válvula de expansão (pré-expansão, indicada pelo baixo sub-resfriamento), provocando instabilidade no controle da pressão e temperaturas de evaporação mais baixas do que as necessárias, diminuindo assim a eficiência do sistema.

A temperatura de descarga do ciclo de BT ultrapassa a máxima recomendada de 120 °C. Altas temperaturas podem causar carbonização do óleo e formação de ácido na presença de umidade, levando ao envelhecimento prematuro e à falha dos compressores.

5.2.2 Compressores

A Figura 17 mostra a potência consumida pelos quatro compressores no ciclo de BT. Tanto os compressores de MT como os de BT controlam a carga de refrigeração com o liga-desliga de alguns dos compressores em paralelo. Compressores com frequentes liga-desliga resultam em uma menor eficiência e menor vida útil. Já os compressores de velocidade variável oferecem um ajuste melhor à capacidade frigorífica.

Figura 17 – Potência consumida pelos 4 compressores no ciclo de BT (HCFC-22)



Neste caso, o tempo de funcionamento dos compressores depende da demanda frigorífica dos expositores e das condições das temperaturas de evaporação e condensação.

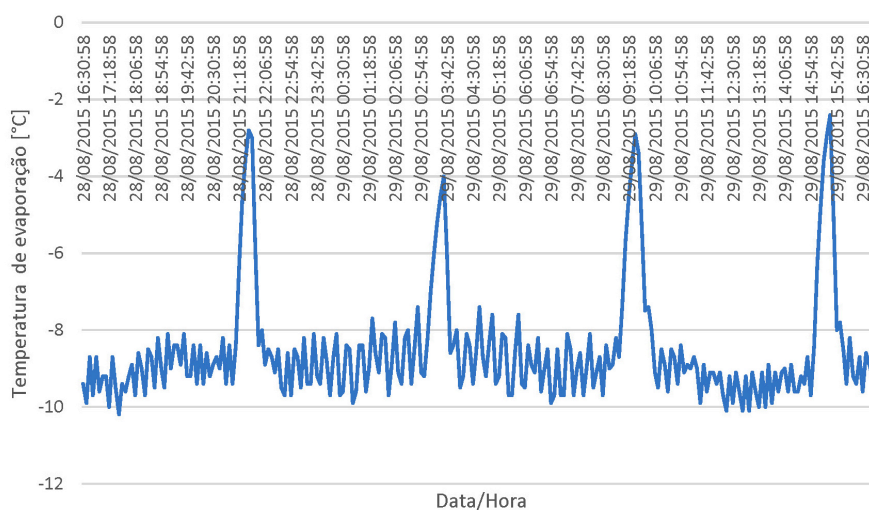
Destaca-se que nos sistemas com compressores em paralelo, deve ser dada atenção especial à distribuição de óleo entre os compressores para aumentar a sua vida útil.

5.2.3 Degelo

O correto controle do degelo nos evaporadores também é um fator importante. Se ciclos de degelo ocorrerem mais frequentemente do que o necessário, o sistema desperdiça energia elétrica. Por outro lado, se acontecerem em períodos menos frequentes do que o necessário, os evaporadores podem ficar cobertos por gelo, diminuindo a transferência de calor e aumentando o consumo de energia elétrica.

A Figura 18 apresenta a temperatura no evaporador do expositor E18 do sistema de resfriados (MT), que ficava mais afastado da casa de máquinas. Nela, é possível observar um pico de -3°C na temperatura de evaporação deste expositor, devido à entrada do ciclo de degelo. Este expositor entrava em degelo entre quatro e cinco vezes por dia, com uma duração de aproximadamente 40 minutos para cada ciclo.

O número de degelos diários recomendados pode variar dependendo da aplicação e das condições de funcionamento, porém normalmente não se recomenda a realização de mais de quatro degelos por dia.

Figura 18 – Temperatura de evaporação do móvel E18

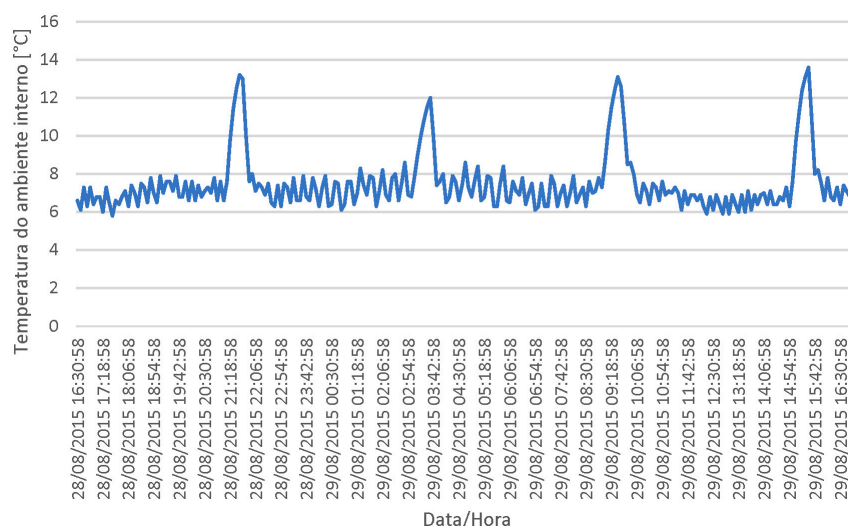
Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

Foram encontrados alguns expositores com degelo inefficiente, causando o acúmulo de gelo em evaporadores, conforme detalhado no Capítulo 5.4.3.

5.2.4 Temperaturas em expositores, câmaras e salas de preparo

Na Figura 19 é mostrada a variação de temperatura do ambiente interno do expositor de produtos resfriados E18, que estava localizado em um ponto mais distante da sala de máquinas na loja. A temperatura do produto era de aproximadamente 7,5 °C e podia aumentar até 13,5 °C durante o degelo. A temperatura ideal para conservação de laticínios é entre 4 °C a 6 °C, conforme norma ABNT NBR 16255:2013 (ABNT, 2013). Portanto, apesar da temperatura no evaporador girar em torno de -9 °C (ver Figura 18), a temperatura dos produtos estava acima do recomendado, provavelmente devido à disposição inadequada dos alimentos (ver Figura 20).

A disposição inadequada dos alimentos no expositor de resfriados dificulta o retorno de ar ao evaporador e a circulação de ar entre os produtos, elevando assim a temperatura dos produtos.

Figura 19 – Temperatura do ambiente interno do móvel E18

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

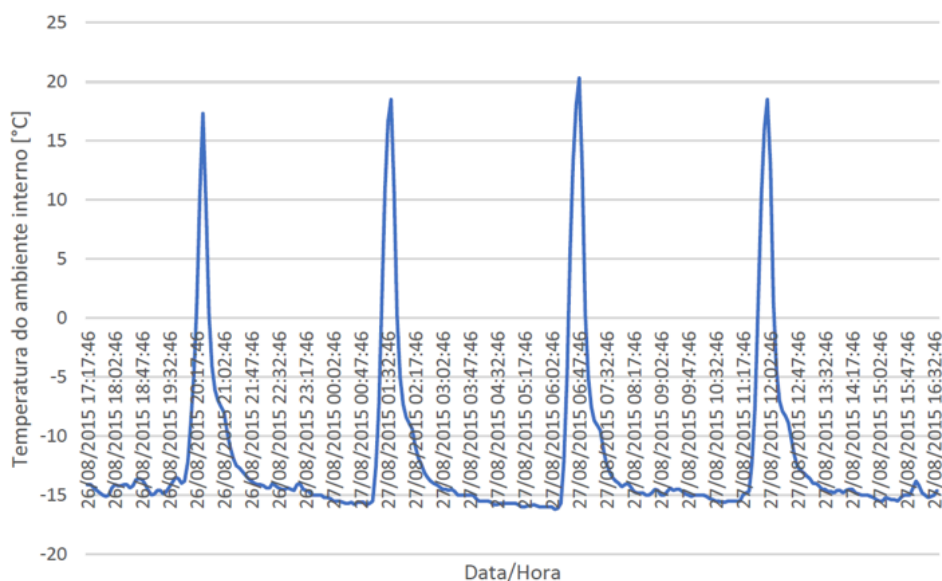
Figura 20 – Foto ilustrando a disposição dos produtos no móvel E18



Na Figura 21 é mostrada a variação de temperatura do ambiente interno do expositor para produtos congelados M03, que também estava localizado na loja em um ponto mais distante da casa de máquinas. A temperatura do produto é de aproximadamente -15°C , podendo aumentar até 18°C durante o degelo. A temperatura mínima recomendada para conservação de alimentos congelados é -15°C , conforme norma ABNT NBR 16255:2013 (ABNT, 2013). Mesmo que na maior parte do tempo a temperatura estivesse perto dos -15°C , o aumento de temperatura durante o degelo foi de aproximadamente 30 K.

As altas temperaturas indicam que existia algum tipo de problema em relação ao procedimento de degelo, por exemplo, pode ser que não havia desligamento dos ventiladores dos evaporadores durante o período de degelo.

Figura 21 – Temperatura do ambiente interno do móvel M03



Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

5.2.5 Análise do fluido frigorífico utilizado no sistema

A análise do fluido frigorífico HCFC-22 existente no sistema foi realizada por meio de analisador de gases (*Neutronics RI 700H*). Como apresentado na Figura 22, verificou-se à época que o sistema estava com 93,7% de HCFC-22 e 6,3% de HFC-410A. Apesar do fluido frigorífico utilizado no sistema de refrigeração, o HCFC-22, conter uma pequena parcela de HFC-410A, a quantidade apontada, de 6,3%, não foi considerada um fator crítico para o sistema. Contudo, ressalta-se a importância de utilizar fluidos frigoríficos de empresas idôneas, que comercializam fluidos puros, sem contaminação.

Além disso, a amostra apontou 5,4% de ar, maior que a referência padrão para amostra de fluidos contaminados, conforme ABNT NBR 16667/2017, em 3% (ABNT, 2017). A presença de ar no sistema reduz o desempenho do ciclo de refrigeração.

Uma das possíveis causas de contaminação de fluidos pode ter como origem o inadequado procedimento de vácuo do sistema, possibilitando entrada de ar pelos orifícios (pontos de vazamentos), antes da introdução de um novo fluido frigorífico.

Figura 22 – Resultados das análises das amostras de HCFC-22



Fonte: Miquel Pitarch (*HEAT GmbH*)

5.2.6 Vazamento do fluido frigorífico

Conforme indicado no Capítulo 5.2.1, o sub-resfriamento estava um pouco abaixo do recomendado, podendo indicar falta de carga de fluido frigorífico no sistema. Os contínuos vazamentos são as causas mais comuns para a falta de carga. Se o fluido frigorífico vazado não for recarregado a tempo, o sistema sofrerá as consequências de um sistema com carga baixa, ou seja, menor eficiência e menor estabilidade.

A Tabela 2 apresenta a quantidade de HCFC-22 recarregada pela loja durante os anos 2014 e 2015 para os ciclos de MT e BT. A taxa média de vazamento anual em 2014 foi de 112,9% em relação à carga instalada⁹, e em 2015 foi de 64,8%. Em relação ao impacto ambiental pelas emissões diretas do HCFC-22 registra-se:

- 31,77 kg de PDO anuais (média);
- Mais de 1 tonelada de CO₂ equivalente anual (média).

Além disso, os vazamentos frequentes no sistema provocavam diminuição da vida útil dos componentes e perdas financeiras com a compra constante de fluido frigorífico. Em 2015, esses gastos foram de cerca de R\$ 28.885,00/ano (valor¹⁰ em torno de R\$ 50,00 por kg de HCFC-22).

No Capítulo 5.4 detalham-se alguns dos pontos críticos identificados, que provocavam os vazamentos frequentes de fluidos frigoríficos na loja, antes da troca do sistema.

Tabela 2 - Consumo de fluido frigorífico HCFC-22 em 2014 e 2015 em kg por mês

Mês	2014 (kg)	2015 (kg)
Janeiro	272,0	68,0
Fevereiro	68,0	136,0
Março	0,0	13,6
Abril	0,0	204,0
Maio	122,4	0,0
Junho	122,4	0,0
Julho	54,4	0,0
Agosto	0,0	0,0
Setembro	27,2	0,0
Outubro	0,0	0,0
Novembro	68,0	0,0
Dezembro	0,0	0,0
Total	734,4	421,0

Fonte: Angeloni Balneário Camboriú (SC)

⁹ A carga instalada na loja era de aproximadamente 650 kg.

¹⁰ Informação disponível em: https://www.eletrofrigor.com.br/gas-r22-refrigerant-dac-13-600-kg.html?gclid=Cj0KCQjwn8_mBRCLARIsAKxi0GK4Jli1xp8XVJedrC8ORzMjffTYpUKaFr_usB-FSBxNaGDqd8iLvNlaAikXEALw_wcB. Acesso em 10 de novembro de 2019.

5.3 Regime de operação

A Tabela 3 apresenta os dados de potência, capacidade frigorífica e capacidade calorífica (calor rejeitado nos condensadores) para cada um dos compressores segundo dados de catálogo do fabricante (ver Figura 23). Os valores apresentados na Tabela 3 foram intercalados para oferecer os resultados na temperatura de evaporação e condensação medidos com o *Climacheck* (ver 5.2.1).

Tabela 3 – Potência, capacidade frigorífica e capacidade calorífica (calor rejeitado) para cada compressor

Compressor	Ciclo	Número de compressores	Potência [kW]	Capacidade frigorífica [kW]	Capacidade calorífica [kW]
D6DT5- 3200 AWX	BT	1	15,1	22,6	37,6
D6DT3- 3200 AWX	BT	2	15,1	22,6	37,6
D6DL5- 2700 AWX	BT	1	12,5	18,3	30,8
D6DJ3- 4000 AWX	MT	1	23,1	66,0	89,0
D6DJ5- 4000 AWX	MT	1	23,1	66,0	89,0
D6DH5-3500 AWX	MT	1	19,1	56,3	75,4
Total ciclo BT	BT	4	57,7	86,1	143,7
Total ciclo MT	MT	3	65,2	188,2	253,4

Fonte: Catálogo do fabricante dos compressores - Copeland

Se todos os compressores estivessem em funcionamento, o ciclo de MT teria uma capacidade frigorífica de aproximadamente 188,2 kW e teria que rejeitar nos condensadores 253,4 kW. O ciclo de BT teria uma capacidade frigorífica de aproximadamente 86,1 kW e teria que rejeitar nos condensadores 143,7 kW.

