

• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Refrigeração industrial: elaboração de projeto; criação de ferramentas de seleção; tecnologias para melhoria da eficiência energética.**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

**Autor**

**José Pedro Vidal Loureiro**

**Orientadores**

**Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**

**Engenheiro Trajano Filipe Nunes De Matos Da Costa  
Pinheiro**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor Antonio Manuel Mendes Raimundo  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Vogal** Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva  
Ribeiro  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Orientador** Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Colaboração Institucional**

---



**SKK, Climatização e  
Refrigeração, Lda.**

**Coimbra, Setembro, 2015**

*A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.*

Albert Einstein

## **Agradecimentos**

Esta dissertação coloca um fim no meu percurso académico, no curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra. O trabalho aqui apresentado foi também possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Aos meus pais, pelas oportunidades oferecidas, sacrifícios e apoio necessário ao longo da minha vida.

Aos meus verdadeiros amigos, por me perceberem, aturarem e estarem do meu lado sempre que necessário, reconhecendo em mim algo que nem sempre transparece.

Ao Engenheiro Trajano Pinheiro, pela paciência, orientação necessária, ajuda e amizade, ao longo do meu estágio.

Ao Professor Doutor Adélio Gaspar e ao Engenheiro Francisco Lamas, pela orientação dada nos momentos de necessidade, ao longo deste tempo.

A todos, um grande obrigado.

José Pedro Loureiro

## RESUMO

Os sistemas de refrigeração assumem uma cada vez maior importância na atual sociedade de consumo, sendo responsáveis por um enorme consumo energético. Na maior parte do tempo operam em carga térmica parcial, já que estes sistemas têm de ser projetados para conseguirem atender às condições de máxima carga de operação, ou seja, às condições nominais de projeto, correspondentes aos períodos mais exigentes. Consequentemente estes sistemas são habitualmente sobredimensionados para todas as condições de operação intermediárias e apresentam um consumo energético elevado. Num contexto de elevada competitividade industrial, associado à atual crise energética e ambiental, é imperativo reduzir os consumos de energia na operação dos sistemas de refrigeração. Atendendo a este facto, justifica-se o desenvolvimento e incorporação de componentes e tecnologias que promovam a melhoria do desempenho energético destas instalações.

O objetivo deste trabalho, desenvolvido em paralelo com o estágio na empresa SKK, Climatização e Refrigeração, Lda., pretendeu caracterizar e identificar tecnologias e componentes para aumento do desempenho energético de sistemas de refrigeração. Tendo em conta o contexto de inserção na empresa e tipo de projetos nela realizados, apenas são abordados neste documento sistemas de refrigeração por compressão a vapor.

Ao longo deste texto são analisados os principais parâmetros e componentes a verificar para o bom funcionamento de uma instalação frigorífica. É apresentado um estudo aos vários tipos de sistemas e equipamentos de controlo que promovem o desempenho energético de uma instalação frigorífica, e apresentadas as principais soluções existentes no mercado atual. São também descritas algumas das atividades executadas durante o estágio.

Do estudo desenvolvido, conclui-se que o desempenho energético e eficiência de um sistema de refrigeração devem ser planeados e considerados nas várias fases de implementação do projeto. Atualmente, já existe no mercado um conjunto de tecnologias e componentes de controlo que promovem uma melhor eficiência e desempenho energético dos sistemas de refrigeração, contribuindo, assim, para a redução dos custos energéticos e ambientais.

**Palavras-chave:** Sistemas de refrigeração; eficiência energética; tecnologias e componentes de controlo; estágio.

## ABSTRACT

As time goes by refrigeration systems have been getting an even greater importance in today's society, and are responsible for a great energy consumption. Most of the time these systems operate at partial load, since they have to be projected to deal with the maximum needed load conditions for the harshest periods of operation. Therefore, these systems are oversized for all intermediary operating states resulting in a high energy consumption. In a high competitive industrial context, in association with the nowadays energetic and environmental crisis, it is imperative do reduce the operations costs related to the energy bill. So, it is of the outmost importance the development and implantation of components and technologies that promote the energetic performance and efficiency of these systems.

This thesis's goal, developed side by side with an internship at *SKK, Climatização e Refrigeração, Lda*, it's the study of technologies and components that promote a better energetic performance of refrigeration systems. Having into account the company's insertion context and the type of projects that are developed there, only vapor compressing systems will be referred to.

During this document several items and parameters are verified and analyzed to achieve a good and functioning refrigeration plant. Various types of control systems and control equipment for a refrigeration plant are presented, as well as the existing solutions for their retrofitting. Some activities performed during the internship are also referred to.

From the study developed it is concluded that the energetic performance and efficiency of a refrigeration system must be planned and considered on all the phases of the project's implementation. At this moment, it is already available in the market a fair amount of technologies and control components that promote a greater efficiency and energetic performance of these systems, therefore contributing to the reduction of the operation costs and environmental impacts that are associated with these systems.

**Keywords** Refrigeration systems; energetic efficiency; control technologies and components; internship.

## ÍNDICE

Índice de Figuras .....	vi
Índice de Tabelas .....	viii
Simbologia e Siglas .....	ix
Simbologia .....	ix
Siglas .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Motivação .....	1
1.3. Objetivos da dissertação .....	3
1.4. Objetivos do estágio .....	3
1.5. Organização da dissertação .....	4
2. REFRIGERAÇÃO – ESTADO DA ARTE .....	5
2.1. Principais componentes de sistemas de refrigeração de média/elevada potência... 5	
2.1.1. Compressor .....	5
2.1.1. Condensador .....	9
2.1.2. Unidades condensadoras .....	11
2.1.3. Evaporador .....	12
2.1.4. Dispositivo de expansão .....	14
2.1.5. Depósito de líquido .....	17
2.1.6. Acessórios .....	17
3. MEDIDAS E TECNOLOGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	20
3.1. Análise de sistemas .....	21
3.2. Medidas de eficiência energética .....	24
3.3. Sistemas de controlo .....	26
3.4. Equipamentos de controlo .....	28
3.4.1. Controladores nos compressores .....	28
3.4.2. Controladores nos condensadores e evaporadores .....	30
3.4.3. Válvulas de expansão eletrónicas .....	34
3.4.4. Controlo de descongelação .....	35
3.5. Novos Fluidos Refrigerantes .....	35
4. ATIVIDADES NO ÂMBITO DO ESTÁGIO .....	43
4.1. Ferramentas de trabalho desenvolvidas .....	43
4.2. Projeto .....	45
4.2.1. Câmara de congelados .....	45
4.2.2. Câmara para conservação de maçãs (atmosfera controlada) .....	46
4.2.3. Central Frigorífica: câmaras para conservação de maçãs (atmosfera controlada) e corredor .....	49
5. CONCLUSÃO .....	52

5.1. Trabalho de pesquisa .....	52
5.2. Atividades do estágio .....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
Apêndice A .....	56
Apêndice B .....	59
Apêndice C .....	65
Apêndice D .....	70
Apêndice E .....	71
Apêndice F .....	72
Apêndice G .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento de um compressor alternativo [2].....	6
Figura 2- Corte transversal dos rotores de um compressor de parafusos [2] .....	7
Figura 3- Condensador evaporativo [2].....	11
Figura 4 – Válvula de expansão termostática com equalização interna (a) e com equalização externa (b) [4].....	15
Figura 5 - Esquema de um sistema SCADA [5].....	27
Figura 6 - Módulo de controlo e Motor.....	32
Figura 7 - Comparação entre refrigerantes R404A e R407A [14] .....	36
Figura 8 - Comparação de emissões entre R404A e R407A [14] .....	37
Figura 9 - Comparação entre refrigerantes R404A e R407F [15].....	38
Figura 10 - Comparação de emissões entre R404A e R407F [15].....	39
Figura 11- Comparação entre refrigerantes R404A e R449A [16] .....	40
Figura 12- Comparação de emissões entre R404A e R449 [16] .....	41
Figura 13- GWP de vários gases refrigerantes [14,15,16] .....	42
Figura 14 – Folha Excel Seleção Rápida – Refrigerados .....	44
Figura 15 - Folha Excel Seleção Rápida – Congelados.....	44
Figura 16 - XWEB500EVO [6].....	56
Figura 17 - XWEB5000EVO [6].....	57
Figura 18 - Compressor Ecoline Varispeed [7].....	59
Figura 19 - Características operacionais de dois motores de compressores com IF (400V /3/50Hz). A- motor sem reserva (corrente/energia); B – motor com aproximadamente 25% reserva (corrente/energia) a 50Hz [7].....	60
Figura 20 - Aumento de voltagem através da frequência para diferentes motores [7].....	61
Figura 21 – Limites de utilização em alguns modelos de compressores “Bitzer ECOLINE”, consoante o refrigerante e motor [7] .....	62
Figura 22- Legenda da figura 21 [7].....	63
Figura 23 – Estado da válvula solenoide durante operação em carga máxima e operação em carga parcial [8].....	65
Figura 24 - Legenda da Figura 23 [8].....	66
Figura 25 –Gamas de controlo de capacidade [8] .....	66
Figura 26 –Modos de ativação das valvulas CRII num compressor com dois e três cilindros e respetivas gamas de controlo [8] .....	67

Figura 27 – Posições de instalação das válvulas CRII [8].....	68
Figura 28 - Exemplo de um melhorado controlo da pressão de sucção [5].....	68

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Gamas de capacidade de compressores BITZER [3] .....	7
Tabela 2 - Modelos de Compressores BITZER [3].....	8
Tabela 3 - Problemas em instalações e suas complicações [2].....	21
Tabela 4 – Vantagens do refrigerante R407A [14].....	36
Tabela 5- Vantagens do refrigerante R-407F [15].....	38
Tabela 6 - Vantagens do refrigerante R449A [16] .....	40

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

A – Altura [m]

C – Comprimento [m]

f – Frequência [Hz]

L – Largura [m]

T.câmara – Temperatura interior na câmara [°C]

T.condensação – Temperatura de condensação [°C]

T.evaporação – Temperatura de evaporação [°C]

U – Voltagem [V]

### Siglas

AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

CTR – Calor Total Rejeitado

DCS – Distributed Control Systems

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

ECM – Electronically commutated Motors

FAX – Facsimile

GWP – Global Warming Potencial

HMI – Humam-Machine Interface

IF – Inversor de frequência

LCD – Liquid Crystal Display

MTU – Master Terminal Unit

NTC – Negative Temperature Coefficient

PDF – Portable Document Format

PID – Proporcional Integral Derivation

PLC – Programable Logic Controller

PSC – Permanent Split Capacitor

RTU – Remote Terminal Unit

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

SEER – Seasonal Energy Efficiency Ratio

SMS – Short Message Service

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. Enquadramento**

A utilização de sistemas de refrigeração tem vindo progressivamente a aumentar na sociedade moderna e assume hoje um carácter essencial e imprescindível para assegurar a vida humana. Pode-se mesmo dizer que hoje em dia, sem refrigeração, a sociedade entraria rapidamente em colapso. É um processo tecnológico vital para manter e fomentar a qualidade de vida de uma sociedade moderna altamente industrializada. A procura por estes tipos de sistemas não cessa de aumentar nos vários sectores de atividade, nomeadamente indústria alimentar, hotelaria e restauração, saúde, investigação, entre outros.

O sector da indústria com maior necessidade deste tipo de equipamentos é claramente o agroalimentar, que tem como objetivo fornecer aos consumidores, produtos alimentares seguros, em boas condições de conservação e economicamente acessíveis, mantendo a sua capacidade competitiva.

Os sistemas de refrigeração são constituídos por diversos componentes que necessitam constantemente de energia elétrica para o seu funcionamento. A quantidade destas instalações a nível mundial, muitas de grandes capacidades de refrigeração traduzem-se em quantidades elevadas de energia consumida anualmente. Tendo em conta o atual contexto de crise económica, energética e ambiental, urge a necessidade de otimizar e racionalizar o seu uso.

De forma a reduzir a degradação ambiental, e preservar os recursos naturais, deve-se procurar reduzir ao máximo o consumo da energia necessária para o funcionamento destes sistemas. Para tal, novas tecnologias que promovam a eficiência e desempenho energético podem e devem ser implementadas nos componentes dos sistemas de refrigeração, ou mesmo a substituição dos próprios sistemas existentes.

## **1.2. Motivação**

Na realização do curso, a área de climatização/refrigeração foi das que mais interesse me despertou, sendo atualmente uma importante área da Engenharia a nível global.

Cada vez mais a refrigeração assume um papel preponderante na Indústria, e o seu crescimento e progresso, não parecem abrandar. A refrigeração é utilizada no armazenamento de matérias-primas, produtos alimentares perecíveis e conservação dos “alimentos prontos”. No geral, os sistemas de refrigeração estão cada vez mais presentes e representam uma fatia significativa nos investimentos económicos.

Em Portugal, as indústrias agroalimentares, que representam o maior sector das indústrias transformadoras do país, não fogem à regra e cada vez são mais dependentes desta tecnologia.

Em 2010 a indústria agroalimentar contribuiu com um volume de negócios de cerca de 14 mil milhões de euros, 4,2% do total de volume de negócios, e um valor acrescentado bruto de cerca de 3 mil milhões de euros, 3,5% do total de valor acrescentado bruto, do nosso país. Mesmo num contexto económico adverso, como o registado nos últimos anos, a indústria agroalimentar conseguiu assegurar e sustentar a sua produção, inclusivamente aumentando cerca de 1% [1].

A indústria agroalimentar é também um importante contributo para o índice de empregabilidade nacional que, a seguir às indústrias têxteis e do vestuário, é a que mais contribui para a criação de empregos em Portugal, sendo responsável pelo emprego direto de cerca de 110000 postos de trabalho, representando 2,9% do emprego nacional [1].

Em 2009, encontravam-se em funcionamento 9426 empresas da indústria agroalimentar em Portugal, e cerca de 15,2% dos empregos do país foi proporcionado pelas indústrias transformadoras agroalimentares [1].

No contexto atual, tendo em conta a problemática energética e ambiental, existe uma preocupação crescente com o consumo de energia e eficiência energética de equipamentos e instalações. A refrigeração industrial representa, por si só, em Portugal, cerca de 4% do consumo de eletricidade na indústria, a qual consome no total um terço de toda a energia primária consumida no país. Assim, é de máxima importância otimizar o desempenho energético das instalações, de modo a reduzir custos de operação e simultaneamente contribuir para a redução das emissões de dióxido de carbono, bem como reduzir a dependência energética externa [1].

Por forma a alcançar tal objetivo, é necessário começar por definir corretamente o perfil das instalações de refrigeração, procurar e implementar soluções de medidas de

eficiência energética. Na verdade, já existe no mercado atual um conjunto de opções/alternativas que possibilitam uma poupança significativa de energia.

Pelo acima exposto e ainda pela vertente tecnológica em desenvolvimento nesta área, optou-se por desenvolver este tema de dissertação, em paralelo com um estágio numa empresa do setor de projeto e distribuição de equipamentos de frio – SKK Climatização e Refrigeração, Lda.

### **1.3. Objetivos da dissertação**

A presente dissertação tem como objetivo a análise de sistemas de refrigeração de média/elevada potência, com ênfase na caracterização e identificação de componentes emergentes para aumento do desempenho energético, articulando-se nas seguintes fases:

- Apresentação do estado da arte nos equipamentos usados em sistemas de refrigeração de média/elevada potência;
- Identificação de soluções que aumentem a eficiência energética de uma instalação;
- Identificação de medidas e oportunidades para o aumento da eficiência energética;
- Apresentação de tecnologias e componentes que possibilitam o aumento da eficiência e desempenho energético de uma instalação;
- Análise de mercado sobre componentes e tecnologias existentes, com vista a melhorar o desempenho energético nos sistemas de refrigeração.

### **1.4. Objetivos do estágio**

O estágio no gabinete técnico na empresa SKK insere-se no tema principal definido para a dissertação, tendo como principais objetivos:

- Análise de equipamentos de frio aplicados a sistemas de refrigeração e climatização;
- Criação de ferramentas de trabalho;
- Elaboração de projetos de sistemas de refrigeração e climatização;

- Análise de tecnologias e componentes que promovam o aumento da eficiência energética de uma instalação;
- Orçamentação de projetos de maior eficiência energética.

## **1.5. Organização da dissertação**

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

No capítulo um encontram-se o enquadramento, motivação, objetivos da tese e do estágio e a descrição da organização da dissertação.

No capítulo dois são inicialmente feitas considerações sobre sistemas de refrigeração abordados neste trabalho e, posteriormente identificados os principais componentes e acessórios de um sistema de refrigeração.

No capítulo três são analisados parâmetros a verificar para um bom funcionamento das instalações frigoríficas, em termos de eficiência energética, fazendo uma breve análise de problemas que podem surgir, os seus efeitos e soluções. Medidas de eficiência energética são também abordadas.

No capítulo quatro é apresentado um estudo aos vários tipos de sistemas de controlo integrado de uma instalação, e controladores possíveis de serem integrados nos componentes de um sistema de refrigeração. Para além da caracterização destes componentes que contribuem para melhorar a eficiência energética, são apresentadas algumas soluções atualmente existentes no mercado. Por fim, são apresentados os novos fluidos refrigerantes que irão substituir os atuais, mais eficientes e menos poluentes, com identificação das suas vantagens.

No capítulo cinco são descritas as tarefas realizadas no âmbito do estágio, nomeadamente as ferramentas de trabalho em folhas *Excel* e alguns projetos de instalações frigoríficas.

No capítulo seis são apresentadas as conclusões relativas ao trabalho de pesquisa e ao estágio.

## 2. REFRIGERAÇÃO – ESTADO DA ARTE

Os sistemas de refrigeração dividem-se em duas categorias principais:

- Arrefecimento e armazenamento de produtos refrigerados, a temperaturas que variam dos 0°C a 10°C (temperaturas positivas);
- Congelação e conservação de produtos congelados a temperaturas que variam entre 0°C a -40°C (temperaturas negativas).

Consideram-se sistemas de refrigeração de média/elevada potência as instalações frigoríficas, comerciais ou industriais, que englobam:

- Câmaras de grande volume para refrigeração;
- Centrais frigoríficas para refrigeração e/ou climatização de várias câmaras e postos de trabalho;
- Túneis de congelação e de arrefecimento rápido.