Figura 23 – Dados de consumo de potência e capacidade frigorífica dos compressores em função das condições de temperatura no evaporador e condensador (HCFC-22)

Compressor Sprężarka Компрессор	Condensing Temp. Skraplania Температура конденсации	°C	Evaporating Temperature Temperatura parowania °C Температура кипения														
			-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	7	10	12,5
D6DJ-4000 / -400X	Q	30						40,50	51,00	63,50	78,00	95,00	114,5	136,5	146,5	162,0	176,5
		40						35,00	44,50	56,00	69,00	84,50	102,0	122,0	131,0	145,0	158,0
		50							38,00	48,00	60,00	73,50	89,00	107,0	115,0	127,5	139,0
	P	30						16,70	18,40	20,00	21,50	22,60	23,50	23,90	24,00	23,90	23,60
		40						18,50	20,70	22,80	24,80	26,60	28,20	29,40	29,80	30,20	30,50
		50							22,60	25,20	27,80	30,20	32,40	34,30	35,00	36,00	36,60
D6DT-3200 DC ⁽²⁾	Q	30	8,25	11,75	16,20	21,50	27,70	34,50	42,00								
		40		9,70	13,75	18,70	24,40	31,00	38,00								
		50			11,15	15,60	20,90	26,70	33,00								
	P	30	8,00	9,70	11,50	13,20	14,80	16,20	17,20								
		40		9,95	12,20	14,40	16,50	18,50	20,10								
		50			12,50	15,20	17,90	20,30	22,60								

Fonte: Dados do catálogo do fabricante - Copeland

5.4 Identificação dos principais pontos críticos

As visitas técnicas iniciais ao supermercado Angeloni, em Balneário Camboriú, também viabilizaram uma análise da situação física da instalação frigorífica, amparada pela aplicação do detector eletrônico de gases halogenados para identificação de microvazamentos (ver Figura 24).

Diante deste contexto, os principais pontos críticos em relação aos vazamentos de fluido frigorífico do sistema e outras deficiências foram identificados e serão descritos na sequência.

Figura 24 – Detector eletrônico de gases halogenados para identificação de microvazamentos



5.4.1 Pontos críticos de vazamento

A quantidade de recargas de HCFC-22 no sistema indicava um alto índice de vazamentos na loja (113% da carga instalada em 2014). Além disso, foi constatado o baixo nível de carga através do visor de nível de fluido frigorífico na linha de líquido (bolhas) e pelo baixo valor medido do sub-resfriamento.

Alguns dos pontos de vazamento identificados durante as visitas iniciais são apresentados a seguir:

- **Figura 25:** Sensor de pressão da bomba de óleo;
- **Figura 26:** Tampas sem *orings* adequados utilizados nas válvulas de passagem;
- **Figura 27:** Quantidade elevada de conexões por flange. Por exemplo, todas as válvulas de expansão termostáticas eram do tipo de conexão por flange → alto potencial de vazamento;
- **Figura 28:** Válvulas do tipo *Schrader* com vedação deficiente e tamponamento inadequado. Ou seja, algumas válvulas apresentavam tampas com borracha de vedação danificada por influências mecânicas e outras nem tinham tampa. Algumas tampas foram encontradas nas bandejas dos evaporadores;
- **Figura 29:** Algumas conexões brasadas também apresentavam vazamento, por exemplo, no evaporador da câmara de resfriados e no interior de alguns expositores.

Figura 25 – Sensor de pressão da bomba de óleo com vazamento

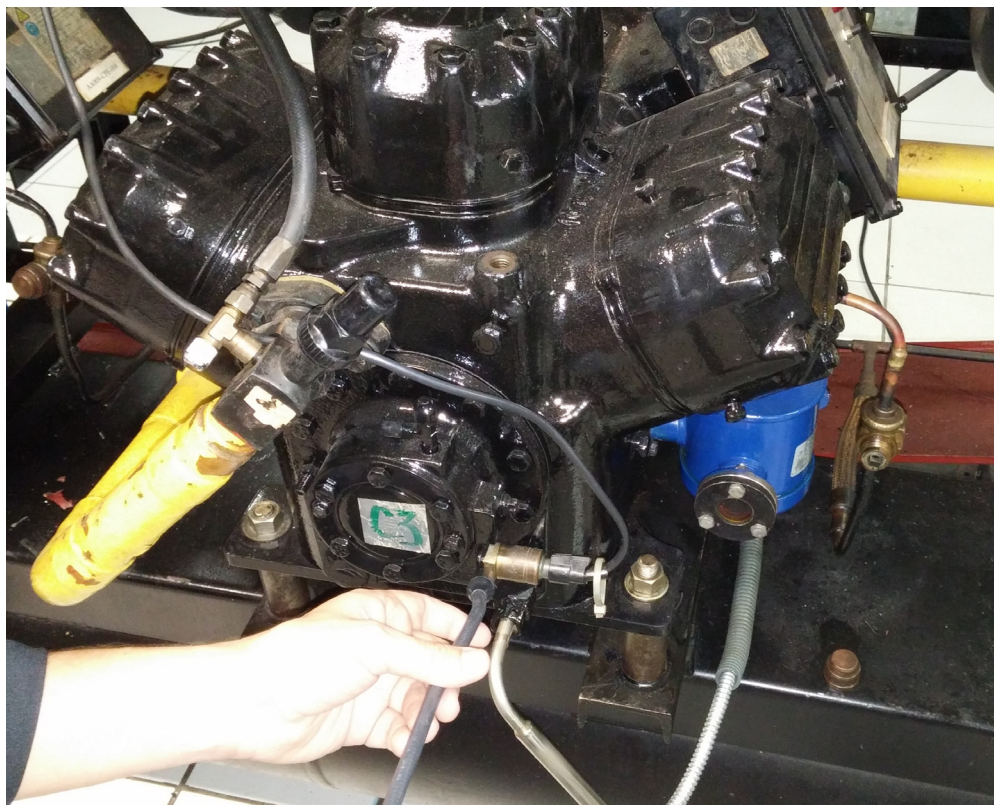


Figura 26 – Tampas sem *orings* adequados utilizados nas válvulas de passagem



Figura 27 – Quantidade elevada de conexões por flange (algumas com vazamento evidente)



Figura 28 – Válvula Schrader sem vedação com vazamento



Figura 29 – Exemplos de conexões brasadas com vazamento



5.4.2 Condensadores

As deficiências encontradas nos condensadores dos ciclos de MT e BT são apresentadas a seguir.

Condensador MT

A Figura 30 mostra o condensador para o ciclo de MT (montado sobre o telhado da loja Angeloni Balneário Camboriú) com seis ventiladores. De acordo com a equipe de manutenção, o condensador tinha sido substituído uma vez no passado. Este condensador possuía um sistema de pulverização de água para aumentar a transferência de calor, que foi instalado posteriormente no equipamento.

Os seguintes problemas foram identificados:

- As aletas do condensador estavam parcialmente calcificadas devido à pulverização com água não tratada. Outras impurezas não foram encontradas;
- Os ventiladores eram operados a uma velocidade fixa no modo liga-desliga, em frequência elevada;
- Dos seis ventiladores, somente quatro estavam em operação. Depois de examinar o diagrama de circuitos, percebeu-se que apenas quatro ventiladores podiam ser controlados. A razão para isso foi que o condensador antigo tinha apenas quatro ventiladores. Ao substituir o dispositivo, apenas quatro ventiladores foram conectados novamente.

Para manter as temperaturas de condensação baixas com quatro ventiladores, usava-se água pulverizada para aumentar a transferência de calor. Assim que quatro ventiladores entravam em operação e a pressão de condensação ainda estava aumentando, a bomba de água era ligada para a pulverização.

Figura 30 – Condensador para o ciclo de MT (HCFC-22)



Condensador BT

A Figura 31 mostra o condensador em “V” para o ciclo BT (montado sobre o telhado da loja Angeloni Balneário Camboriú) com dois ventiladores. Igualmente ao ciclo de MT, o atual condensador para BT estava substituindo um condensador mais antigo, que originalmente havia sido montado sobre as colunas de concreto visíveis na imagem. O condensador possuía um sistema de pulverização de água para aumentar a transferência de calor.

Os seguintes problemas foram identificados:

- As aletas do condensador estavam parcialmente defeituosas e calcificadas. A razão para isso era a pulverização com água não tratada. Outras impurezas não foram encontradas;
- O condensador apresentava corrosão por conta do sistema de resfriamento por água adicionado posteriormente;
- Os ventiladores eram operados a uma velocidade fixa no modo liga-desliga em frequência elevada.

Figura 31 – Condensador em “V” para o ciclo de BT (HCFC-22)



5.4.3 Evaporadores, expositores e válvulas de expansão

De forma geral, as válvulas de expansão das unidades de refrigeração estavam funcionando corretamente (ver Figura 32). As posições dos sensores de superaquecimento estavam nos locais corretos na grande maioria dos casos. Porém, por serem válvulas com conexões por tipo flange manual evidenciavam grandes possibilidades para vazamentos, sendo recomendável trocá-las por válvulas com conexões brasadas.

Figura 32 – Válvula de expansão do tipo flange manual



Alguns evaporadores apresentavam camada de gelo (ver Figura 33). A forte formação de gelo nos evaporadores pode ser causada por:

- Aquecedores de degelo com defeito, ausentes ou executados incorretamente;
- Tempos de degelo insuficientes ou muito curtos;
- Sensores de temperatura posicionados de forma incorreta.

No caso apresentado, a camada de gelo no evaporador dificultava a transferência de calor com o ar do expositor, o que afetava a distribuição ideal de ar nos expositores. Além disso, esse problema poderia estar ocasionando perda de eficiência e o fluido frigorífico em estado líquido no evaporador poderia chegar ao compressor e causar danos.

Figura 33 – Formação de camada de gelo nos evaporadores (HCFC-22)



Observa-se também que as cortinas noturnas dos expositores de refrigeração estavam parcialmente defeituosas e não eram utilizadas.

Importante destacar que, por meio do uso de cortinas noturnas, é possível programar um aumento noturno na temperatura de evaporação e, assim, aumentar a eficiência energética durante à noite. Mas deve-se verificar até que ponto o controlador do sistema suporta esta opção.

Em alguns expositores altas temperaturas foram medidas. Essas altas temperaturas podem ser explicadas principalmente pela má disposição dos alimentos, que dificultava o retorno de ar ao evaporador e a circulação de ar entre os produtos. Alguns exemplos são citados a seguir.

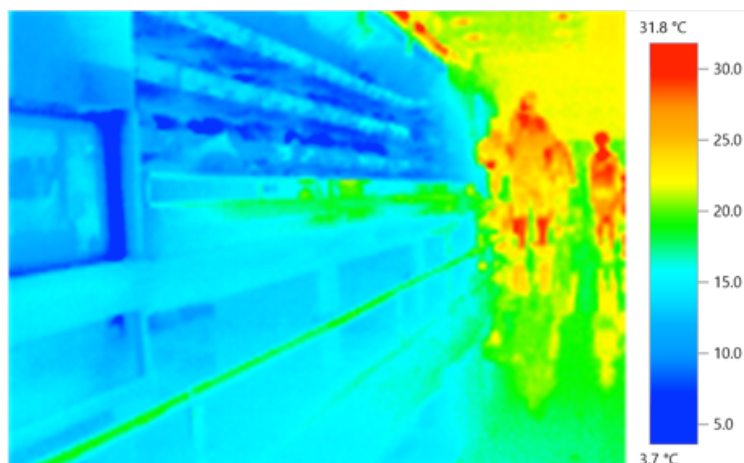
Na Figura 34.1 nota-se que no expositor de queijo havia excesso e má disposição dos produtos, o que dificultava a circulação de ar e fazia com que o ar fosse jogado para fora do expositor. Este problema aumentava a temperatura dos alimentos, com a possibilidade de perdas. Além disso, ampliava o consumo de energia elétrica. No expositor de margarina (ver Figura 34.2) também foi observado excesso de produtos. Este excesso dificultava a circulação adequada de ar (pela obstrução de retorno de ar), o que aumentava a temperatura dos produtos;

Figura 34 – Disposição no expositor de queijo e margarina



A Figura 35 mostra a termografia do expositor de laticínios. Ela evidencia que o corredor da loja junto ao expositor está mais frio, devido à perda de frio dos refrigeradores. Tudo por causa da má disposição dos alimentos nos expositores, que bloqueia a passagem para o retorno do ar.

Figura 35 – Termografia no expositor de laticínios



5.4.4 Tubulação frigorífica

Observa-se que 90% da parte visível da tubulação frigorífica apresentava, à época das visitas, condições de isolamento térmico danificadas, mostrando condensação e formação de gelo em sua maior parte. Sendo assim, estima-se que o isolamento nas áreas invisíveis também estava com defeito. O isolamento nos racks de compressores estava parcialmente defeituoso.

Do ponto de vista das boas práticas de refrigeração, em casos como esse, o isolamento térmico deveria ser renovado para minimizar a entrada de calor no tubo de sucção, que aumenta o superaquecimento e a temperatura de descarga do compressor.

Além disso, a tubulação apresentava fixação inadequada como ilustrado na Figura 36.

Figura 36 – Fixação inadequada da tubulação



5.4.5 Segurança e placas de identificação

Além dos pontos críticos de vazamentos identificados, descritos anteriormente, destaca-se que ambos os tanques de líquido estavam desatualizados em relação à norma brasileira ABNT NBR 13598:2018 de vasos de pressão para refrigeração (ABNT, 2018) e não continham as informações mínimas necessárias, tais como a pressão máxima de trabalho (ver Figura 37).

Além disso, o visor de líquido não estava projetado para a pressão de trabalho do sistema. A pressão máxima permitida para o visor era de 20 bar, sendo 25 bar o mínimo recomendável. Porém, não foram encontrados vazamentos no visor.

Por questões de segurança, o sistema não deve ser operado com estes tanques de líquido. No entanto, o sistema operava com esse defeito desde 1999. A empresa, ciente do problema, estava providenciando a substituição do sistema completo por um novo, aproveitando este momento também para a atualização dos tanques de líquido.

Em relação ao sistema, ele não possuía placa de identificação e não estavam disponíveis orientações de segurança em casos de emergência, como, por exemplo, uma breve descrição sobre como colocar o sistema fora de operação.