### 2.1. Principais componentes de sistemas de refrigeração de média/elevada potência

Um sistema de refrigeração é composto por vários componentes, tais como compressores, condensadores, dispositivos de expansão e evaporadores e, acessórios diversos. Para uma operação eficiente do sistema de refrigeração, é essencial que haja uma compatibilidade adequada entre os vários componentes. É essencial o estudo das características e desempenho de componentes individuais, antes de se analisar o desempenho equilibrado do sistema completo.

#### 2.1.1. Compressor

O compressor é um dos principais componentes do sistema de refrigeração, sendo a sua função aumentar a pressão do fluido refrigerante e promover a sua circulação no sistema. Os principais tipos de compressores utilizados em sistemas de média/elevada potência são os alternativos semi-herméticos e os de parafuso. A escolha do tipo de

compressor depende, essencialmente, da capacidade da instalação, fluido refrigerante usado, temperatura de evaporação, aplicação e do preço [2].

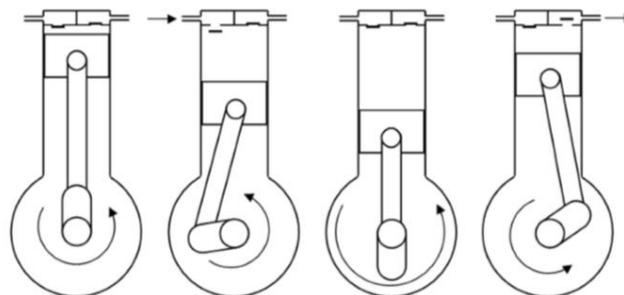
### **Compressores recíprocos alternativos semi-herméticos**

Este tipo de compressores alternativos são os mais utilizados nos sistemas de refrigeração. Encontram-se em estado de desenvolvimento bastante avançado e são amplamente utilizados, podendo ser usados em sistemas de pequena, média e até elevada capacidade, normalmente com múltiplos compressores instalados em paralelo numa central frigorífica. São os mais versáteis e bastante eficientes [2].

Podem ser [2]:

- de único estágio (pistão de uma cabeça, comprimindo apenas para um lado)
- de duplo estágio (pistão de duas cabeças, comprimindo gás nos dois sentidos), permitindo aumentar a pressão antes de passar para a fase seguinte, para comprimir o refrigerante a uma pressão ainda mais elevada.
- de dois ou mais cilindros.

A Figura 1 representa, esquematicamente, o princípio de funcionamento de um compressor alternativo. Na etapa de aspiração o pistão desce, fazendo com que haja uma depressão no interior do cilindro que proporciona a abertura da válvula de sucção, o fluido refrigerante é aspirado. Ao inverter-se o sentido de movimentação do pistão (durante a compressão), a válvula de sucção fecha-se, o êmbolo comprime o refrigerante, até que a pressão interna do cilindro seja suficiente para promover a abertura da válvula de descarga, expulsando-o para fora do cilindro, através da válvula de descarga, localizada normalmente na cabeça do cilindro [2].



**Figura 1 - Esquema de funcionamento de um compressor alternativo [2]**

### Compressores rotativos de parafuso

O compressor de parafuso possui dois rotores acoplados, montados em chumaceiras para fixar as suas posições dentro da estrutura, numa tolerância estreita em relação à cavidade cilíndrica, onde se encontram. Os rotores deslocam-se em movimento rotativo um no outro, enquanto o volume entre eles diminui. A Figura 2 apresenta um corte transversal dos rotores de um compressor de parafuso duplo. Um rotor, de perfil convexo, aciona outro, de perfil côncavo [2].

O fluido refrigerante é comprimido pela rotação dos rotores acoplados e percorre o espaço entre lóbulos, enquanto é transferido axialmente desde a secção de sucção até à de descarga. É adicionado óleo ao sistema, injetado diretamente na câmara de compressão, com a finalidade de lubrificação, vedação e arrefecimento. Assim, em sistemas a operar com compressores de parafuso torna-se necessária a instalação de um separador de óleo. Posteriormente, este óleo é separado do gás no separador de óleo. Este tipo de compressor pode funcionar com uma alta velocidade do veio, e combinar uma elevada taxa de fluxo com reduzidas dimensões exteriores. Este tipo de compressores podem ser do tipo semi-hermético, compacto ou aberto [2].

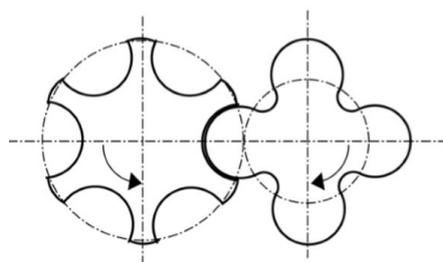


Figura 2- Corte transversal dos rotores de um compressor de parafusos [2]

### Gamas de capacidades

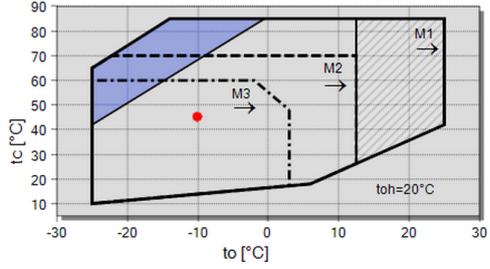
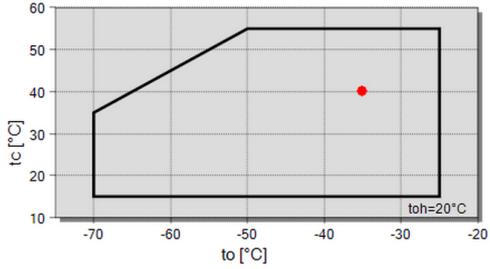
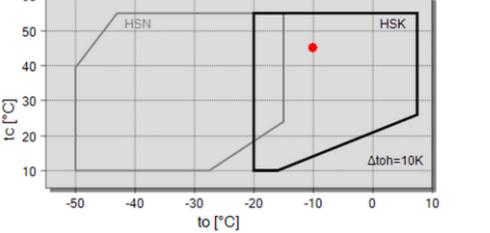
Na Tabela 1, apresenta-se as gamas de capacidade dos vários tipos de compressores e alguns exemplos de modelos na Tabela 2, assim como os seus limites de funcionamento.

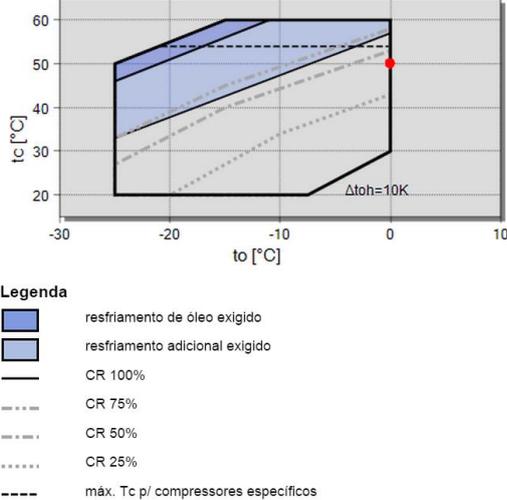
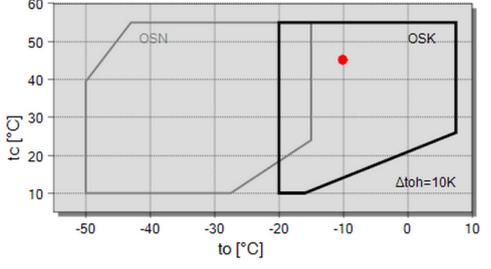
Tabela 1 - Gamas de capacidade de compressores BITZER [3]

Tipo de compressor	Gamas de capacidade (a R-404A)	
	Temperaturas positivas na câmara	Temperaturas negativas na câmara
Semi-hermético	Até 107 kW (T.E. = -10°C; T.C. = +45°C)	Ate 31kW (T.E. = -30°C; T.C.=+45°C)

Semi-hermético estágio duplo	Não aplicável	De 4-49 kW (T.E. = -40°C; T.C. = 45°C)
Parafuso semi-hermético	De 41-278 kW (T.E. = -10°C; T.C. = +45°C)	De 16-109 kW (T.E. = -30°C; T.C.=+45°C)
Parafuso compacto	De 86-700 kW (T.E. = 0°C; T.C. = +50°C)	De 16-109kW (T.E. = -30°C; T.C.=+45°C)
Parafuso Aberto	De 43-289 kW (T.E. = -10°C; T.C. = +50°C)	De 20-113 kW (T.E. = -30°C; T.C.=+45°C)

**Tabela 2 - Modelos de Compressores BITZER [3]**

Modelo compressor	Imagem	Limites de aplicação
Compressor semi-hermético BITZER Modelo 4NES-14Y		 <p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> resfriamento adicional</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> superaquecimento gás sucção &gt;10K</li> <li>— M1: motor 1</li> <li>- - - M2: motor 2</li> <li>- . - . M3: motor 3</li> </ul>
Compressor semi-hermético dois estágios Modelo S6h-20.2Y		
Compressor de parafusos semi-herméticos da BITZER Modelo HSK5363-40		 <p><b>Nota:</b> Dependendo do modelo de compressor, os seus limites podem ser de -5°C a -20°C ou de -15°C a -50°C.</p>

<p>Compressor de parafusos compacto BITZER</p> <p>Modelo CSH8563-12Y</p>		 <p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #4a7ebb; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> resfriamento de óleo exigido</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #a6c9ec; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> resfriamento adicional exigido</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> CR 100%</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> CR 75%</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px dotted black; margin-right: 5px;"></span> CR 50%</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px dash-dot black; margin-right: 5px;"></span> CR 25%</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> máx. Tc p/ compressores específicos</li> </ul>
<p>Compressor de parafusos BITZER</p> <p>Modelo OSK7461-K</p>		 <p><b>Nota:</b> Dependendo do modelo de compressor, os seus limites podem ser de -5°C a -20°C ou de -15°C a -50°C.</p>

### 2.1.1. Condensador

O condensador é um permutador de calor com a função de dissipar calor absorvido no evaporador e gerado pelo processo de compressão, para o ambiente externo ao sistema de refrigeração. O tipo de condensadores mais usados atualmente, em sistemas de refrigeração comerciais e industriais, são os condensadores arrefecidos a ar, a água, e condensadores evaporativos [2].

#### Condensador arrefecido a ar

Condensadores arrefecidos a ar são utilizados na maioria das aplicações de sistemas de refrigeração, como parte integrante de unidades condensadoras ou como condensadores à distância. Neste último caso, podem ser montados em paralelo, atingindo grandes capacidades de dissipação de calor. Condensadores a ar também são aplicados em

situações em que não é económica a utilização de sistemas arrefecidos a água, devido ao alto custo ou à indisponibilidade de água. A temperatura de condensação deve ser fixada entre 11°C e 15°C, acima da temperatura de bolbo seco do ar que entra no condensador. Do ponto de vista económico, o valor ótimo da diferença entre a temperatura de condensação e a temperatura do ar que deixa o condensador deve estar entre 3,5 e 5,5°C [2,4].

### **Condensador arrefecido a água**

Os condensadores arrefecidos a água funcionam de forma mais eficiente que os condensadores arrefecidos a ar, quando limpos e corretamente dimensionados, especialmente em períodos de temperatura ambiente elevada. Normalmente, utilizam água proveniente de uma torre de arrefecimento. Podem ser de imersão, duplo tubo e multitubulares [2,4].

A temperatura de condensação deve ser fixada entre 5,0°C e 8,0°C superior à temperatura da água que entra no condensador, isto é, da água que deixa a torre de arrefecimento [2].

### **Condensador evaporativo**

Este tipo de condensador é similar a uma torre de arrefecimento, como se pode ver na Figura 3, no interior do qual é instalada uma série de tubos, por onde passa o fluido refrigerante. No topo deste condensador são instalados injetores que pulverizam água sobre a tubagem de passagem do fluido refrigerante [2].

O contato da água com a tubagem por onde escoo o refrigerante provoca a sua condensação. A água que chega à bacia do condensador é recirculada por uma bomba, e a quantidade de água é mantida através de um controlo de nível (válvula de boia), acoplada a uma tubagem de reposição [2].

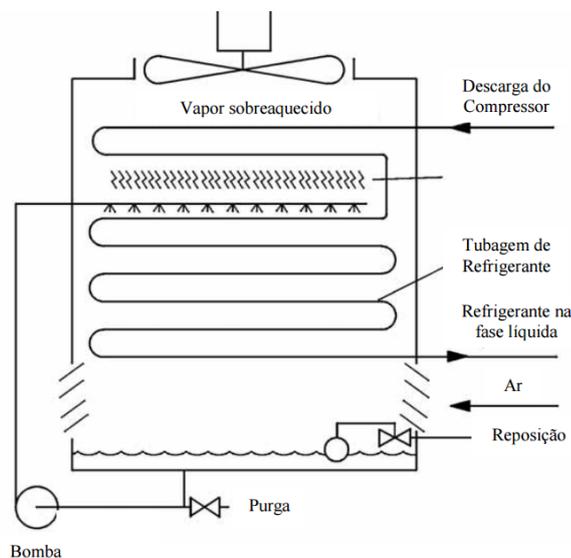


Figura 3- Condensador evaporativo [2]

### Comparações entre condensadores

Em comparação aos condensadores arrefecidos a ar, os arrefecidos a água funcionam a uma temperatura de condensação mais baixa. No entanto, estes sistemas estão sujeitos a uma intensa formação de incrustações e necessitam de caudais de água significativos, os quais, na grande maioria das vezes, não existem [2,4].

Uma vantagem dos condensadores evaporativos é o menor consumo de energia, resultado da sua bomba de água ser de menor capacidade que a requerida pelos condensadores arrefecidos a água. Os condensadores evaporativos devem estar localizados próximos dos compressores, para se evitar longas linhas de descarga (ligação entre o compressor e o condensador) [2,4].

Em condensadores a água multitubulares, o próprio condensador, ou seja, o espaço entre a carcaça e os tubos, pode ser usado como reservatório para armazenar o fluido refrigerante condensado. Em condensadores arrefecidos a ar, duplo tubo e evaporativos, um depósito de líquido deve ser instalado à parte, pois estes condensadores não têm volume suficiente para armazenar o fluido [2,4].

### 2.1.2. Unidades condensadoras

Unidades condensadoras incluem um compressor, condensador arrefecido a ar, e conjunto de partes reguladoras, bastante usadas em sistemas de pequenas e médias potências, apresentando uma solução compacta para o sistema.

### 2.1.3. Evaporador

O evaporador é um dos quatro componentes principais de um sistema de refrigeração; embora, por vezes, um dispositivo simples. Tem a finalidade de extrair calor do meio a ser refrigerado. Neste componente o fluido refrigerante, que absorve o calor a temperatura constante, por absorção do seu calor latente de evaporação, sofre uma mudança de estado (fase líquida para a fase de vapor). Quando o fluido refrigerante se encontra na fase de vapor, ao absorver mais energia sob a forma de calor, verifica-se um aumento da sua temperatura (sobreaquecimento) [2,4].

#### Eficiência

A eficiência do evaporador num sistema de refrigeração depende de três requisitos principais [4]:

- Ter uma superfície suficiente para absorver a carga de calor necessária, sem uma diferença excessiva de temperatura entre o fluido refrigerante e a substância a arrefecer, de forma a minimizar a temperatura à saída do compressor, para não se danificar;
- Deve apresentar volume suficiente para o refrigerante líquido e também volume adequado para que o vapor se separe do líquido;
- Ter dimensão suficiente para a circulação do fluido sem queda de pressão excessiva entre a entrada e a saída.

#### Classificação

Os evaporadores podem ser classificados quanto à sua construção física; superfície de troca de calor; método de circulação do ar (duplo fluxo, cúbico ou baixo perfil); sistema de alimentação [2,4].

Quanto ao sistema de alimentação os evaporadores podem ser divididos em:

- Evaporador de expansão direta (seco)

O refrigerante entra no evaporador, de forma intermitente, através de uma válvula de expansão, sendo completamente vaporizado e superaquecido ao ganhar calor ao longo do seu escoamento pelo interior dos tubos. Desta forma, numa parte do evaporador existe fluido refrigerante saturado (líquido + vapor) e na outra parte vapor

superaquecido. Este tipo de evaporador é bastante utilizado com fluidos frigoríficos halogenados. A sua desvantagem está relacionada com o seu relativamente baixo coeficiente global de transferência de calor, resultante da dificuldade de se manter a superfície dos tubos molhada com refrigerante e da superfície necessária para promover o superaquecimento [2].

- Evaporador inundado

Após ser admitido por uma válvula de expansão do tipo boia, o fluido refrigerante, escoar através dos tubos da serpentina do evaporador, removendo calor do meio a ser arrefecido. Ao receber calor, uma parte do refrigerante evapora, formando uma mistura de líquido e vapor que, ao sair do evaporador, é conduzida até um separador de líquido (com a função de separar a fase vapor da fase líquida). O refrigerante no estado de vapor saturado é aspirado pelo compressor, enquanto o líquido retorna para o evaporador, à medida que é necessário. Este tipo de evaporador usa de forma efetiva toda a sua superfície de transferência de calor, resultando em elevados coeficientes globais de transferência de calor.

O evaporador inundado é muito usado em sistemas frigoríficos que utilizam amoníaco como refrigerante. A sua utilização é limitada em sistemas com refrigerantes halogenados, devido à dificuldade de se promover o retorno do óleo ao cárter do compressor. Exige grandes quantidades de refrigerante e também possui um custo inicial mais elevado [2].

### **Descongelação**

A descongelação dos evaporadores pode ser efetuada de várias formas; descongelação a água (no caso do evaporador trabalhar com temperaturas positivas), descongelação por resistências elétricas e por gás quente [4].

#### **2.1.4. Dispositivo de expansão**

Num sistema de refrigeração, o dispositivo de expansão tem a função de reduzir a pressão do fluido refrigerante, desde a pressão de condensação até à pressão de vaporização. Ao mesmo tempo, este dispositivo deve regular o caudal de refrigerante que entra no evaporador, de modo a satisfazer a carga térmica aplicada. Tipos de dispositivos de expansão existentes [2,4]:

- Válvulas de expansão manual;
- Válvulas de expansão termostáticas;
- Válvulas de expansão eletrónicas;
- Válvulas de boia;
- Válvulas automáticas ou de pressão constante;
- Válvulas de expansão servo-pilotadas;
- Tubos capilares.