Figura 37 – Placa informativa dos tanques de líquido



5.4.6 Outros pontos críticos

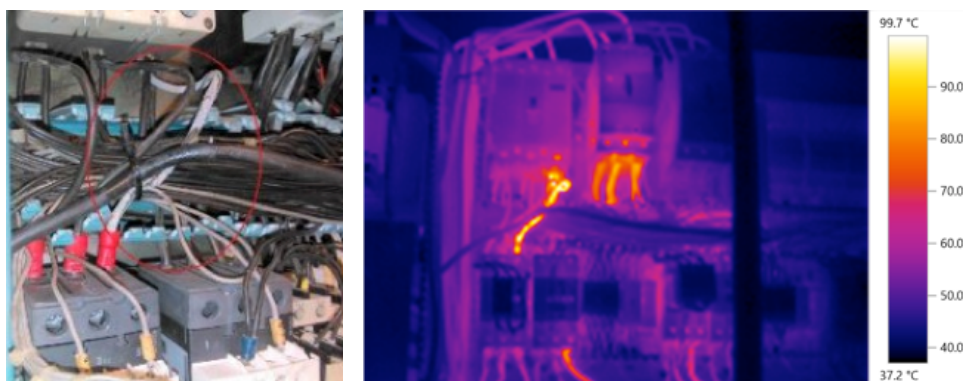
Alguns pontos do sistema apresentavam corrosão, como, por exemplo, a válvula de serviço e a carcaça do compressor apresentadas na Figura 38. Nota-se que a condição de corrosão não era aguda no momento da visita técnica.

Durante a inspeção visual do painel elétrico, notou-se também que em alguns pontos o isolamento estava fundido e até ausente. Um teste adicional dos cabos com a câmera de imagem térmica mostrou temperaturas da linha acima dos 100 °C (ver Figura 39). A equipe de manutenção da loja foi acionada imediatamente à época, pois havia um alto risco de incêndio.

Figura 38 – Válvula de serviço e carcaça do compressor apresentavam corrosão



Figura 39 – Pontos críticos do painel elétrico com imagem termográfica



5.5 Recomendações para o sistema com HCFC-22

Nos dois primeiros projetos demonstrativos em São Paulo e Belém¹¹, após a visita técnica às lojas para identificar os pontos críticos e fazer as medições do sistema, foi planejado e implementado um plano de intervenção para levar a instalação a condições seladas (vazamentos perto do zero) e melhorar a eficiência energética do sistema.

No caso particular deste terceiro projeto, na loja Angeloni Balneário Camboriú, não foi implementado o plano de ação, como informado anteriormente, dada a opção pela troca do sistema de HCFC-22 por completo por um sistema de refrigeração em cascata operando com CO₂ e HFC-134a. Independentemente deste fato, nesta parte do estudo de caso são apresentadas recomendações importantes baseadas nos dados medidos e pontos críticos observados durante as primeiras visitas. Posteriormente, o Capítulo 6 abordará uma análise do novo sistema de refrigeração em cascata.

Após a inspeção visual detalhada e medição da planta com o *Climacheck*, foram identificadas algumas possíveis ações de melhoria do sistema com HCFC-22, que valem a pena serem destacadas como aprendizado para outras lojas semelhantes, tais como:

- Diminuir as conexões mecânicas do tipo flange manual e examinar todas as conexões, verificando possíveis vazamentos;
- Substituir todos os núcleos das válvulas *Schrader* por tampas de vedação com superfície recartilhada e as borrachas de vedação por porcas sextavadas com selo de cobre;
- Eliminar todos os pontos críticos que apresentavam vazamentos, conforme detalhado no Capítulo 5;
- Aperfeiçoar as fixações de tubulação;
- Realizar a troca do óleo e dos filtros;
- Otimizar os processos de degelo;
- Verificar dispositivos de segurança;
- Revisar o painel elétrico;
- Adequar a carga do sistema para que não trabalhe com baixa carga. As bolhas podem causar o mau funcionamento das válvulas de expansão, levando a temperaturas de evaporação mais baixas e instáveis. Neste caso, pode ser colocado um sub-resfriador para garantir 100% de líquido na entrada da válvula de expansão;
- Ajustar o funcionamento dos ventiladores dos condensadores;
- Refazer os cálculos de capacidade dos condensadores e trocá-los por modelos com capacidade maior, caso necessário;
- Reparar o isolamento defeituoso;
- Aproveitar a limpeza regular dos expositores refrigerados para verificar os ventiladores dos evaporadores;
- Instalar equipamento fixo para detecção de vazamentos;
- Disponibilizar documentação técnica básica do sistema de refrigeração, como placa de identificação do sistema, ficha de emergência e livro de registro de manutenção e reparo;
- Limpar a estrutura dos racks, deixando-as livre de manchas de óleo;
- Equipar os dois racks com um sistema fixo de monitoramento *Climacheck*, a fim de evitar danos aos compressores e para contribuir para a operação energeticamente eficiente do sistema.

¹¹ Os relatórios dos dois primeiros projetos demonstrativos estão disponíveis para download gratuito nos seguintes websites: www.boaspraticasrefrigeracao.com.br/publicacoes e www.mma.gov.br/ozonio.

Embora todas essas ações fossem recomendáveis à época, devido à iminente mudança do sistema de refrigeração, algumas recomendações puderam ser realizadas no momento da substituição, como por exemplo, a renovação do isolamento térmico. O aumento na eficiência pode ser baixo em relação aos custos de substituição do isolamento em um curto espaço de tempo, pois a entrada de calor na tubulação é relativamente pequena.

Destaca-se que a renovação do isolamento térmico gera grandes custos e não pode ser feita durante a operação do sistema, já que a temperatura da tubulação está abaixo do ponto de orvalho e, portanto, está sempre molhada ou congelada.

Para mais orientações a respeito de sistemas de refrigeração com HCFC-22 e fluidos naturais, confira no website do Projeto para o Setor de Serviços do PBH (www.boaspraticasrefrigeracao.com.br/publicacoes) e no website do MMA (www.mma.gov.br/ozonio) todas as publicações elaboradas, que estão disponíveis para download gratuito, tais como:

- Treinamento e Capacitação para Boas Práticas em Sistemas de Refrigeração Comercial (MMA; GIZ, 2017);
- Guia de Boas Práticas 1 - Controle de Vazamento (MMA; GIZ, 2015a);
- Guia de Boas Práticas 2 - Características de Sistemas de Refrigeração em Condições Seladas (MMA; GIZ, 2015b);
- Guia de Boas Práticas 3 - Manutenção de Sistemas de Refrigeração (MMA; GIZ, 2015c);
- Fluidos Frigoríficos Naturais em Sistemas de Refrigeração Comercial (MMA; GIZ, 2015d).

6

Projeto Demonstrativo Angeloni Balneário Camboriú Parte 1: Pré-intervenção no circuito de HCFC-22

Em 2016 houve a completa troca do sistema de refrigeração do supermercado Angeloni Balneário Camboriú (SC). Os antigos sistemas de refrigeração para o regime de resfriados (MT) e congelados (BT), que funcionavam à base do HCFC-22, foram substituídos¹² por um sistema de refrigeração em cascata, utilizando o fluido frigorífico natural CO₂ e também o HFC-134a.

Com as alterações implantadas, entre outubro e novembro de 2017 realizou-se uma visita de monitoramento ao supermercado Angeloni Balneário Camboriú para inspeção visual e medições do novo sistema de refrigeração em cascata. De forma geral, a inspeção demonstrou que a planta estava em boas condições.

Neste Capítulo, apresentam-se as características da nova instalação do sistema de refrigeração instalado na loja Angeloni Balneário Camboriú, com o objetivo de contribuir para a implementação de projetos similares em outras lojas do País.

Cabe salientar que, mesmo que o sistema tenha sido instalado em 2016 na loja Angeloni Balneário Camboriú, o ano de sua construção foi em 2012, já que ele estava instalado em outra loja do mesmo grupo até 2016.

6.1 Descrição do sistema em cascata com CO₂ e HFC-134a

O sistema consiste em quatro ciclos interconectados, que fornecem capacidade de resfriamento para os expositores e câmaras de baixa e média temperatura. A Figura 40 mostra um esquema simplificado de todo o sistema onde podem ser observados os ciclos de refrigeração A, B, C e D. O número de elementos na imagem foi reduzido por questões de simplicidade. Um esquema mais detalhado do sistema é apresentado no Anexo 3.

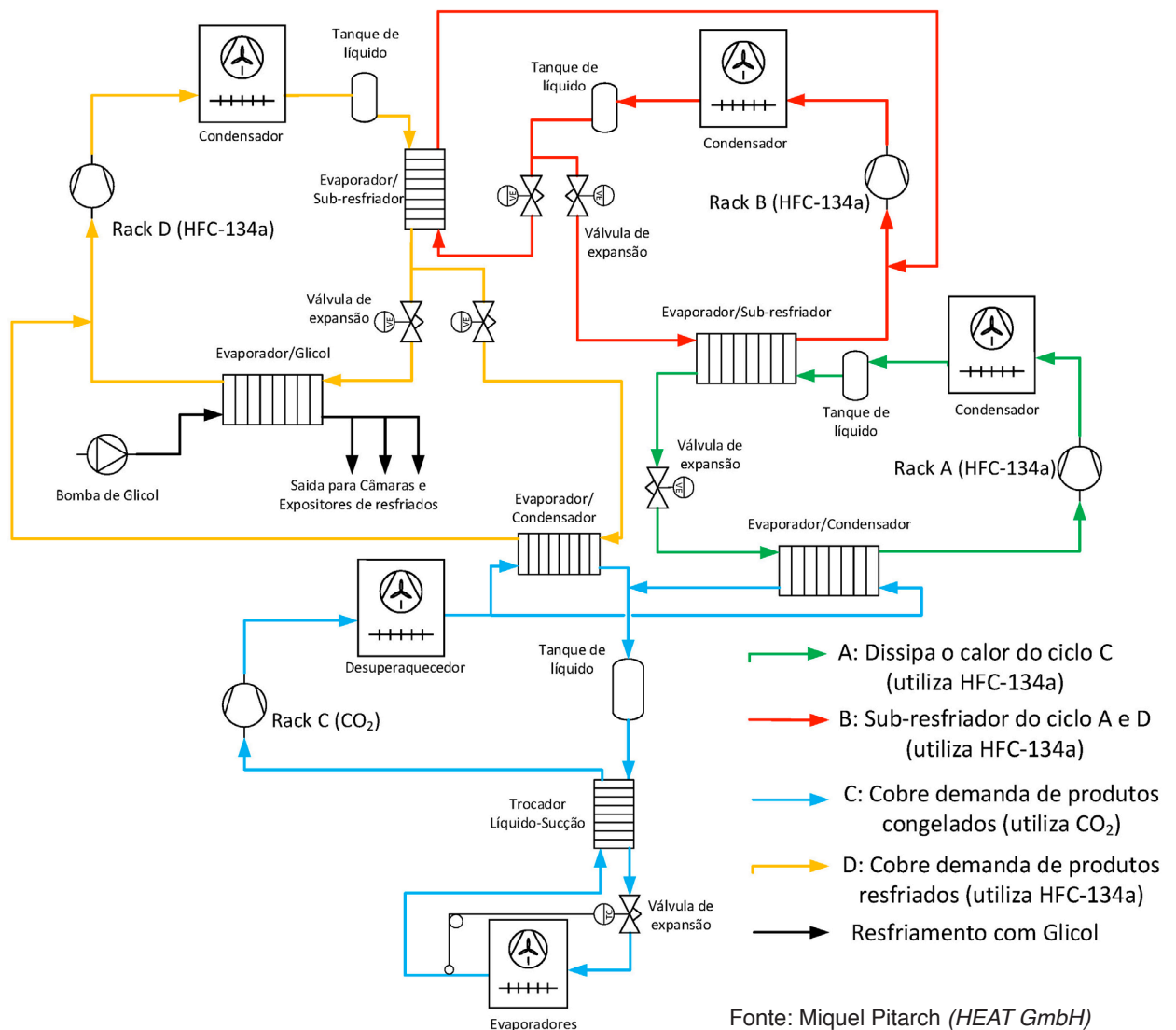
A função de cada ciclo pode ser resumida, conforme segue:

- **Ciclo A (verde):** Conectado ao condensador do ciclo C, dissipa parte do calor deste ciclo (utiliza HFC-134a);

¹² Além dos racks de resfriados e congelados, a troca do sistema também contemplou: condensadores, tubulação, isolamento térmico, expositores e câmaras.

- **Ciclo B (vermelho):** Conectado ao sub-resfriador do ciclo A e D para aumentar a sua capacidade (utiliza HFC-134a);
- **Ciclo C (azul):** Cobre a demanda dos produtos congelados (BT) (utiliza CO_2);
- **Ciclo D (laranja):** Cobre a demanda dos produtos resfriados (MT) e dissipa parte do calor no ciclo C (utiliza HFC-134a).

Figura 40 – Esquema simplificado do novo sistema de refrigeração com CO_2 e HFC-134a



A Tabela 4 mostra o modelo e a quantidade dos diferentes compressores para cada ciclo. Todos os compressores foram fabricados em 2012 e são da marca *Bitzer*. Também informa o modelo e a quantidade de ventiladores dos condensadores correspondentes a cada ciclo, sendo todos da marca *EBM Papst*.

O controle é realizado por meio de automação centralizada do tipo *Plant Visor* da *Carel*. A capacidade do sistema é controlada com o liga-desliga de um ou mais compressores.

Tabela 4 – Modelo e quantidade dos diferentes compressores e ventiladores nos condensadores para cada ciclo

Ciclo	Aplicação	Compressor		Ventilador Condensador	
		Modelo	Quantidade	Modelo	Quantidade
A	Conectado a BT (HFC-134a)	6G-40.2Y	3	W3G800-GU25-01	5
B	Conectado a BT e MT (HFC-134a)	6G-40.2Y	2	W3G800-GU25-01	5
C	BT (CO ₂)	2CSL-6K20D	2	W3G800-GU25-01 (desuperaquecedor)	1
		4EHC-6K 20D	2		
D	MT conectado ao Glicol e BT (HFC-134a)	6G-40.2Y	5	W3G800-GU25-01	12

Fonte: Miquel Pitarch (*HEAT GmbH*)

No caso do ciclo C, com fluido CO₂, o trocador de calor é usado como “desuperaquecedor”, conforme Figura 41. Em seguida, a Figura 42 apresenta um dos condensadores do ciclo D (MT com HFC-134a). Já a Figura 43, na sequência, mostra uma imagem da instalação em que podem ser vistos os racks dos ciclos A, C e D.

Figura 41 – “Desuperaquecedor” do ciclo com CO₂ com um ventilador



Figura 42 – Condensador com seis ventiladores para o ciclo D (HFC-134a)



Figura 43 – Sala de máquinas com os rack de compressores A, C e D



6.1.1 Ciclo C – Regime de congelados com CO₂

Ao conectar os condensadores do ciclo C com os evaporadores dos ciclos A e D, a temperatura de condensação do ciclo do CO₂ pode ser diminuída para trabalhar em condições subcríticas (temperatura crítica do CO₂ = 31,1 °C). O trocador de calor condensador-evaporador é do tipo placas.

Embora a temperatura de condensação desse ciclo possa ficar por baixo dos 0 °C, a temperatura de descarga dos compressores pode ser maior que a temperatura ambiente. Para diminuir a carga frigorífica nos evaporadores dos ciclos A e D conectados ao ciclo de CO₂, este ciclo incorpora um trocador de calor com o ambiente. Com isso é reduzida a temperatura do CO₂ antes de entrar nos condensadores.

A Figura 44 mostra uma imagem dos compressores do ciclo C, de CO_2 . O gelo acumulado ao redor dos compressores é devido às baixas temperaturas do gás entrando no compressor. Os compressores não têm controle de capacidade variável, somente o liga-desliga dos compressores em paralelo.

Figura 44 – Compressores em paralelo do ciclo C (CO_2)



6.1.2 Ciclo D – Regime de resfriados com HFC-134a

Neste caso, vários evaporadores resfriam o fluxo de glicol¹³ que passa pelos trocadores de calor das câmaras e expositores dos produtos resfriados. Outro evaporador é conectado a um dos condensadores do ciclo de C, de CO_2 . O ciclo D também possui um sub-resfriador conectado a um dos evaporadores do ciclo B para aumentar a capacidade do sistema.

6.1.3 Ciclo A – Conectado ao condensador do ciclo C, com HFC-134a

O ciclo A tem dois evaporadores, que formam parte dos condensadores do ciclo de CO_2 (ciclo C). Portanto, a única função do ciclo A é rejeitar o calor ao ambiente do ciclo de baixa temperatura (ciclo C com CO_2). Este ciclo também tem um sub-resfriador conectado ao ciclo B (HFC-134a) para aumentar sua capacidade.

6.1.4 Ciclo B – Conectado ao sub-resfriador dos ciclos com HFC-134a (A e D)

A função deste ciclo é aumentar a capacidade dos ciclos A e D (HFC-134a). Os evaporadores do ciclo B produzem sub-resfriamento nos ciclos A e D, aumentando assim a sua capacidade.

¹³ O glicol não é usado puro. Trata-se de uma mistura de água com glicol para mudar a temperatura de congelamento. Essa mistura pode ser usada em sistema de refrigeração como fluido secundário por questões de segurança. No caso da loja Angeloni Balneário Camboriú a proporção da mistura utilizada é de aproximadamente 70% água e 30% glicol.

6.2 Implementação do novo sistema em cascata e lições aprendidas

As duas principais barreiras para trocar um sistema de refrigeração por outro mais novo são: o investimento inicial e a dificuldade técnica. A dificuldade técnica pode ser maior ao se tratar de um sistema em cascata usando CO₂, já que pode ser mais complicado encontrar mão de obra qualificada para a execução do serviço no País.

A Tabela 5 mostra o custo dos diferentes serviços para a instalação do novo sistema em cascata na loja Angeloni Balneário Camboriú. O custo total da instalação nova foi de R\$ 3.725.000,00 (três milhões e setecentos e vinte e cinco mil reais).

O custo do sistema pode variar dependendo das necessidades da loja implementadora (tamanho, demanda frigorífica, etc.). Sendo assim, deve-se realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica para cada caso específico. É necessário levar em consideração nesse estudo, não só o custo da instalação nova, mas também os possíveis ganhos de eficiência energética (consumo de energia), redução de vazamentos (redução de gastos com fluido frigorífico), conservação mais eficaz dos alimentos, entre outros.

Tabela 5 – Custo dos diferentes serviços para a instalação do sistema em cascata do Angeloni

Serviço	Empresa	Custo
Pacote expositores, tubulações, instalações elétricas (material + mão de obra)	Eletrofrio	R\$ 3.305.000,00
Paneis, portas e acessórios	Danica	R\$ 350.000,00
Montagem das câmaras	ACC Montagens	R\$ 70.000,00
Custo Total	-	R\$ 3.725.00,00

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

6.2.1 Ciclo D – Regime de resfriados com HFC-134a

Segundo os gestores do Angeloni Balneário Camboriú, um dos maiores desafios durante a instalação do sistema com CO₂ foi manter a loja em funcionamento, sem perdas de produtos. Seguem as principais observações realizadas pelos gestores da loja:

- O cronograma de mudança de sistemas tem que ser respeitado para não haver atrasos e não comprometer toda a instalação;
- Depois do rack instalado, é feita a tubulação até o expositor. Na sequência, é desmontado o balcão antigo e instalado o novo. Por último, é feita a ligação da linha;
- O ideal é ter expositores do tipo "self" de reserva para poder expor os produtos para os clientes e assim não perder vendas, já que todos os expositores são desligados durante a troca de sistemas.

6.3 Levantamento de dados paramétricos

O equipamento *Climacheck* foi usado para medir os principais pontos de cada ciclo durante os meses de outubro e novembro de 2017. A Figura 45 mostra uma imagem das braçadeiras para medição de corrente colocadas nos compressores do ciclo D. A Figura 46 apresenta um sensor de temperatura na linha de líquido.

Figura 45 – Braçadeiras para medição da corrente dos compressores do ciclo D (MT, HFC-134a)



Figura 46 – Sensor de temperatura do equipamento *Climacheck* na linha de líquido



6.3.1 Medições dos ciclos A, B, C e D

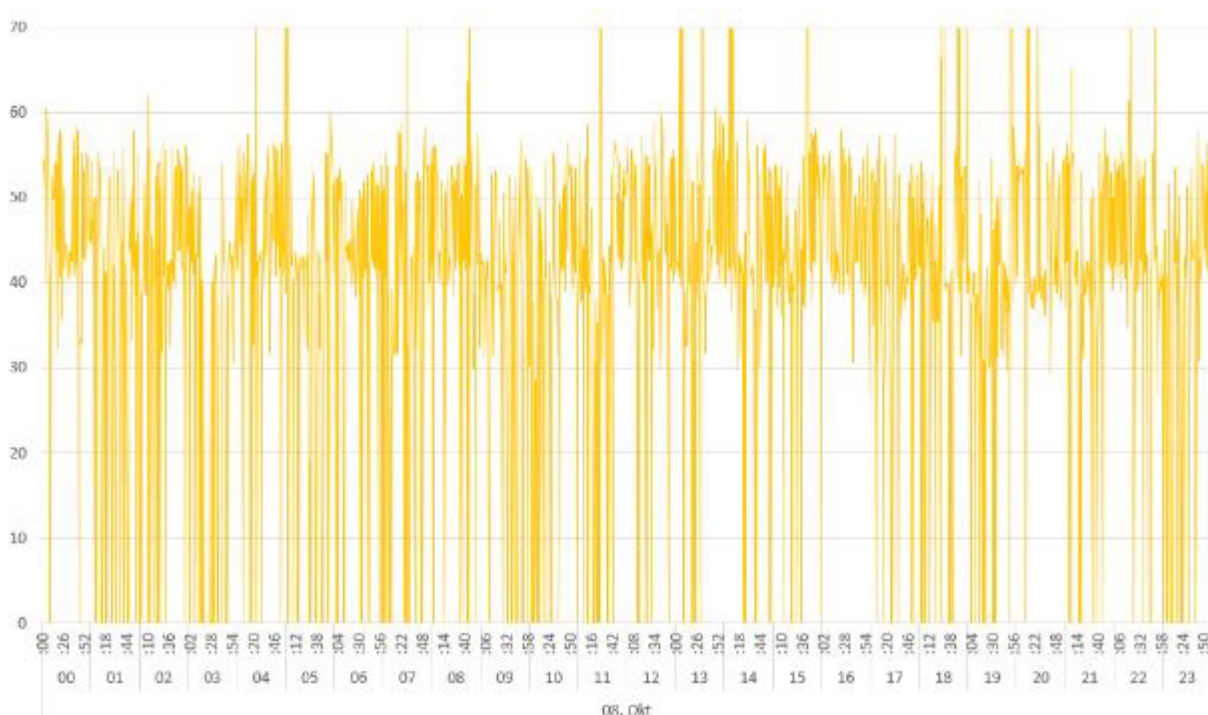
A Tabela 6 mostra os principais dados medidos nos quatro ciclos do sistema em cascata. Na sequência, a Figura 47 mostra a potência medida nos três compressores do ciclo A (HFC-134a) medido no dia 8 de outubro de 2017.

Tabela 6 – Principais dados medidos nos quatro ciclos do sistema em cascata

Propriedades	Ciclo A (Condensador, HFC134a)	Ciclo B (Sub-resfriador, HFC-134a)	Ciclo C (BT, CO ₂)	Ciclo D (MT, HFC134a)
Pressão manométrica de alta (bar)	8,35	8,35	29,50	8,35
Temperatura de condensação relativa à alta pressão (°C)	37,0	37,0	-5,0	37,0
Pressão manométrica de baixa (bar)	1,00	1,91	11,0	1,00
Temperatura de evaporação relativa à baixa pressão (°C)	-10,0	0,0	-35,0	-10,0
Temperatura de sucção (°C)	15,0	15,0	-7,0	5,0
Superaquecimento total (K)	25,0	15,0	28,0	15,0
Temperatura pré-expansão (°C)	22,0	22,0	-15,0	22,0
Sub-resfriamento total (K)	15,0	15,0	10,0	15,0

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

Figura 47 – Potência consumida pelos três compressores do ciclo A (HFC-134a)



Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

O ciclo de baixa temperatura com CO_2 , ciclo C, tem uma temperatura de condensação de -5°C , enquanto os evaporadores dos ciclos A e D, conectados ao ciclo de CO_2 , tem uma temperatura de evaporação de -10°C . Esses valores, quando medidos, estavam dentro do normal. A temperatura de condensação do CO_2 depende da temperatura de evaporação dos ciclos A e D (HFC-134a). Com o trocador líquido-sucção, o ciclo de CO_2 atinge um sub-resfriamento de 10 K e um superaquecimento de 28 K.

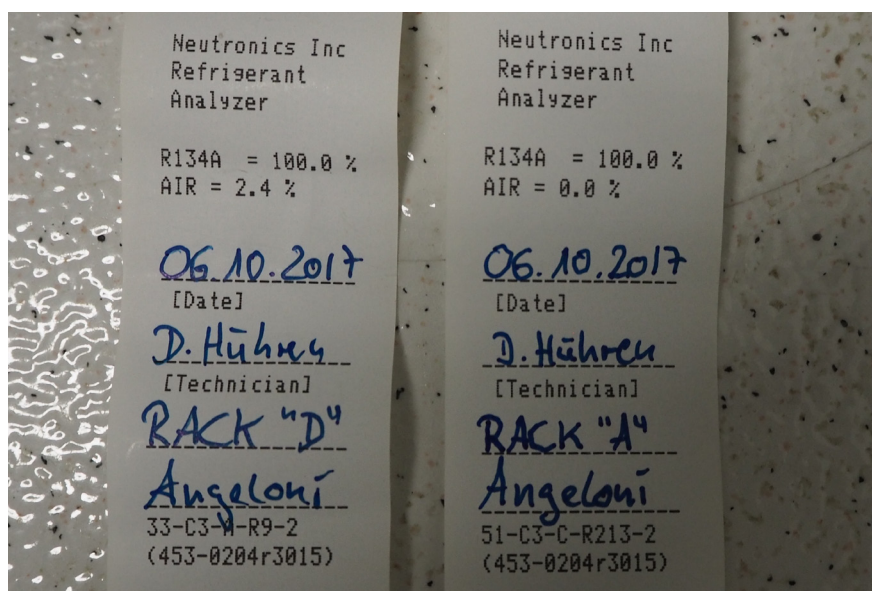
O ciclo B produz um sub-resfriamento de 15 K nos ciclos de A e D, sendo a temperatura na saída do resfriador de 22°C . Portanto, a temperatura de evaporação do ciclo B de 0°C parece baixa.

Cabe salientar que os compressores não trabalham com controle de velocidade variável. Portanto, a capacidade do sistema é controlada com o liga-desliga de um ou mais dos compressores em paralelo de cada ciclo.

6.3.2 Análise do fluido frigorífico utilizado no sistema em cascata

A análise do fluido frigorífico HFC-134a existente no sistema foi realizada por meio do analisador de gases *Neutronics RI 700H*. Como apresentado na Figura 48, verificou-se que os ciclos A e D tinham níveis de pureza de praticamente 100%. Em relação ao ar contido no ciclo, a amostra apontou 0,0% de ar, no ciclo A, e 2,4%, para o ciclo D. Ambos os percentuais estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 16667:2017.

Figura 48 – Resultados das análises das amostras de HCFC-22



Fonte: Dennis Huehren

6.3.3 Vazamento do fluido frigorífico

A Tabela 7 mostra a carga de fluido frigorífico em cada ciclo e a taxa de vazamento anual do sistema, incluindo os impactos ambientais e econômicos¹⁴. No total, a cada ano são liberados para a atmosfera, em média, 55 kg de HFC-134a e 90 kg de CO₂, devido aos vazamentos.

Cabe salientar que em situações de falta de energia elétrica a temperatura do CO₂ começa a subir, e, portanto, as válvulas de alívio automaticamente iniciam a liberação de CO₂ ao ambiente, por questões de segurança. Dependendo do tempo de parada do sistema, pode ser que ele não tenha carga suficiente para funcionar quando a energia voltar. Portanto, é recomendável ter cilindros de reserva de CO₂ disponíveis para casos de emergência.

Tabela 7 – Carga de fluido frigorífico em cada circuito e vazamento anual médio

Circuito	Fluido	Carga inicial (kg)	Vazamento anual (kg)	Taxa de vazamento (%)	Impacto ambiental (kg de CO ₂ eq.)	Impacto econômico (R\$)
C	CO ₂	180	90	50%	90	1.170,00
A	HFC-134a	108	15	14%	21.450	540,00
D	HFC-134a	163	25	15%	35.750	900,00
B	HFC-134a	100	15	15%	21.450	540,00
Total		180 (CO ₂)	90 (CO ₂)	50% (CO ₂)	90 (CO ₂)	1.170,00 (CO ₂)
		371 (HFC)	55 (HFC)	15% (HFC)	78.650 (HFC)	1.980,00 (HFC)

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

6.4 Regime de operação

O sistema de refrigeração deve ser desenhado para que a capacidade frigorífica se ajuste à demanda de média e baixa temperatura. Porém, a demanda do sistema pode variar de acordo com a temperatura ambiente e o modo de uso da instalação, por exemplo, dependendo da quantidade de produtos armazenados por dia. Portanto, o sistema é desenhado para que tenha suficiente capacidade na situação de maior demanda, e no resto dos dias ele ficará superdimensionado, ajustando a sua capacidade à demanda com o liga-desliga de alguns compressores. Idealmente, o controle de capacidade deve ser feito com compressores de velocidade variável para ter um ajuste melhor.