##### **Válvula de expansão manual**

Nesta válvula, o caudal de fluido, que a atravessa, depende do diferencial de pressão e da abertura da válvula. A principal desvantagem é a sua inflexibilidade às mudanças de carga do sistema, devido a ter de ser reajustada manualmente. Sempre que o compressor parar ou arrancar, a válvula deve ser fechada ou aberta por um operador. Só em grandes instalações onde há um operador responsável pelo seu funcionamento, a utilização destas válvulas se justifica [4].

##### **Válvula de expansão termostática**

Devido à sua alta eficiência e versatilidade, esta válvula é a mais utilizada em sistemas de refrigeração de expansão direta, com um ou mais evaporadores secos, com qualquer tipo de fluido refrigerante. É constituída por corpo, mola, diafragma, parafuso de ajuste e bolbo sensível. Regula o fluxo do refrigerante líquido em função da taxa de evaporação no evaporador. É controlada simultaneamente pela temperatura do fluido à saída do evaporador e pela pressão na sua entrada [2,4].

Existem válvulas de expansão termostática com equalização interna e outras com equalização externa (Figura4) [4]. As válvulas de expansão utilizadas com serpentinas de expansão direta têm usualmente equalização externa. Uma válvula com equalização externa

possui um tubo de pequeno diâmetro que interliga a região abaixo do diafragma com a saída do evaporador. Deste modo, a pressão sentida debaixo do diafragma será a mesma sentida à saída do evaporador [4].

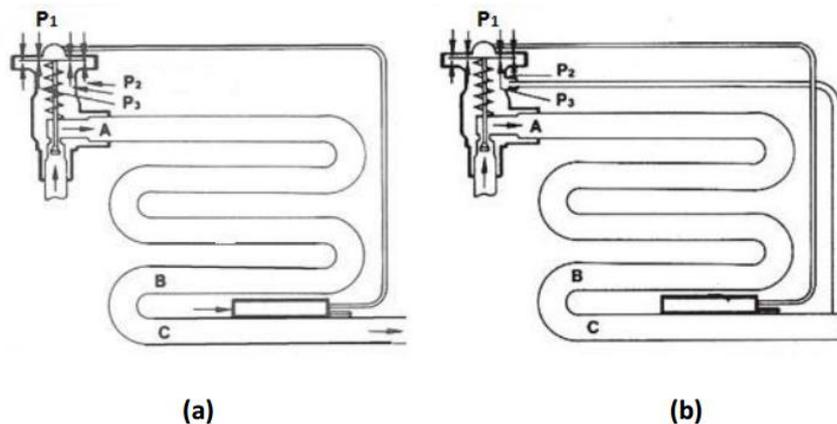


Figura 4 – Válvula de expansão termostática com equalização interna (a) e com equalização externa (b) [4]

### Válvula de expansão eletrônica

Atualmente existem três tipos de válvulas de expansão eletrônicas: acionadas por motores de passo; pulsos de largura modulada; analógicas. Esta válvula é capaz de promover um controle mais preciso e eficiente do fluxo de refrigerante. Em comparação com a válvula de expansão termostáticas [4]:

- ✓ Promove o controle mais preciso da temperatura de evaporação;
- ✓ Promove um controle consistente do sobreaquecimento, mesmo em condições de pressão variável;
- ✓ É capaz de operar com menores pressões de condensação, importante quando se tem baixa temperatura ambiente;
- ✓ Pode resultar numa economia de energia de 10% ou mais.

No próximo capítulo, este tipo de válvula será discutida em mais profundidade.

### Válvula de boia

Esta válvula de expansão mantém a nível constante o nível de líquido num depósito ou no evaporador. Existem dois tipos de válvulas de boia para sistemas de refrigeração - baixa pressão e alta pressão. A de baixa pressão é normalmente utilizada em

instalações com evaporadores inundados. A válvula de boia de alta pressão pode ser utilizada em sistemas com evaporadores secos ou inundados [2].

### **Válvula de pressão constante**

Esta válvula permite manter uma pressão constante na sua saída, inundando mais ou menos o evaporador, em função das mudanças de carga térmica do sistema. Quando o compressor é desligado, as características de operação da válvula são tais que esta fechará suavemente e permanecerá fechada até que o compressor volte a ser ligado. Pelo seu princípio de operação, adapta-se melhor a aplicações em que a carga térmica é aproximadamente constante, assim, o seu uso é limitado. A sua utilização justifica-se em aplicações em que a temperatura de evaporação é mantida constante. A principal desvantagem desta válvula é a sua baixa eficiência, especialmente em condições de carga térmica variável [2].

### **Válvula de expansão servo-pilotada**

Trata-se de um regulador de pressão e temperatura acionado por piloto, formando assim um conjunto servo-controlado. Pode ser usada em todos os sistemas de refrigeração e existem várias configurações possíveis, de acordo com a forma que se quer controlar os parâmetros de pressão e temperatura, alguns dos quais:

- Regulação de pressão constante;
- Regulação eletrónica de temperatura;
- Regulação liga/desliga;
- Regulação de pressão diferencial;
- Controlo de pressão externo com regulação liga/desliga;

A sua função é determinada pelo tipo de piloto utilizado e controla o fluxo de refrigerante de forma proporcional ou de forma liga/desliga, de acordo com o sinal enviado pelo piloto.

É uma das maneiras mais precisas para se controlar a temperatura de evaporação. Por se tratar de um regulador proporcional e integral, é possível obter uma variação mínima da temperatura desejada e também age como proteção anti congelação, pois a válvula funciona de acordo com a temperatura de saída do líquido arrefecido.

Estas válvulas são mais utilizadas em centrais frigoríficas, trabalhando simultaneamente para câmaras frigoríficas positivas e climatizações, de forma a controlar e equilibrar as diferentes pressões resultantes dos dois casos.

### **2.1.5. Depósito de líquido**

Todos os sistemas de refrigeração possuem um depósito de líquido quer integrado numa unidade condensadora ou à parte. Condensadores à distância, do tipo arrefecidos a ar ou evaporativos, não têm volume suficiente para armazenar o fluido refrigerante, sendo necessária a utilização de um depósito de líquido à parte.

Um depósito de líquido deve ter um volume suficiente para armazenar a carga total do fluido refrigerante, durante os tempos de paragem para manutenção ou devido à sazonalidade do processo de produção, do qual faz parte o sistema frigorífico.

### **2.1.6. Acessórios**

Os acessórios do circuito de refrigeração são elementos essenciais ao funcionamento autónomo de uma instalação frigorífica. Das funções que possuem, destacam-se [4]:

- Variar a quantidade de fluido refrigerante que entra no evaporador de forma a promover a temperatura desejada;
- Ajustar a temperatura de evaporação, consoante as variações da temperatura envolvente da câmara;
- Efetuar as paragens e arranques do compressor em função das temperaturas dos ambientes a refrigerar e do ambiente exterior que os envolve;
- Controlar as pressões dentro dos parâmetros considerados normais, de forma a promover o correto funcionamento das linhas;
- Regular a humidade no interior da câmara em função dos parâmetros estabelecidos;
- Promover o bom funcionamento dos condensadores, mantendo limpas as serpentinas para que haja uma boa transferência de calor;

- Controlar a viscosidade do óleo, para que o sistema usufrua de uma lubrificação adequada, permitindo o bom funcionamento do compressor;
- Efetuar o arranque automático perante uma quebra e reposição da energia elétrica.

Alguns acessórios que se integram nos sistemas de refrigeração e as suas funções:

**Termostatos ou microprocessadores** suportam o controlo e regulação de temperatura dentro dos espaços refrigerados [4].

**Pressostatos** são interruptores elétricos comandados pela pressão. Podem ser pressostatos de baixa pressão (desligam quando a pressão de sucção se torna inferior a um determinado valor), de alta pressão (desligam quando a pressão de sucção se torna superior a um determinado valor), de alta e baixa pressão e diferenciais, destinados ao controlo da pressão do óleo de lubrificação dos compressores (desligam quando a diferença entre a pressão da bomba e do cárter do compressor é insuficiente para uma lubrificação adequada) [2].

**Visor de líquido** instalado na saída do depósito de líquido ou na entrada do evaporador, permite verificar o nível de líquido na tubagem e a presença de humidade [2]

**Visor de óleo** permite indicar o nível de retorno de óleo ao compressor a partir do separador de óleo [4].

**Filtros secadores** podem ser montados quer na linha de líquido como na de sucção dos sistemas de refrigeração e permitem remover ácidos e sujidades das tubagens que potenciam a degradação dos equipamentos. Quando colocados na linha de sucção evitam que impurezas penetrem no compressor juntamente com o fluido refrigerante. O filtro na linha de líquido destina-se a evitar que impurezas passem para o evaporador juntamente com o fluido refrigerante. Tem ainda a função de eliminar a humidade presente no sistema [2].

**Válvulas solenoides** são válvulas controladas eletricamente por solenoides. O comando elétrico pode ser acionado por um pressostato, termostato ou interruptor manual. São classificadas como normalmente abertas ou normalmente fechadas. Instaladas na linha de líquido, controlam o fluxo de refrigerante para a válvula de expansão. Podem também ser usadas a fim de controlar a capacidade dos compressores ou para atuar sobre as válvulas de expansão, de modo a promover a recolha do fluido refrigerante. Em instalações de grande potência, é recomendável serem operadas por piloto [2].