Além disso, o sistema está montado em cascata, portanto, a capacidade calorífica de alguns ciclos tem que coincidir com a capacidade frigorífica dos ciclos conectados.

A seguir apresentam-se as capacidades dos condensadores e dos expositores frigoríficos com valores de catálogo do fabricante¹⁵. Depois são calculadas as capacidades de cada ciclo por meio do software do fabricante de compressores *Bitzer*, para analisar o dimensionamento do sistema.

¹⁴ Informação disponível em: <https://www.eleetrofrigor.com.br/gas-r134a-suva-chemours-dac-13-620-kg.html>. Acesso em 26 de novembro de 2019.

¹⁵ Esses valores podem ser diferentes na realidade, dependendo do tamanho da carga de produtos, temperatura ambiente, forma de uso, etc.

6.4.1 Condensadores

A Tabela 8 mostra os modelos e a capacidade total dos condensadores de ar para cada ciclo de refrigeração montados no telhado da loja Angeloni Balneário Camboriú.

Ressalta-se que os condensadores do sistema de baixa temperatura (CO₂) não dissipam calor no ambiente, já que estão conectados aos evaporadores dos ciclos A e D. Entretanto, o ciclo de CO₂ dissipa calor ao ambiente mediante um “desuperaquecedor” de 60 kW de capacidade, que é utilizado para diminuir a temperatura do gás antes de entrar nos condensadores.

Tabela 8 – Modelo e capacidade total dos condensadores de ar para cada ciclo de refrigeração montados no telhado do supermercado

Ciclo	Aplicação	Modelo do Condensador	Quantidade	Capacidade Total (kW)
C	BT (CO ₂)	ICR 052 AC 801V (REFRIO)	1	60
A	Conectado a BT (HFC-134a)	ACV 294 (MCQUAY)	1	341
D	MT conectado ao sistema de glicol e BT (HFC-134a)	ACV 359 (MCQUAY)	2	834
B	Conectado a BT e MT (HFC-134a)	ACV 294 (MCQUAY)	1	341

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

6.4.2 Expositores e câmaras

A Tabela 9 mostra os modelos de expositores e câmaras do sistema de média temperatura (resfriados) com a demanda para cada um deles. A demanda total dos expositores de média temperatura é de aproximadamente 235 kW.

Tabela 9 – Expositores e câmaras do sistema de resfriados (MT)

Identificação	Modelo	Capacidade (kW)	Identificação	Modelo	Capacidade (kW)
MTA-1A	LMI078	4,29	MTA-2I	DHB-0	2,99
MTA-1B	DH8-6	4,50	MTA-2J	DHB-0	6,00
MTA-1C	DH8-6	7,50	MTA-2K	DHB-0	6,00
MTA-1D	DHB-4	5,25	MTA-2L	DHB-0	4,00
MTA-1E	DHB-4	8,74	MTA-2M	EHC-0	1,05
MTA-1F	EHU-4 T	2,17	MTA-2N	ESK-0	6,13
MTA-1G	EHU-4	8,31	MTA-2O	ESK-0	2,45
MTA-1H	EHU-4	8,31	MTA-3A	LMI125 A43	9,72
MTA-1I	EHU-4 T	2,17	MTA-3B	BV012A 1	2,09
MTA-1J	DHB-4	3,50	MTA-3C	BV038A 2	7,29
MTA-1K	DHB-4	5,25	MTA-3D	BV038A 2	6,35
MTA-1L	DHB-4	5,25	MTA-3E	LMI046 A41	2,62

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

Tabela 9 – Expositores e câmaras do sistema de resfriados (MT)

Identificação	Modelo	Capacidade (kW)	Identificação	Modelo	Capacidade (kW)
MTA-1M	DHB-4	5,25	MTA-3F	LMI125 A42	7,38
MTA-1N	DHB-4	5,25	MTA-3G	LMI125 A42	5,29
MTA-1O	DHB-4	5,25	MTA-3H	LMI125 A42	5,29
MTA-1P	DHB-4	3,50	MTA-3I	BV025A 2	3,50
MTA-2A	DHB-4	3,50	MTA-3J	BV025A 2	2,20
MTA-2B	DHB-4	5,25	MTA-3K	BV063A 10	7,41
MTA-2C	DHB-4	5,25	MTA-3L	LMI094 A42	4,30
MTA-2D	DHB-4	5,25	MTA-3M	LMI094 A42	4,30
MTA-2E	DHB-4	5,25	MTA-3N	LMI094 A42	4,30
MTA-2F	DHB-4	5,25	MTA-3O	LMI062 A41	3,06
MTA-2G	DHB-4	3,50	MTA-3P	LMI062 A41	3,06
MTA-2H	DHB-0	6,00	MTA-3Q	LMI078 A42	4,50

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

A Tabela 10 mostra os modelos de expositores e câmaras do sistema de baixa temperatura (congelados) com a demanda para cada um deles. A demanda total dos expositores de baixa temperatura é de aproximadamente 89 kW.

Tabela 10 – Expositores e câmaras do sistema de congelados (BT)

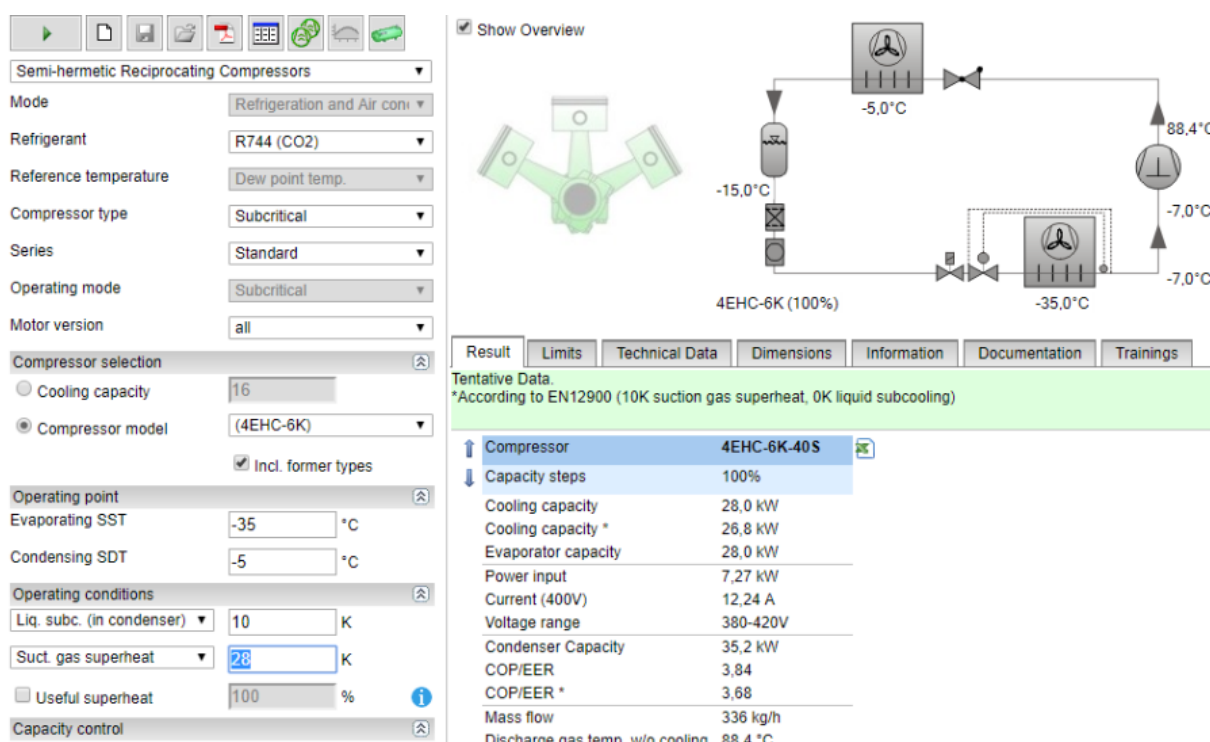
Identificação	Modelo	Capacidade (kW)	Identificação	Modelo	Capacidade (kW)
BTA-1B	EHY-18 INF	3,10	BTA-3A	EHY-18 SUP	2,13
BTA-1C	EHY-18 SUP	4,27	BTA-3B	EHY-18 INF	1,55
BTA-1D	EHY-18 INF	3,10	BTA-3C	EHY-18 SUP	4,27
BTA-1E	EHY-18 SUP	2,13	BTA-3D	EHY-18 INF	3,10
BTA-1F	EHY-18 INF	1,55	BTA-3E	EHY-18 SUP	4,27
BTA-1G	EHY-18 SUP	1,36	BTA-3F	EHY-18 INF	3,10
BTA-1A	EHY-18 SUP	4,27	BTA-2H	EHY-18 INF	1,55
BTA-1H	EHY-18 INF	0,99	BTA-3G	EHD-18 T	1,20
BTA-2A	EHY-18 SUP	1,36	BTA-3H	EHD-18 T	3,35
BTA-2B	EHY-18 INF	0,99	BTA-3I	EHD-18	2,42
BTA-2C	EHY-18 SUP	4,27	BTA-3J	EHD-18 T	1,20
BTA-2D	EHY-18 INF	3,10	BTA-3K	EHD-18 T	2,42
BTA-2E	EHY-18 SUP	4,27	BTA-3L	EHD-18	3,35
BTA-2F	EHY-18 INF	3,10	BTA-4A	2xMI110E	15,24
BTA-2G	EHY-18 SUP	2,13			

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

6.4.3 Regime de operação do Ciclo C – baixa temperatura (ciclo com CO₂)

O sistema de CO₂ (ciclo C) possui quatro compressores de fabricação *Bitzer*, dois do tipo 4EHC-6K 20D e dois do tipo 2CSL-6K20D. Introduzindo os parâmetros de entrada (dados medidos anteriormente) pelo software da *Bitzer*, é possível conhecer as capacidades e outros dados do sistema nas condições medidas. A Figura 49 mostra um exemplo do software para o compressor do tipo 4EHC-6K 20D.

Figura 49 – Resultados do software do fabricante de compressores *Bitzer* para o modelo 4EHC-6K 20D (Ciclo C, CO₂)



Fonte: *Bitzer*

Os resultados para os dois compressores do tipo 4EHC-6K 20D são:

- Capacidade frigorífica: $2 \times 28 \text{ kW} = 56 \text{ kW}$
- Potência absorvida: $2 \times 7,27 \text{ kW} = 14,54 \text{ kW}$
- Calor rejeitado no condensador: $2 \times 35,2 \text{ kW} = 70,2 \text{ kW}$
- Vazão mássica do fluido frigorífico: $2 \times 336 \text{ kg/h} = 672 \text{ kg/h}$
- Coeficiente de Performance (COP): 3,84
- Temperatura de descarga: 88,4 °C

Os resultados para os dois compressores do tipo 2CSL-6K20D são:

- Capacidade frigorífica: $2 \times 20,8 \text{ kW} = 41,6 \text{ kW}$
- Potência absorvida: $2 \times 4,85 \text{ kW} = 9,7 \text{ kW}$
- Calor rejeitado no condensador: $2 \times 25,6 \text{ kW} = 51,2 \text{ kW}$
- Vazão mássica do fluido frigorífico: $2 \times 250 \text{ kg/h} = 500 \text{ kg/h}$
- Coeficiente de Performance (COP): 4,28
- Temperatura de descarga: 80,8 °C

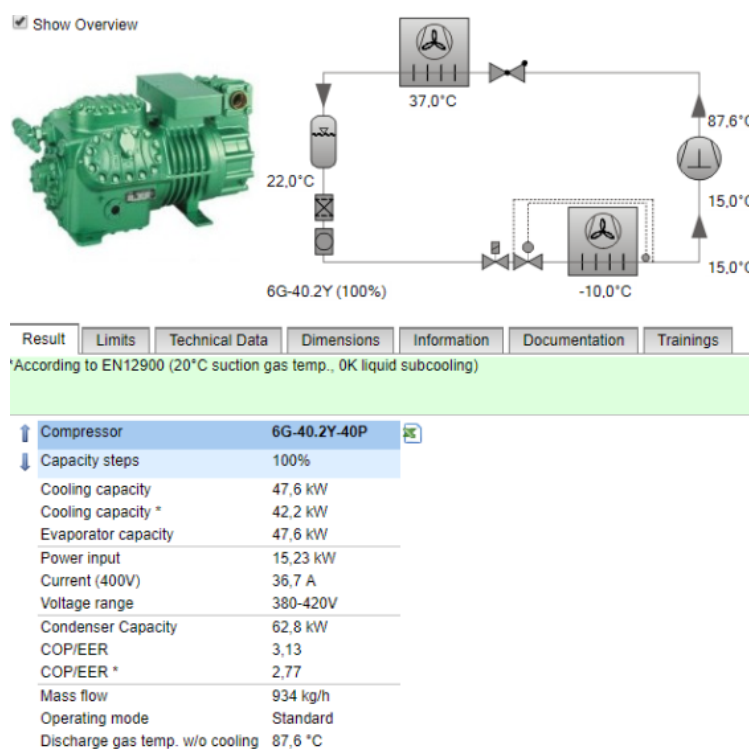
A capacidade frigorífica total nas condições medidas anteriormente será de 97,6 kW. Portanto, o ciclo C é capaz de cobrir a demanda dos produtos de baixa temperatura, segundo dados de catálogo, é de 89 kW.

O calor total que deve ser rejeitado nas condições medidas anteriormente será de 121,4 kW. Cabe salientar que, mesmo com a temperatura de condensação de -5°C , a temperatura de descarga supera os 80°C . Portanto, o ciclo C pode rejeitar parte do calor ao ambiente, reduzindo a carga nos condensadores. Considerando que a temperatura do CO_2 pode ser reduzida até 35°C antes de entrar no condensador, o calor dissipado no “desuperaquecedor” será de aproximadamente 17,5 kW. Portanto, o calor a ser dissipado nos condensadores aos ciclos A e D será de 103,9 kW.

6.4.4 Regime de operação do Ciclo A – Ciclo de HFC-134a conectado ao condensador de CO_2

O ciclo A de HFC-134a conectado ao condensador de CO_2 possui três compressores do tipo 6G-40.2Y. Introduzindo os parâmetros de entrada (dados medidos anteriormente) no software da *Bitzer*, é possível conhecer as capacidades e outros dados do sistema nas condições medidas. A Figura 50 mostra um exemplo do software para o compressor 6G-40.2Y.