**Separadores de óleo** usados principalmente em instalações de média e grande capacidade, onde o retorno de óleo é inadequado, ou a quantidade de óleo em circulação é excessiva. São dispositivos mecânicos que permitem separar o óleo dissolvido no gás a alta pressão que chega aos compressores. A circulação desse óleo ao longo do sistema não provoca danos, porém pode interferir com o funcionamento dos seus componentes. Assim, promovem o bom funcionamento e eficácia do sistema, ao permitir uma lubrificação correta. São instalados entre o compressor e o condensador [2,4].

**Filtros, depósitos e reguladores de nível de óleo** são utilizados nas instalações de média/elevada potência e permitem um bom controlo e equilíbrio dos níveis de óleo [4].

**Válvulas de seccionamento e de retenção** são válvulas de corte e seccionamento nos circuitos de refrigeração, de duas vias. A válvula pode ser do formato tipo obturador de agulha, cunha ou esférico. Podem ser instaladas nas linhas de alta como nas linhas de baixa pressão [4].

### 3. MEDIDAS E TECNOLOGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

De forma a determinar a eficiência energética e as estratégias de resposta às necessidades de instalações frigoríficas, devem ser cuidadosamente examinados todos os processos e usos da energia. Medidas de eficiência energética e desempenho energético reduzem o uso global de energia e diminuem os custos de operação, estando relacionadas com a melhoria do isolamento dos ambientes refrigerados, instalação de portas rápidas, alteração do tipo de iluminação, instalação de controladores como variadores de velocidade e sistemas de controlo integrados, e mudança para equipamentos mais eficientes.

Os controladores usados em sistemas de refrigeração desempenham um papel essencial na eficiência de operação das instalações. Tecnologias de controlo avançadas podem melhorar a eficiência energética e implementar estratégias de resposta a necessidades, assim como melhorar o acesso e gestão da informação do sistema. Um sistema de controlo avançado necessita de menos tempo para avaliar o equipamento. Desta forma, o equipamento funciona por períodos de tempo mais curtos, o que resulta em reduzidos custos de operação e manutenção. A qualidade dos produtos armazenados é também melhorada através de processos e condições bem controlados. Tais controlos reduzem a necessidade de leituras e ajustes manuais dos equipamentos [5].

Diferentes componentes de um sistema de refrigeração podem ser adaptados, atualizados ou integrados com estratégias de controlo a nível do sistema. Dentro de uma instalação de refrigeração, todos os componentes têm controladores individuais [5]:

- Evaporadores que possuem válvula solenoide e controladores de pressão, controladores para os ventiladores e controladores de descongelação, permitem serem ajustados conforme a zona de temperatura de trabalho.
- Condensadores, que possuem controladores de bomba e ventiladores, permitem ajustes conforme a pressão de condensação.
- Compressores com controladores de *on/off* e de descarga permitem ajustes de acordo com a pressão de sucção.

Para além disso, uma manutenção calendarizada pode melhorar a eficiência operacional global de um sistema e sustentar o impacto das medidas de eficiência [5].

### 3.1. Análise de sistemas

Numa análise a sistemas de refrigeração, em relação à sua utilização, condições de operação, conservação e manutenção, de forma a assegurar o funcionamento eficiente do sistema devem ser verificados vários itens [2]. Na Tabela 3 encontram-se alguns problemas detetados em instalações frigoríficas, os seus efeitos e soluções. A resolução destes problemas é importante, já que leva a uma redução de perdas energéticas e aumento de eficiência do sistema.

Tabela 3 - Problemas em instalações e suas complicações [2]

<b>Problema</b>	<b>Efeito</b>	<b>Solução</b>
<u>Nível inadequado de temperatura na câmara</u>	Pode prejudicar as condições de preservação dos produtos armazenados, e/ou elevar a carga térmica desnecessariamente.	Instalação de termostatos nas câmaras.
<u>Inexistência de termostato ou pressostato</u>	Funcionamento contínuo da instalação, o que resulta num desperdício energético.	Instalação de termostatos e pressostatos nas câmaras.
<u>Tipo inadequado de iluminação</u>	Ganhos térmicos indesejados nas câmaras e maiores consumos energéticos	Optar por lâmpadas que emitam menos calor e manter um nível de iluminação recomendado de 10W por metro quadrado.
<u>Forma inadequada de armazenamento de produtos nos</u>	Pode prejudicar a circulação de ar frio no ambiente, acarretando um aumento no consumo de energia elétrica.	Não sobrecarregar as câmaras e garantir uma distribuição uniforme.

<u>espaços refrigerados</u>		
<u>Instalação do espaço refrigerado próximo a fontes de calor</u>	Eleva a carga térmica e o consumo de energia elétrica.	Auto explanatória
<u>Inexistência de controlo da iluminação interna.</u>	Aumento do consumo de energia elétrica caso a iluminação permanecer em funcionamento quando não é necessária.	A instalação de um interruptor de fim de curso no batente da porta, para que a iluminação interna seja desligada com o fecho da porta.
<u>Portas e acessos abertos por demasiado tempo.</u>	Perdas de frio para o ambiente.	As aberturas de portas e outros acessos, aos espaços refrigerados, devem ser fechadas, sempre que possível.
<u>Formação de gelo no evaporador e nas tubagens de refrigerante</u>	Dificulta a troca de calor, resultando numa redução de eficiência e aumento no consumo de energia. Pode ser causada pela falta de isolamento das tubagens, desregulação da válvula termostática ou simplesmente pelo regime de funcionamento.	O degelo deve ser efetuado, de forma sistemática ou quando necessário.
<u>Falta de automação dos moto-ventiladores dos evaporadores</u>	Fuga de ar refrigerado e a entrada de ar quente. A automação do funcionamento dos moto-ventiladores, por meio da instalação de um interruptor liga/desliga na porta, desliga o motor do ventilador	Os moto-ventiladores devem permanecer desligados enquanto a porta do ambiente refrigerado permanecer aberta,

	dos evaporadores, economizando energia elétrica e térmica.	
<u>Condensador próximo a fontes de calor</u>	Aumenta a temperatura de condensação, reduz a eficiência do sistema e eleva o consumo de energia elétrica.	Auto explanatória.
<u>Presença de impurezas (óleo e poeira) nas alhetas e tubos do condensador</u>	Reduz a eficiência do condensador elevando o consumo de energia elétrica. É recomendável uma limpeza periódica.	Limpeza regular ou quando necessária.
<u>Condensador instalado em local obstruído</u>	Dificulta a circulação de ar através da área responsável pela troca térmica, contribuindo para o aumento do consumo de energia elétrica.	Auto explanatória.
<u>Conjunto motor/compressor não alinhado ou mal fixado à base.</u>	Pode provocar danos ao equipamento, reduzindo a eficiência da transmissão e elevando o consumo de energia elétrica.	Garantir o alinhamento do conjunto.
<u>Perda de óleo no compressor ou conexões.</u>	Reduz a vida útil e eficiência térmica do compressor, elevando o consumo de energia.	Garantir o bom estado das vedações.
<u>Compressor ou central de refrigeração não instalados em nível inferior aos evaporadores.</u>	Dificulta o retorno do óleo lubrificante ao cárter, além de provocar a acumulação desse óleo no evaporador e tubagem, reduzindo a vida útil do compressor e diminuindo a eficiência do sistema.	Auto explanatória.

<u>Falta de separador de óleo na saída do compressor</u>	Permite a passagem do óleo do cárter para a instalação; compromete a eficiência do sistema de refrigeração, devido à acumulação desse óleo nas superfícies dos permutadores de calor, além de danificar o compressor, devido à falta de óleo.	Auto explanatória.
--	---	--------------------

### 3.2. Medidas de eficiência energética

Dentro das medidas de eficiência energética de implementação simples, destacam-se:

**Portas rápidas:** Ajudam a reduzir a infiltração de ar e correspondentes ganhos térmicos para os espaços refrigerados. Portas bipartidas, seccionais e portas deslizantes, abrem em segundos e podem ser controladas por sensores magnéticos no chão, detetores de movimento óticos ou controladas remotamente por operadores. Estas portas poupam uma significativa quantidade de energia em comparação a outras, como pivotantes ou cortinas, que não reduzem tão eficientemente a infiltração de ar [5].

**Iluminação e sistemas de climatização:** Podem ser alterados para diminuir o uso e necessidade de energia da instalação, reduzindo custos de operação globais. A alteração para iluminação energeticamente mais eficiente num espaço refrigerado também diminui a carga de refrigeração, pela redução de calor emitido [5].

**Variadores de velocidade:** Em condições de carga parcial, reduzem a velocidade de operação dos motores elétricos dos equipamentos, de forma a se ajustarem à carga necessária (o equipamento funciona apenas a velocidades necessárias). Assim, é melhorada a eficiência do sistema, reduzindo o uso global de energia. Variadores de velocidade podem ser instalados em compressores, evaporadores e condensadores [5].

**Trabalho cíclico:** Envolve ligar e desligar o equipamento, para fazer corresponder a sua capacidade às necessidades de carga. Os sistemas de controlo são capazes de desligar o equipamento de refrigeração em certas zonas, em intervalos programados, e reativá-los, se a temperatura exceder os limites de funcionamento. No entanto, este tipo de solução aplicada a compressores e evaporadores pode reduzir o tempo de vida do equipamento e aumentar a necessidade de manutenção, a menos que medidas sejam tomadas, como introduzir um arranque suave [5].

**Pedido de refrigeração:** Esta solução acarreta desligar toda a instalação frigorífica, quando a temperatura de todas as zonas se encontra razoavelmente próxima do *set-point* definido. O sistema é novamente ligado, quando uma única temperatura de uma zona atingir um certo valor predefinido. A sequência é repetida continuamente [5].

**Compressores:** A eficiência dos compressores pode ser melhorada, reduzindo a diferença entre a pressão de sucção e de descarga (*lift*) do sistema de refrigeração. Este diferencial de pressão pode ser reduzido, aumentando a pressão de sucção ou diminuindo a pressão de descarga. As características de carga e descarga de um compressor são um fator importante a considerar, quando se planeia melhorias de eficiência [5].

**Condensadores:** Instalar variadores de velocidade nos moto-ventiladores dos condensadores, permite poupanças energéticas, diminuir desgastes e melhora o controlo de pressão [5].

**Evaporadores:** A eficiência dos evaporadores pode ser melhorada com a instalação de variadores de frequência nos seus moto-ventiladores e selecionando evaporadores com maior eficiência na serpentina [5].

**Melhorar o desempenho em carga parcial:** Melhorar o desempenho a carga parcial do equipamento de frio, pode resultar numa redução significativa no uso de energia da instalação. O desempenho em carga parcial dos evaporadores pode ser melhorado, ciclizando o seu funcionamento, usando moto-ventiladores de duas velocidades, ou instalando variadores de velocidade. No caso dos compressores, pode limitar-se a operação

em carga parcial, usar compressores com melhores características para trabalhar em carga parcial e permitindo outros compressores operarem em capacidade máxima. Nos condensadores, este desempenho pode ser melhorado instalando controladores nos ventiladores que utilizem variadores de velocidade [5].

**Controlo de descongelação automatizado:** A descongelação de serpentinas dos evaporadores gera calor que é adicionado aos espaços refrigerados. Um controlo automático de descongelação, em vez de uma descongelação programada, pode reduzir ações desnecessárias e assim reduzir os gastos energéticos [5]

### 3.3. Sistemas de controlo

Muitos sistemas de refrigeração dispõem de sistemas de controlo computadorizados para monitorizar e controlar o desempenho dos componentes da instalação. O controlo computacional permite monitorizar parâmetros chave, tais como temperatura, pressão, caudal, uso de energia, necessidades de refrigeração e outros. De seguida listam-se alguns exemplos de sistemas de controlo [5]:

- Controladores individuais – sistemas de nível mais básico, controlam a operação de equipamentos individuais, usados em sistemas AVAC e em pequenos processos que não requerem supervisão direta.
- Sistemas de controlo distribuídos (DCS) – sistemas mais complexos que consistem em múltiplos elementos de controlo direto. Resultam na aplicação de dados, em tempo real, a um controlador industrial sem intervenção humana.
- Sistemas de controlo integrado, tais como sistemas de controlo supervisionado e de aquisição de dados (SCADA) – sistemas de medida e controlo que reúnem dados em tempo real de localizações remotas e controlam equipamento e condições de operação.

#### Sistema SCADA

A Figura 5 representa os componentes básicos de um sistema SCADA que pode incluir unidades terminais remotas (RTUs), controladores lógicos programáveis (PLCs) e

controles lógicos de derivações integrais proporcionais (PIDs). Em separado do sistema SCADA, encontra-se o centro de controlo, também conhecido como unidade terminal mestra (MTU), onde os dados do sistema são armazenados e onde os supervisores podem gerir atividades automáticas através de interfaces (HMI) [2].

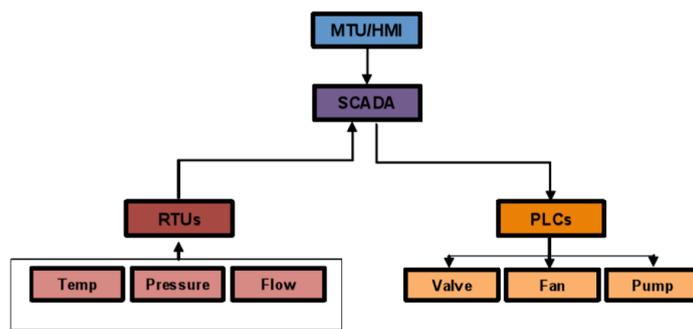


Figura 5 - Esquema de um sistema SCADA [5]

A tecnologia SCADA engloba redes de controlo e comunicação que permitem o controlo do sistema. RTUs são microprocessadores que armazenam dados de sensores e comunicam-nos ao SCADA. O sistema SCADA adquire e processa essa informação, emite alarmes e controla ou permite que um supervisor controle o equipamento. PLCs recebem as instruções do sistema SCADA, tomam decisões lógicas e comunicam com o equipamento para executar instruções [5].

O tipo de sistema mais usado em instalações de refrigeração é o DCS. A maioria das instalações tem um sistema centralizado limitado, usado principalmente para guardar os dados monitorizados e parâmetros de controlo, como temperaturas de *set-point*. Obviamente, os sistemas SCADA são os que dispõem das melhores capacidades de comunicação, para respostas automáticas a necessidades do sistema de refrigeração [5].

A marca *Dixell*, do grupo *Emerson Climate Technologies*, disponibiliza a família de sistemas de controlo XWEB EVO, baseada em tecnologia *web* usada para monitorizar e supervisionar as necessidades nos campos de refrigeração comercial, industrial e aplicações AVAC. Para instalações de refrigeração de média/elevada potência, os dois sistemas disponíveis que, para além de monitorizar e controlar, melhoram automaticamente o desempenho energético da instalação são os XWEB500EVO e XWEB5000EVO [6]. No Apêndice A encontram-se as especificações destes sistemas.

## 3.4. Equipamentos de controlo

### 3.4.1. Controladores nos compressores

Os compressores são responsáveis por cerca de 70%, ou mais, da carga energética total de um sistema de refrigeração, tornando crucial a existência de controladores eficientes, para facilitar a gestão das cargas.

Um método primário de ajustar a capacidade de refrigeração é ligar, desligar e descarregar compressores. Por vezes, os compressores utilizam meios de controlo ineficientes, tais como pressostatos *on/off* ou controladores manuais. Controladores avançados incluem um controlo automático de pressão que define uma ótima pressão de sucção nos compressores para as condições de operação. Os compressores também podem ser controlados pela gestão da pressão de descarga, através do uso de certos controladores de pressão, função das capacidades da válvula de expansão e do condensador [5].

O uso de controladores computadorizados assiste na sequenciação apropriada do compressor, para funcionar mais eficientemente para cargas específicas. Por exemplo, se não existir uma necessidade por refrigeração, por um período de tempo adequado, os compressores irão desligar completamente. O sequenciamento permite um controlo direto dos compressores, o que pode reduzir instantaneamente a carga debitada para o sistema, controlando as válvulas elétricas e válvulas de sucção [5].

Os compressores, ainda, podem ser controlados mais eficientemente, aplicando-se controlo de capacidade, ou inversores de frequência, que ajustam a velocidade de rotação do motor do compressor para o ponto mais eficiente para uma determinada carga de refrigeração necessária [5].

Compressores mais antigos podem ser atualizados com microprocessadores de controlo, expositores LCD, transmissores de temperatura, terminais e sensores de pressão e corrente do motor que permitem uma melhor monitorização e controlo [5].

#### **Compressores com inversores de frequência**

Em aplicações comuns, o motor do compressor, alimentado diretamente da rede, opera sempre a uma velocidade constante.

De modo a adaptar a capacidade do compressor à atual necessidade de refrigeração do sistema, inversores de frequência são cada vez mais usados. A velocidade

do motor do compressor é continuamente ajustada por um inversor de frequência numa gama adicional de velocidades.

Características da operação com um inversor de frequências [7]:

- Aumento da eficiência do sistema, especialmente no caso de carga parcial;
- Maior tempo de vida do compressor, pelo reduzido número de arranques do mesmo;
- Função integrada de arranque suave integrada – a corrente de arranque é mais baixa do que o habitual. Em alguns casos é necessário usar arranque em vazio, dependendo do projeto do sistema (casos de difíceis condições de arranque);
- Reduzido risco de golpes de líquido por redução da taxa de entrega no arranque;
- Um aumento da capacidade do compressor é possível, operando acima da velocidade síncrona;
- Durante períodos de pico de carga, a operação numa banda de frequências acima da frequência da rede pode aumentar a capacidade do compressor até 70%, comparada com a operação sujeita à frequência de rede (se a voltagem aumentar proporcionalmente à frequência);
- Quanto maior for a qualidade do inversor de frequência, menor será o fator de distorção harmónico no sinal de saída. Harmónicos reduzem a eficiência do motor, causando um aquecimento elevado motor;
- O consumo eléctrico com um inversor de frequência é ligeiramente superior à operação directa da alimentação da rede, devido a perdas de calor do motor (aquecimento), e perdas no inversor de frequência (causadas por perdas individuais de componentes electrónicos para conversão de energia);
- Devido à grande gama de velocidade obtida com o inversor de frequência, é possível ocorrer ressonância durante o funcionamento.

A marca Bitzer disponibiliza uma série de compressores, semi-herméticos integrados com unidades inversoras de frequência (Ecoline Varispeed), assim como uma série de compressores de parafuso também integrados com unidades inversoras de frequência (CSVH), cuja descrição detalhada se encontra no Apêndice B [7].