Figura 50 – Resultados no software do fabricante de compressores *Bitzer* para o modelo 6G-40.2Y (Ciclo A, HFC-134a)



Fonte: *Bitzer*

Os resultados para os três compressores do tipo 6G-40.2Y são:

- Capacidade frigorífica: $3 \times 47,6 \text{ kW} = 143,4 \text{ kW}$
- Potência absorvida: $3 \times 15,23 \text{ kW} = 45,7 \text{ kW}$
- Calor rejeitado no condensador: $3 \times 62,8 \text{ kW} = 188,4 \text{ kW}$
- Vazão mássica do fluido frigorífico: $3 \times 934 \text{ kg/h} = 2802 \text{ kg/h}$
- Coeficiente de Performance (COP): 3,13
- Temperatura de descarga: $87,6^{\circ}\text{C}$

Portanto, a capacidade frigorífica total do ciclo A (143,4 kW) nas condições medidas anteriormente é suficientemente alta para dissipar o calor total nos condensadores do ciclo de CO₂ (103,9 kW). Além disso, um dos condensadores de CO₂ está conectado ao ciclo D de MT, o qual também pode rejeitar calor do ciclo C, de CO₂.

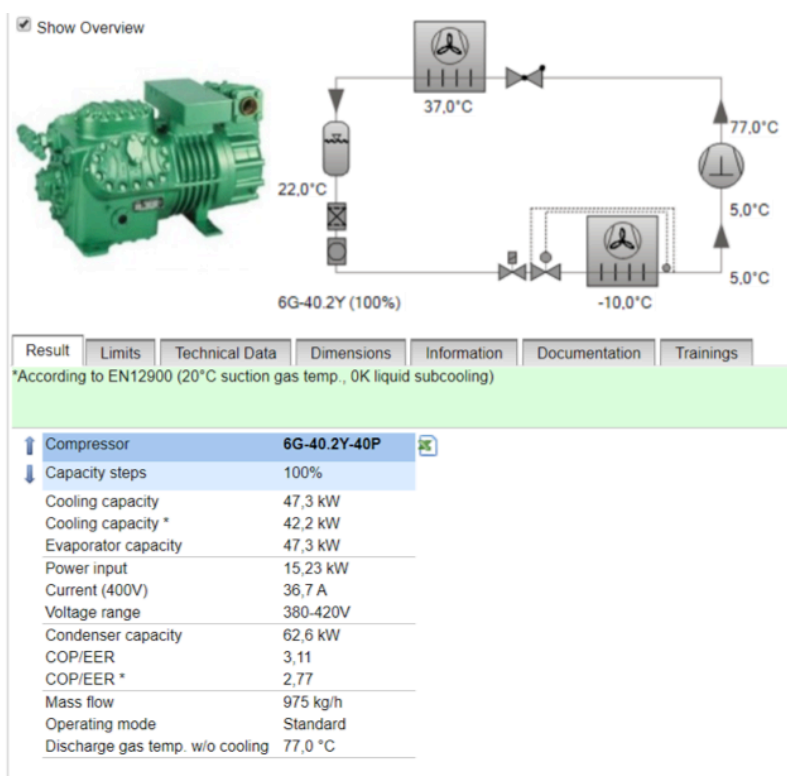
Cabe salientar que o ciclo A tem um sub-resfriador conectado ao ciclo B para aumentar a capacidade. O sub-resfriamento de 15 K equivale a 17,1 kW. Portanto, a capacidade frigorífica sem sub-resfriamento é de 126,3 kW, ainda superior ao calor a ser rejeitado nos condensadores de CO₂ nas condições medidas.

O condensador também é suficientemente grande para rejeitar eficientemente os 188,4 kW do ciclo A (capacidade do condensador 341 kW).

6.4.5 Regime de operação do Ciclo D – Ciclo de MT com HFC-134a (glicol e condensador de CO₂)

O ciclo D de HFC-134a cobre a demanda de MT por meio de um ciclo de glicol e está conectado a um condensador de CO₂. Este ciclo possui cinco compressores do tipo 6G-40.2Y. Introduzindo os parâmetros de entrada (dados medidos anteriormente) no software da *Bitzer*, é possível conhecer as capacidades e outros dados do sistema nas condições medidas. A Figura 51 mostra um exemplo do software para o compressor 6G-40.2Y.

Figura 51 – Resultados no software do fabricante de compressores *Bitzer* para o modelo 6G-40.2Y (Ciclo D, HFC-134a)



Fonte: *Bitzer*

Os resultados para os cinco compressores do tipo 6G-40.2Y são:

- Capacidade frigorífica: $5 \times 47,3 \text{ kW} = 236,5 \text{ kW}$
- Potência absorvida: $5 \times 15,23 \text{ kW} = 76,15 \text{ kW}$
- Calor rejeitado no condensador: $5 \times 62,6 \text{ kW} = 313,0 \text{ kW}$

- Vazão mássica do fluido frigorífico: $5 \times 975 \text{ kg/h} = 4.895 \text{ kg/h}$
- Coeficiente de Performance (COP): 3,11
- Temperatura de descarga: 77°C

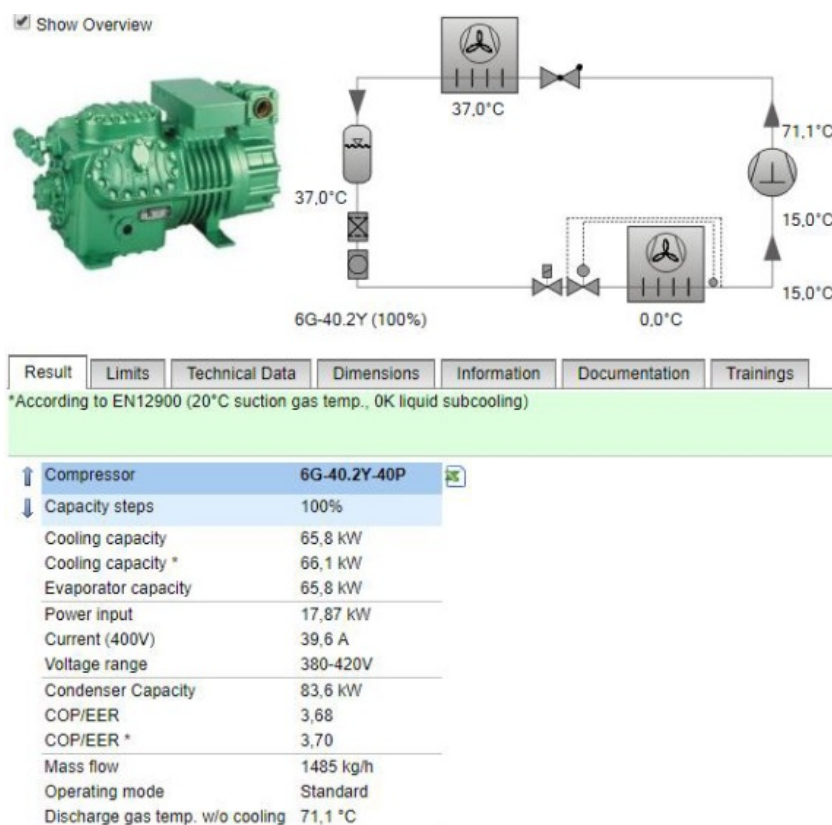
A capacidade frigorífica total do sistema neste ponto de operação é aproximadamente 237 kW. Portanto, o ciclo é capaz de atender à demanda dos produtos de média temperatura, que segundo dados de catálogo era de 235 kW, e ao mesmo tempo tem capacidade suficiente para ajudar a dissipar parte do calor do sistema de C, de CO_2 . Como no caso anterior, o ciclo D dispõe de um sub-resfriador conectado ao ciclo B para aumentar a capacidade do sistema. A capacidade adicional ganha no sub-resfriador é de 29,5 kW para as condições consideradas.

Os condensadores, com uma capacidade total de 834 kW, conforme dados de catálogo, também são suficientes para rejeitar de forma eficiente os 313 kW no ponto de funcionamento do ciclo D.

6.4.6 Regime de operação do Ciclo B – Ciclo sub-resfriamento com HFC-134a

O ciclo B de HFC-134a é conectado aos sub-resfriadores dos ciclos A e D para aumentar suas capacidades. Este ciclo possui dois compressores do tipo 6G-40.2Y. Introduzindo os parâmetros de entrada (dados medidos anteriormente) no software da *Bitzer*, é possível conhecer as capacidades e outros dados do sistema nas condições medidas. A Figura 52 mostra um exemplo do software para o compressor 6G-40.2Y.

Figura 52 – Resultados no software do fabricante de compressores *Bitzer* para o modelo 6G-40.2Y (Ciclo B, HFC-134a)



Fonte: *Bitzer*

Os resultados para os cinco compressores do tipo 6G-40.2Y são:

- Capacidade frigorífica: $2 \times 65,8 \text{ kW} = 133,6 \text{ kW}$
- Potência absorvida: $2 \times 17,87 \text{ kW} = 35,74 \text{ kW}$
- Calor rejeitado no condensador: $2 \times 83,6 \text{ kW} = 167,2 \text{ kW}$
- Vazão mássica do fluido frigorífico: $2 \times 1485 \text{ kg/h} = 2970 \text{ kg/h}$
- Coeficiente de Performance (COP): 3,69
- Temperatura de descarga: $71,1^\circ \text{C}$

O condensador é suficientemente grande para rejeitar eficientemente os 167,2 kW do ciclo B (capacidade do condensador 341 kW).

As capacidades nos sub-resfriadores dos ciclos A e D eram 17,1 kW e 29,5 kW, respectivamente, que somados chegam a 46,6 kW. A capacidade frigorífica do ciclo B é de 133,6 kW para dois compressores. Neste caso, só um compressor é suficiente para alcançar esses valores de sub-resfriamento, ou maiores.

6.5 Comparação: Sistema HCFC-22 versus sistema em cascata com CO_2

Além de comparar as capacidades e consumo de energia do sistema de refrigeração da loja antes e depois da instalação do novo sistema em cascata (CO_2 e HFC-134a), a seguir compara-se também as emissões diretas de cada um dos sistemas de refrigeração.

6.5.1 Emissões diretas

A Tabela 11 mostra a comparação dos vazamentos dos diferentes fluidos frigoríficos no sistema antigo e no novo, com o impacto ambiental por emissões diretas. O sistema com HCFC-22 tinha emissões de CO_2 equivalente 13 vezes maior que o novo sistema em cascata, além de agredir à Camada de Ozônio, devido aos vazamentos constantes no meio ambiente.

Além do custo ambiental, o supermercado Angeloni gastava uma média de R\$ 28.885,00 por ano com HCFC-22, para repor os fluidos vazados. Com o novo sistema, o supermercado Angeloni passou a gastar em média somente R\$ 3.150,00, devido à redução dos vazamentos e também pelo menor custo dos fluidos frigoríficos atuais.

Em casos como o do Angeloni, recomenda-se revisar as posições das válvulas de alívio conforme EN 378:2016 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2016), conforme descrito no Capítulo 3, e revisar o funcionamento dos alarmes e sensores do CO_2 . Recomenda-se também manter permanentemente as atividades de manutenção preventiva e registro de dados técnicos. Desta forma, a empresa/loja manterá um histórico sobre ocorrências e vazamentos encontrados.

Tabela 11 – Principais dados medidos nos quatro ciclos do sistema em cascata

Propriedades	PDO ¹⁶	GWP ¹⁷	Sistema HCFC-22	Sistema em Cascata
Vazamentos anuais médios ¹⁸ do HCFC-22 [kg]	0,055	1810	577,7	-
Vazamentos anuais ¹⁹ médios do HFC-134a [kg]	0	1430	-	55
Vazamentos anuais ¹⁹ médios do CO ₂ [kg]	0	1	-	90 ²⁰
PDO total [kg]	-	-	31,77	0
CO ₂ equivalente total [kg]	-	-	1.045.637,00	78.740,00
Custos em R\$ ²¹			28.885,00	3.150,00

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

6.5.2 Consumo de energia

As emissões indiretas podem ser calculadas a partir do consumo anual de energia elétrica do sistema de refrigeração. A loja Angeloni Balneário Camboriú não possui registro separado do consumo de energia do sistema de refrigeração. Contudo, o consumo de energia entre os dois sistemas pode ser comparado em termos relativos usando o Coeficiente de Performance (COP).

Nos sistemas com HCFC-22 é simples de calcular o COP para os ciclos de BT e MT de forma separada:

$$COP_{BT} = \frac{\dot{Q}_{c,BT}}{\dot{W}_{BT}} \quad ; \quad COP_{MT} = \frac{\dot{Q}_{c,MT}}{\dot{W}_{MT}}$$

Onde:

$\dot{Q}_{c,BT}$ é a capacidade frigorífica do ciclo BT (HCFC-22)

$\dot{W}_{BT}$ é a potência dos compressores do ciclo de BT (HCFC-22)

$\dot{Q}_{c,MT}$ é a capacidade frigorífica do ciclo MT (HCFC-22)

$\dot{W}_{MT}$ é a potência dos compressores do ciclo de MT (HCFC-22)

No caso do sistema em cascata, deve-se analisar quais são os consumos e capacidades que correspondem a cada ciclo.

16 Potencial de Destruição do Ozônio (para CFC-11, PDO = 1)

17 Potencial de Aquecimento Global (100 anos), (para CO₂, GWP = 1). Por exemplo, a liberação de 1 kg de HCFC-22 é equivalente a liberar 1810 kg de CO₂.

18 Média dos vazamentos anuais em 2014 e 2015, informados pelo Angeloni.

19 Vazamentos anuais informados pelo Angeloni em novembro 2017.

20 A maior parte dos vazamentos de CO₂ ocorrem devido ao sistema de segurança de alta pressão.

21 Informação disponível em: https://www.eletrofrigor.com.br/gas-r22-refrigerant-dac-13-600-kg.html?gclid=Cj0KCQjwn8_mBRCLARIsAKxi0GK4Jli1xp8XVJedrC8ORzMfjTYpUKaFr_usB-FSBxNaGDqd8iLvNlaAikXEALw_wcB. Acesso em 26 de novembro de 2019.

Para o sistema de BT:

$$COP_{BT, CASCATA} = \frac{\dot{Q}_{c,C}}{\dot{W}_C + \dot{W}_A + \dot{W}_{B \rightarrow BT} + \dot{W}_{D \rightarrow BT}}$$

Onde:

$\dot{Q}_{c,C}$ é a capacidade frigorífica do ciclo C (CO₂)

$\dot{W}_C$ é a potência dos compressores do ciclo C (CO₂)

$\dot{W}_A$ é a potência dos compressores do ciclo A (só dois são necessários para deixar o sistema funcionar)

$\dot{W}_{B \rightarrow BT}$ é a potência do compressor do ciclo B usada para o ciclo de baixa temperatura

$\dot{W}_{D \rightarrow MT}$ é a potência do compressor do ciclo D usada para o ciclo de baixa temperatura

Para o sistema de MT:

$$COP_{MT, CASCATA} = \frac{\dot{Q}_{c,D \rightarrow MT}}{\dot{W}_{Glicol} + \dot{W}_{B \rightarrow MT} + \dot{W}_{D \rightarrow MT}}$$

Onde:

$\dot{Q}_{c,D \rightarrow MT}$ é a capacidade frigorífica do ciclo D usada para o ciclo de média temperatura

$\dot{W}_{B \rightarrow MT}$ é a potência do compressor do ciclo B usada para o ciclo de média temperatura

$\dot{W}_{D \rightarrow MT}$ é a potência do compressor do ciclo D usada para o ciclo de média temperatura

$\dot{W}_{Glicol}$ é o consumo de energia da bomba de glicol

A Tabela 12 mostra uma comparação entre o sistema com HCFC-22 e o sistema em cascata utilizados no Angeloni Balneário Camboriú. Para cada aplicação (MT e BT) comparam-se: capacidade frigorífica, potência dos compressores e calor rejeitado nos condensadores. Anteriormente, essas características foram calculadas para as condições medidas durante a visita.

Para o sistema com HCFC-22, todos os compressores foram considerados em funcionamento (capacidade máxima). No caso do sistema em cascata, todos os compressores do ciclo C (BT) e D (MT) foram considerados em funcionamento. No ciclo A foram considerados 2 de 3, já que com dois compressores consegue-se rejeitar a maior parte do calor do ciclo de CO₂. O consumo do ciclo B foi repartido proporcionalmente entre BT e MT, considerando a capacidade extra aportada a cada ciclo. No sistema de glicol as duas bombas²² foram consideradas em funcionamento, com uma carga de 60% da potência nominal.

²² Duas bombas de 11 kW cada uma.

Para o sistema BT, o novo sistema em cascata tem um desempenho ligeiramente maior. Porém, para o sistema MT, o novo sistema tem um desempenho ligeiramente menor. Se consideramos a eficiência total dos sistemas BT e MT, a instalação com HCFC-22 tem uma eficiência ligeiramente maior. Se consideramos a mesma demanda frigorífica para o sistema antigo e o novo, o novo sistema consumiria aproximadamente 7% a mais de energia elétrica.

O novo sistema em cascata tem uma capacidade frigorífica maior nas aplicações de BT e MT.

Cabe salientar que, para esta comparação foram considerados os resultados obtidos durante as medições, as quais foram tomadas em dias diferentes. Mesmo que as temperaturas de condensação sejam muito parecidas nas medições do sistema com HCFC-22 e do sistema em cascata, a temperatura ambiente pode ser diferente. Portanto, a comparação apresentada na Tabela 12 deve ser usada de forma qualitativa.

Tabela 12 – Comparação entre o sistema com HCFC-22 e o sistema em cascata, para cada aplicação em MT e BT

Sistema	Propriedade	HCFC-22	Cascata (CO ₂ e HFC-134a)
MT	Capacidade frigorífica [kW]	188,2	227,8
	Potência dos compressores [kW]	65,2	81,0
	Potência bomba de glicol [kW]	-	13,2
	COP [-]	2,88	2,42
BT	Capacidade frigorífica [kW]	86,1	97,6
	Potência dos compressores [kW]	57,7	62,3
	COP [-]	1,49	1,57

Fonte: Miquel Pitarch (HEAT GmbH)

Em casos como o do supermercado Angeloni, é recomendável usar ao menos um compressor com controle de velocidade variável em cada um dos ciclos do sistema em cascata. Desta forma, pode-se ajustar melhor a carga frigorífica à demanda, e as cargas entre os diferentes ciclos conectados, evitando assim frequentes liga-desliga dos compressores. Compressores com frequentes liga-desliga resultam em menor eficiência. Além disso, diminui a vida útil dos compressores.

O ciclo A tem capacidade suficiente para dissipar o calor do ciclo C sem necessidade de usar o ciclo D, e ainda poderia realizar o sub-resfriamento do ciclo D para aumentar a capacidade. Desta forma o sistema não precisaria do ciclo B e a carga total de HFC-134a poderia ser reduzida. Porém, deve-se avaliar o impacto no consumo de energia. O controle da temperatura de evaporação do ciclo B deve ser revisado e ajustado para trabalhar a uma temperatura maior, caso seja possível para aumentar a eficiência energética.

Outros desenhos de sistemas também podem ser avaliados levando em conta as características de cada supermercado. Por exemplo, usar evaporadores inundados por CO₂ nos expositores e câmaras de média temperatura (DANFOSS, 2009). Desta forma, o ciclo de CO₂ é usado para cobrir a demanda frigorífica do supermercado (baixa e média temperatura), e o ciclo de HFC-134a (ou outro fluido frigorífico) só é usado para dissipar o calor ao ambiente e manter o ciclo de CO₂ trabalhando na condição subcrítica. A decisão para o uso de um determinado sistema frigorífico depende de vários fatores e a avaliação técnica deve ser realizada caso a caso.



7 Conclusão

A loja Angeloni Balneário Camboriú (SC) foi selecionada para participar do *Terceiro Projeto Demonstrativo de Melhor Contenção de HCFC-22 em Supermercados*, objeto desta publicação, a partir de um processo aberto, desenvolvido em estreita cooperação entre o MMA, coordenador do PBH; a GIZ, agência alemã implementadora; e a Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS), entidade representativa do setor.

A seleção da loja, entre milhares existentes no País, levou em conta critérios como tecnologia utilizada, tamanho, idade e localização, entre outros fatores. Antes de 2016, o sistema de refrigeração do supermercado Angeloni operava com dois circuitos à base de HCFC-22, um para o regime de baixa temperatura (BT) e outro para regime de média temperatura (MT), com uma carga total de aproximadamente 650 kg de HCFC-22 e capacidade frigorífica de 86 kW para BT e 188 kW para MT.

Durante a realização do projeto, após a visita técnica inicial da equipe do projeto, o Supermercado Angeloni decidiu realizar uma substituição completa do sistema de refrigeração existente à base de HCFC-22 por um sistema subcrítico de dióxido de carbono (CO₂) em cascata com o HFC-134a, oriundo de uma outra loja da rede desativada. Vale ressaltar que estes fluidos frigoríficos alternativos utilizados possuem um menor impacto ambiental que o HCFC-22.

Importante salientar, nesta síntese conclusiva, que o objetivo deste projeto demonstrativo é a “melhor” contenção dos vazamentos do HCFC-22, um fluido frigorífico que aumenta de preço a cada dia, visto que a eliminação total dos HCFCs está prevista para 2040, mas já em 2025 o País deverá eliminar 65% do seu consumo, por meio da redução da cota de importação, uma vez que não produz tais substâncias. Neste aspecto, esse projeto enfatiza a importância de se manter os sistemas de refrigeração em condições seladas (seguindo as boas práticas de refrigeração) e apresenta as características de uma nova instalação que utiliza tecnologia/fluidos frigoríficos mais amigáveis ao meio ambiente, com o objetivo de contribuir para a implementação de projetos similares em outros supermercados.

O *Terceiro Projeto Demonstrativo de Melhor Contenção de HCFC-22 em Supermercados* foi implementado em duas etapas:

1 Pré-intervenção no sistema à base de HCFC-22: A equipe da GIZ visitou o supermercado para analisar as instalações, realizar as medições e elaborar o plano de ação para intervenção. O foco era a eliminação dos vazamentos e possíveis melhorias na eficiência energética. Durante a visita, foram constatados os problemas que ocasionavam os vazamentos, que além de produzirem danos ambientais e perdas econômicas pela necessária reposição de fluidos frigoríficos, corroíam componentes do sistema, diminuindo a sua vida útil. As visitas iniciais ocorreram durante o mês de setembro de 2015;

2 Análise do sistema em cascata operando com CO₂ e HFC-134a: Após a substituição do sistema de HCFC-22 por um sistema em cascata trabalhando com CO₂ e HFC-134a, a equipe da GIZ visitou o supermercado

novamente para analisar a instalações e realizar as medições para comparação dos resultados com o sistema antigo. A troca do sistema foi realizada durante o ano de 2016 pelo supermercado com apoio do fornecedor da tecnologia, a empresa Eletrofrío. As visitas de monitoramento pela equipe do projeto, pós instalação do sistema com CO₂, ocorreram durante os meses de outubro e novembro 2017.

A seguir apresentam-se os resultados de forma resumida, ressaltando, para fins didáticos, os aspectos gerais de impacto social, ambiental e econômico. Enfatiza-se que os três resultados descritos abaixo estão interligados e, juntos, proporcionam a dimensão correta do impacto positivo deste projeto.

1º Resultado

Ganhos sociais, com a qualificação técnica de pessoal

Durante a visita de pré-intervenção, a equipe técnica da GIZ demonstrou a importância da aplicação das boas práticas de contenção de vazamentos do HCFC-22 para sistemas de refrigeração comercial para as equipes de manutenção e operação da loja Angeloni Balneário Camboriú (pessoal próprio e terceirizado).

Também houve um treinamento para uso seguro do novo sistema subcrítico de dióxido de carbono (CO₂) em cascata com o HFC-134a para os colaboradores do Angeloni, promovido pelo fornecedor da tecnologia, a empresa Eletrofrío.

Destaca-se que as equipes técnicas terceirizadas que atendem essa loja e as demais do Grupo Angeloni também atendem a dezenas de redes supermercadistas da região, nas quais esses técnicos capacitados poderão aplicar as boas práticas assimiladas neste projeto. Com isso, o ganho social, em qualificação de pessoal, foi alcançado. O conhecimento disponibilizado poderá ser compartilhado com outros técnicos, ampliando os efeitos positivos das boas práticas de contenção de vazamentos e do uso de novas tecnologias com fluidos frigoríficos mais amigáveis ao meio ambiente.

2º Resultado

Ganho ambiental, com redução drástica dos vazamentos e troca dos fluidos frigoríficos

Antes da substituição do sistema de refrigeração, a taxa de vazamento média anual de HCFC-22 era de 89% em relação à carga instalada, liberando cerca de 578 kg de HCFC-22 por ano para a atmosfera. O HCFC-22 possui alto potencial de aquecimento global e agride a Camada de Ozônio. Esses vazamentos causavam emissões diretas de 1.045.637,00 kg de CO₂ equivalente e de 31,77 kg de PDO anuais.

Os fluidos frigoríficos do novo sistema de refrigeração em cascata (CO₂ e HFC-134a) não agredem a Camada de Ozônio e apresentam menor potencial de aquecimento global do que o HCFC-22. Destaca-se que o fluido frigorífico natural CO₂ (GWP = 1) possui potencial de aquecimento global 1.810 vezes menor que o HCFC-22. A utilização de fluidos frigoríficos mais amigáveis ao meio ambiente e a redução de vazamentos (sistema atual com 55 kg de HFC-134a e 90 kg de CO₂ anuais) resultou em uma redução das emissões diretas em 966.897 kg de CO₂ equivalente e de 31,77 kg de PDO anuais. Mesmo com o aumento de consumo de energia em aproximadamente 7%, após à substituição do sistema de refrigeração, a redução das emissões diretas é muito maior que o aumento das emissões indiretas por meio do aumento de consumo de energia, que é estimada em 39.740 kg de CO₂ equivalente. Melhorias no sistema em cascata para a redução do consumo de energia podem ser avaliadas pelos gestores do Angeloni (por exemplo, a instalação de compressores com velocidade variável).

Cabe destacar que o HFC-134a não agride a Camada de Ozônio, mas possui potencial de aquecimento global de 1.430. Existem alternativas de fluidos disponíveis no mercado com menor impacto ambiental para o sistema em cascata com CO₂, como, por exemplo, o fluido refrigerante natural HC-290. No entanto, cada fluido refrigerante possui vantagens, desvantagens e restrições, que devem ser avaliadas caso a caso, dependendo de cada tipo de aplicação.

Como ocorreu no caso do Angeloni, devido às características do CO₂, as válvulas de alívio começam a liberar CO₂ ao ambiente quando a pressão do ciclo supera os limites de segurança, por exemplo, nas faltas de energia elétrica que resultam no aumento da temperatura do ciclo do CO₂. Portanto, nestes casos pode ocorrer liberação de CO₂ ao ambiente mesmo em condições seladas. Todavia, o custo do CO₂ e os impactos ambientais são baixos quando comparados com outros fluidos refrigerantes.

3º Resultado

Ganhos econômicos, menor custo com fluidos refrigerantes

Além dos ganhos ambientais, os ganhos financeiros pós-projeto são relevantes. Nota-se que o preço²³ de HCFC-22 gira em torno de R\$ 50,00/kg, enquanto o preço do HFC-134a e do CO₂ é de aproximadamente R\$ 36,00/kg e de R\$ 13,00/kg, respectivamente. A redução dos vazamentos e o menor custo dos fluidos refrigerantes resultaram em uma economia média anual de aproximadamente R\$ 25.735,00, além de proporcionar maior vida útil aos componentes do sistema.

Em suma, os principais objetivos do *Terceiro Projeto Demonstrativo de Melhor Contenção de HCFC-22 em Supermercados* realizado na loja Angeloni Balneário Camboriú foram atingidos, alcançando resultados numericamente significativos e atendendo à expectativa dos parceiros do projeto, proprietários e gestores do supermercado.

O governo brasileiro, por meio do Ministério do Meio Ambiente, coordenador do PBH, com o apoio técnico da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, fornece nessa publicação todos os dados disponíveis do projeto demonstrativo implementado na loja Angeloni na cidade Balneário Camboriú (SC). Esse projeto poderá ser replicado em sua totalidade ou em partes específicas, servindo de modelo para a tomada de decisão para uma enorme quantidade de lojas que operam em condições similares.

Destaca-se que os responsáveis das empresas/lojas que optarem em seguir o modelo de trabalho do *Terceiro Projeto Demonstrativo de Melhor Contenção de HCFC-22 em Supermercados* deverão seguir as ações descritas, sempre com a orientação de engenheiros e/ou técnicos com experiência comprovada na área de refrigeração comercial. Desta forma, poderão chegar aos mesmos resultados positivos, evitando os impactos causados por vazamentos de HCFC-22, obtendo ganhos econômicos diretos e, potencialmente, maior eficiência energética nos sistemas. Ressalta-se que a metodologia aplicada poderá ser replicada para outros tipos de fluidos refrigerantes, tais como o HFC-404A, que também é bastante utilizado em supermercados brasileiros.

23 Informação disponível em: https://www.eletofrigor.com.br/gas-r22-refrigerant-dac-13-600-kg.html?gclid=Cj0KCQjwn8_mBRCLARIsAKxi0GK4Jli1xp8XVJedrC8ORzMjYpUKaFr_usB-FSBxNaGDqd8iLvNlaAikXEALw_wcB. Acesso em 26 de novembro de 2019.



Bibliografia

ABNT. NBR 16255 - Sistemas de refrigeração para supermercados — Diretrizes para o projeto, instalação e operação. Brasil: [s.n.], 2013.

ABNT. NBR 16667 - Especificações para fluídos frigoríficos. Brasil: [s.n.], 2017

ABNT. NBR 16069 - Segurança em sistemas frigoríficos. Brasil: [s.n.], 2018a

ABNT. NBR 16666 - Designação e classificação de segurança. Brasil: [s.n.], 2018b

ABNT. NBR 13598 - Vasos de Pressão. Brasil: [s.n.], 2018c.

BITZER. Bitzer Software. Cotia: Bitzer, 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH - ETAPA 1. Brasília: [s.n.], 2011. Disponível em: <http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/programa_brasileiro_elimizacao_hcfc/programa-bras-hcfc_ed_2.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH - ETAPA 2. Brasília: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://mma.gov.br/images/arquivo/80041/Documento%20-%20Etapa%202%20do%20PBH.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

CALIFORNIA, State of. High-GWP Refrigerants - California Air Resources Board. Disponível em: <<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/high-gwp-refrigerants>>. Acesso em: 16 out. 2019.

CLIMACHECK. Improve energy efficiency and reliability in air conditioning and refrigeration systems. Nacka, Sweden: [s.n.], 2017. Disponível em: <https://media.home.climacheck.com/2017/06/English_folder_update2017.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019.

CLIMACHECK SWEDEN AB. ClimaCheck online. Disponível em: <<http://ccol.climacheck.com/default.aspx?ReturnUrl=%2F>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

DANFOSS, 2009. Food Retail CO₂ Refrigeration Systems - Designing subcritical and transcritical CO₂ systems and selecting suitable Danfoss components. Disponível em: http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/DKRCEPAR1A102_The%20Food%20Retail%20CO2%20application%20handbook_DILA.pdf. Acesso em: 21 nov. 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARTIZATION. Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 1 - 4. Inglaterra: [s.n.], 2016. INFICON. Instruments for Intelligent Control - INFICON. Disponível em: <<https://www.inficon.com/en/>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

KARAMPOUR, M.; SAWALHA, S. State-of-the-art integrated CO₂ refrigeration system for supermarkets: A comparative analysis. *International Journal of Refrigeration*, 86, p. 239–257 (2018).

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) *GmbH*. PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH: Guia de Boas Práticas 1: Controle de Vazamento Brasília, DF: MMA, 2015a. Disponível em: <http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publi-cacoes/programa_brasileiro_elimizacao_hcfc/programa-bras-hcfc_ed_2.pdf>. Acesso em: 26 set. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) *GmbH*. PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH: Guia de boas práticas 2: Características de sistemas de refrigeração em condições seladas. Brasília, DF: MMA, 2015b. Disponível em: <http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/programa_brasileiro_elimizacao_hcfc/programa-bras-hcfc_ed_2.pdf>. Acesso em: 26 set. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) *GmbH*. Programa Brasileiro de eliminação dos HCFCs-PBH: Guia de boas práticas 3: Manutenção de sistemas de Refrigeração. Brasília, DF: MMA, 2015c. Disponível em: <http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publi-cacoes/programa_brasileiro_elimizacao_hcfc/programa-bras-hcfc_ed_2.pdf>. Acesso em: 26 set. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) *GmbH*. Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH: Fluidos Frigoríficos Naturais em sistemas de refrigeração comercial. Brasília, DF: MMA, 2015d. Disponível em: <http://www.boaspraticasrefrigeracao.com.br/publicacoes>. Acesso em: 26 nov. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) *GmbH*. Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH: treinamento e capacitação para boas práticas em sistemas de refrigeração comercial. Brasília, DF: MMA, 2017. Disponível em: <<http://www.boaspraticasrefrigeracao.com.br/publicacoes>>. Acesso em: 26 set. 2019.

MORAN, M. J. et al. Princípio da Termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

PORTAL ABRAS. ABRAS: Setor supermercadista fatura R\$ 353,2 bilhões em 2017 - Clipping - ABRAS. Disponível em: <<http://www.abrasnet.com.br/clipping.php?area=20&clipping=63952>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

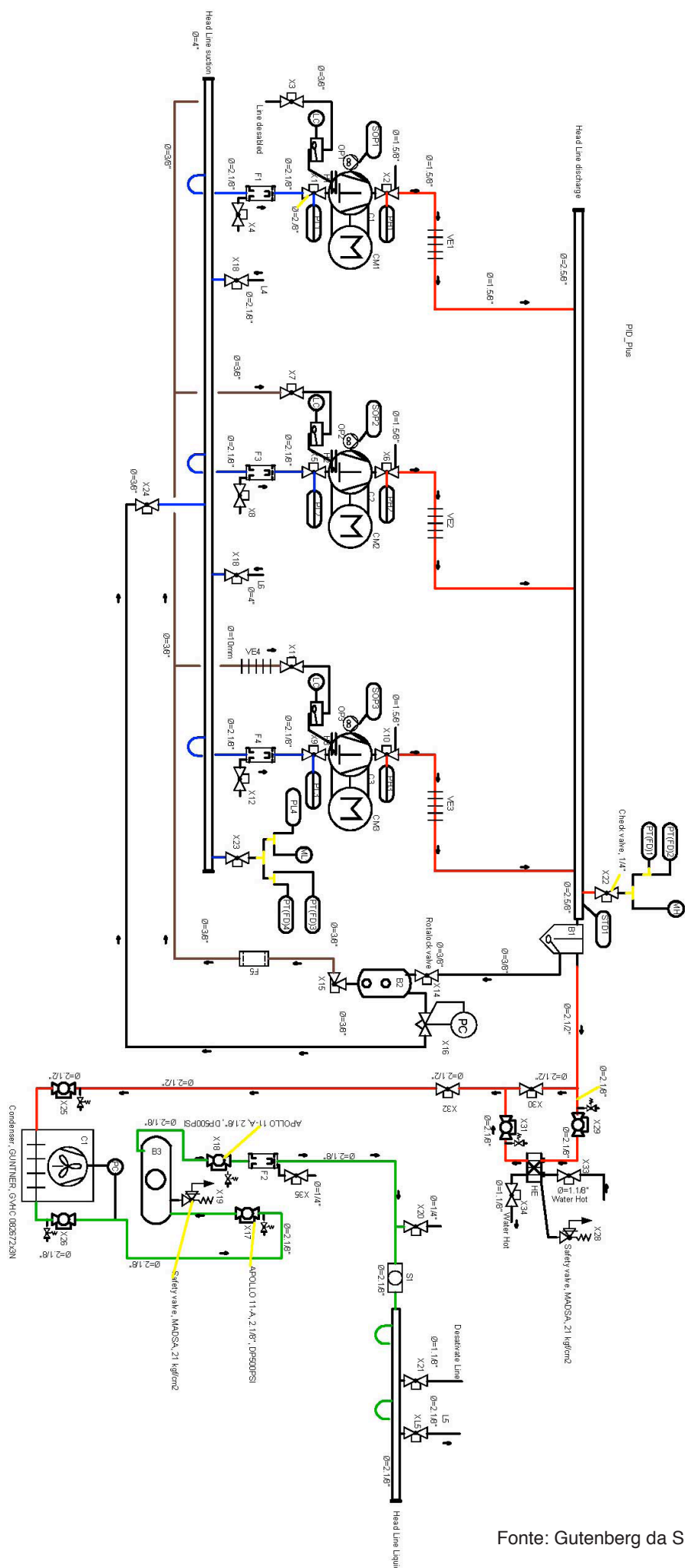
SILVA, A. Mito e Fatos sobre o CO₂. São Paulo: [s.n.], 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/prozonesp/wp-content/uploads/sites/16/2014/03/mitos_e_fatos_do_co2.pdf>. Acesso em: 26 nov 2019.

VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R.; BORGNACKE, C. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. 8a Edição ed. New York: Edgard Blucher, 2013.



Anexo 1 Diagrama Esquemático do Sistema de Média Temperatura com HCFC-22

Legenda do Diagrama Esquemático do Sistema de Média Temperatura: HCFC-22	
B1	Separador de óleo
B2	Reservatório de óleo
B3	Tanque de líquido
C1	Condensador
C	Compressor semi-hermético
CM	Motor elétrico do compressor
F	Filtro
H	Resistência elétrica
HE	Trocador de calor
L	Linha de fluido frigorífico
LC	Controle do nível de óleo
MH	Manômetro de alta pressão
ML	Manômetro de baixa pressão
OP	Bomba de óleo
PH	Pressostato de alta pressão
PL	Pressostato de baixa pressão
PT(FD)	Transdutor de pressão
S1	Visor de líquido
SOP	Transdutor de pressão de óleo
STD	Sensor de temperatura descarga
VE	Eliminador de vibração
X	Válvula de serviço do compressor e válvula de passagem
X19, X28	Válvula de segurança
X16	Válvula de controle de pressão



Anexo 2

Diagrama Esquemático do Sistema de Baixa Temperatura com HCFC-22

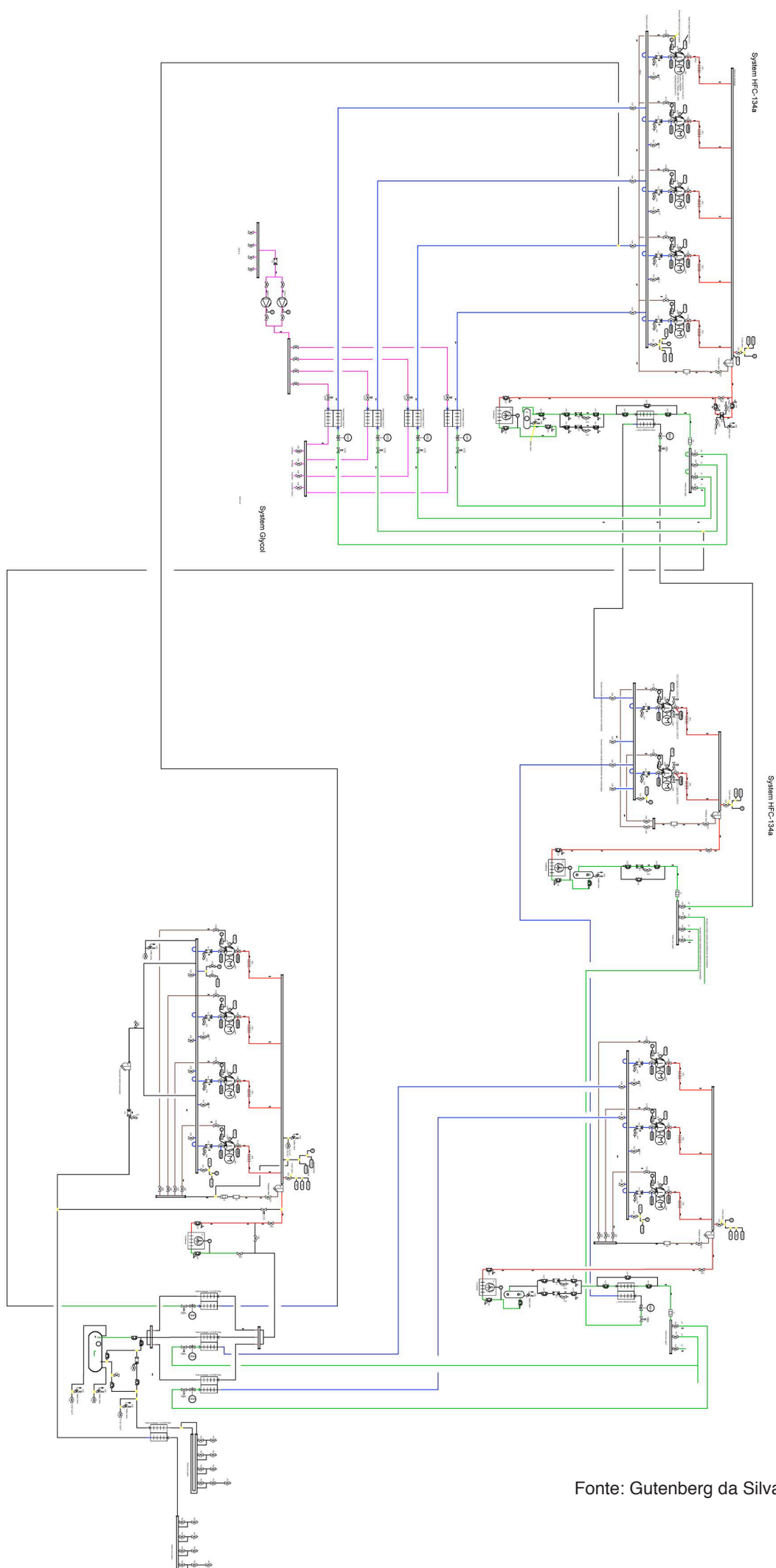
Legenda do Diagrama Esquemático do Sistema de Média Temperatura: HCFC-22	
B1	Separador de óleo
B2	Reservatório de óleo
B3	Tanque de líquido
C1	Condensador
C	Compressor semi-hermético
CM	Motor elétrico do compressor
F	Filtro
H	Resistência elétrica
L	Linha de fluido frigorífico
LC	Controle do nível de óleo
MH	Manômetro de alta pressão
ML	Manômetro de baixa pressão
OP	Bomba de óleo
PH	Pressostato de alta pressão
PL	Pressostato de baixa pressão
PT(FD)	Transdutor de pressão
S1	Visor de líquido
SOP	Transdutor de pressão de óleo
STD	Sensor de temperatura descarga
STDC	Sensor de temperatura do compressor
VE	Eliminador de vibração
VP	Válvula de injeção
X	Válvula de serviço do compressor e válvula de passagem
X17	Válvula de retenção
X20	Válvula de controle de pressão
X23	Válvula de segurança

[illegible]



Anexo 3 Diagrama Esquemático do Sistema em Cascata com CO₂ e HFC-134a

Legenda do Diagrama Esquemático do Sistema em Cascata: CO ₂ e HFC-134a	
B1	Separador de óleo
B3	Tanque de líquido
C1	Condensador
C	Compressor semi-hermético
CM	Motor elétrico do compressor
F	Filtro
H	Resistência elétrica
L	Linha de fluido frigorífico
LC	Controle do nível de óleo
MH	Manômetro de alta pressão
ML	Manômetro de baixa pressão
OP	Bomba de óleo
PH	Pressostato de alta pressão
PL	Pressostato de baixa pressão
PT(FD)	Transdutor de pressão
S1	Visor
SOP	Transdutor de pressão de óleo
STD	Sensor de temperatura descarga
VE	Eliminador de vibração
X	Válvula
XL	Válvula



Parceria



Apoio



Implementação



Por meio da:



Coordenação

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