### **Compressores com controlo de capacidade**

O controlo de capacidade é muitas vezes necessário para igualar o *output* de capacidade de um sistema de refrigeração, ao que é efetivamente necessário para assegurar as condições desejadas de operação. O aumento de carga térmica sem uma resposta do compressor pode provocar aumento na temperatura de evaporação e comprometer a qualidade dos produtos armazenados; o funcionamento contínuo do compressor para uma condição de carga térmica reduzida pode baixar demasiadamente a temperatura de evaporação. Para além de que o controlo de capacidade previne grandes comutações de frequência do compressor e, assim, assegura uma maior eficiência na operação do sistema [4].

Exemplos de métodos aplicados no controlo de capacidade do compressor [4]:

- Ligando ou desligando o compressor;
- Estrangulamento do gás de aspiração por meio do uso de uma válvula reguladora de pressão de sucção;
- Desvio do gás na descarga do compressor para a linha de aspiração ou para o evaporador;
- Funcionamento em vazio de um ou mais cilindros (através da abertura contínua da válvula de descarga).

A marca Bitzer disponibiliza um sistema para regulação de capacidade dos compressores, consistido na válvula CRII (ver Apêndice C) [8].

### **3.4.2. Controladores nos condensadores e evaporadores**

De forma a manter um controlo de capacidade ótimo, os moto-ventiladores podem ser controlados usando controladores de duas velocidades ou tecnologia de velocidade variável (ECM). Controladores cíclicos de duas velocidades e de velocidade variável podem reduzir de 25-50% a energia elétrica consumida [5].

Colocando os ventiladores do condensador a trabalhar a velocidades mais baixas, toda a área das serpentinas é usada, o que permite uma operação mais eficiente que

o habitual modo de ligar/desligar. Moto-ventiladores de velocidade variável permitem aos condensadores operar a capacidade reduzida durante um evento resposta [5].

Nos evaporadores a tecnologia de velocidade variável, para os ventiladores, permite um controlo mais estável da temperatura da câmara, evitando, assim, perdas de humidade e mantendo a qualidade do produto armazenado. No entanto, acionar os ventiladores a velocidades mais baixas pode resultar em caudais de ar mais baixos. Esta operação deve ser controlada, de forma a garantir que o reduzido caudal de ar debitado não origina zonas quentes, na área de armazenamento e aumento de temperatura do produto [5].

O controlo por velocidade variável provoca menores perdas de calor, que reduz as cargas dos compressores e condensadores. Tal como a tecnologia de variação de velocidade nos compressores, a redução da velocidade dos ventiladores dos evaporadores reduz a energia necessária durante a necessidade de um evento de resposta [5].

Muitos condensadores e evaporadores são empregues com moto-ventiladores de duas velocidades, contudo, não atingem as mesmas poupanças que um controlador de velocidade variável [5].

### **Motores de Comutação Eletrónica (ECM)**

Por vezes um dos fatores responsáveis pela enorme quantidade de energia consumida por uma instalação de refrigeração é a energia dissipada pelos moto-ventiladores que acionam dos evaporadores e condensadores.

Os motores mais usados para o acionamento de ventiladores em sistemas de refrigeração são motores de indução AC, dos quais se identificam os "shaded pole motors" e os "permanent split capacitor motors" [9,10]:

- "Shaded Pole motors", sendo a opção mais barata para acionar um ventilador, são vendidos em enormes quantidades na indústria de refrigeração e ventilação; no entanto, são ineficientes, com apenas 18% de eficiência.
- "Permanent split capacitor motors" precisam de um capacitador (um dispositivo usado para armazenar carga elétrica, constituído por um ou mais pares de condutores separados por um isolante) para ser conectado

ao circuito do motor. Estes motores em carga máxima apresentam 50-60% de eficiência; no entanto, em muitos casos, funcionam em carga parcial, o que reduz a eficiência para 12-45%.

ECM são como motores DC sem escovas (os motores DC necessitam de escovas para fornecer a função de comutação), onde a direção da corrente elétrica é comutada através de controladores elétricos. A definição de comutação é inverter a direção de uma corrente elétrica alternada (o meio pelo qual todos os motores elétricos funcionam) [10,11].

São constituídos por um motor sem escovas de ímã permanente integrado com um módulo de controlo (Figura 7), com a função de controlar o fluxo de corrente elétrica para o motor. [9]



**Figura 6 - Módulo de controlo e Motor**

O módulo de controlo é a parte fundamental do dispositivo, convertendo corrente AC para DC para operar os componentes eletrónicos internos. O microprocessador no módulo de controlo é programado para então converter a corrente DC para um sinal trifásico a fim de acionar o motor. O módulo de controlo possui também a habilidade de controlar a frequência (que controla a velocidade em rotações por minuto) e a quantidade de binário (corrente/potencia) que fornece ao motor [11].

O motor trata-se, basicamente, de um motor trifásico com um rotor magnético permanente. Rotor esse que contribui para a eficiência elétrica do ECM e também para a sua capacidade, para controlar o número de rotações por minuto e comutação [11].

Em termos de tempo de vida, são projetados para tempos de vida iguais ou superiores aos dos motores AC.

### Vantagens

Os ECM são motores de alta eficiência, rondando os 65-75%, e mantêm uma alta eficiência ao operar a velocidades mais baixas. Costumam utilizar menos de um terço a metade da eletricidade usada em motores de indução tradicionais, quando usados em sistemas de ventilação e refrigeração, o que se traduz em menores custos de operação e períodos de amortização baixos. Não têm problemas de sobreaquecimento e requerem pouca manutenção, o que leva a um maior tempo de vida. Em relação a ruído, os ECM são mais silenciosos que os tradicionais [9,10].

A maior eficiência destes motores também leva a menor calor produzido e desperdiçado por eles, o que, por sua vez, permite ainda maiores poupanças de energia já que reduz o esforço de operação ao nível no compressor [10].

Outra vantagem, deste tipo de motores, é a maior gama de possíveis fluxos de ar, face aos tradicionais motores de indução, já que o controlo pode ser feito de forma a alterar a quantidade de ar que o motor fornece ao sistema [10].

Sendo controlados por *software*, permitem aos usuários otimizar o motor, ventilador e controlador com a sua aplicação e incluir recursos como a comunicação de dados, velocidade variável, entre outros [10].

Mesmo um ECM a funcionar a velocidade fixa, numa unidade condensadora, utiliza menos energia que o típico motor PSC a funcionar a velocidade fixa. Um condensador a operar com um ECM terá um menor SEER. Enquanto que um motor PSC começa a funcionar e quase que imediatamente opera à sua capacidade em carga máxima, um ECM pode começar devagar e parar devagar, o que ajuda a reduzir a humidade, desejável em sistemas de refrigeração [9].

### Situações de implementação

Os ECM são uma opção de implementação por vezes cara, mas justificável, podendo levar a enormes poupanças energéticas, principalmente para sistemas de grande potência, - tuneis de congelação, grandes câmaras de conservação, em instalações comerciais e industriais, entre outros, - o que reduz o tempo de amortização dos sistemas, assim como gera poupanças em termos de substituição de motores e manutenção.

Com uma maior eficiência energética, os usuários também reduzem as suas emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelas suas instalações.

No catálogo Técnico Resumido e Preçário do fabricante Centauro, já é oferecida a opção para implementar motores ECM, na maioria dos seus modelos de condensadores. Apesar de alguns dos preços não serem anunciados, e apenas dados sob pedido [12].

### **3.4.3. Válvulas de expansão eletrônicas**

Válvulas de expansão eletrônicas são mais eficientes e facilmente ajustáveis que as válvulas de expansão termostática. Contrariamente à válvula de expansão termostática, a eletrônica não precisa de alta pressão e, então, pode ser operada a uma menor pressão e temperatura de condensação, resultando em menores gastos energéticos em situações de cargas mais elevadas. Para além da geral eficiência, esta válvula pode ser mais facilmente ajustada para reduzir o fluxo durante horas de ponta. Entre os três tipos de válvulas eletrônicas existentes (acionadas por motores de passo, de pulsos de largura modulada e as analógicas), as acionadas por motores de passo são as que têm melhor eficiência e promovem um controlo mais preciso, pelo que são as mais usadas e fabricadas [2, 5].

#### **Válvulas de expansão eletrônica de motor de passo**

Os motores de passo podem ser controlados eletronicamente. O movimento de rotação destes motores pode ser transformado em movimento de translação, através da utilização de um acoplamento por engrenagens e cremalheiras, permitindo executar os movimentos de abertura e fecho das válvulas de expansão [2].

O controlo das válvulas eletrônicas pode ser feito através de um sinal gerado a partir de um termistor do tipo NTC, instalado na saída do evaporador, que pode detetar a presença de refrigerante líquido. Quando não existe a presença de líquido, a temperatura do termistor aumenta, reduzindo a sua resistência elétrica. Esta variação de resistência pode ser analisada por um circuito que enviará o sinal digital para o posicionamento da agulha da válvula [2].

O grupo Emerson Climate Technologies disponibiliza a EX3, uma válvula de expansão eletrônica, de motor de passo e, ao mesmo tempo, uma válvula de retenção, relativamente recente no mercado, cujos detalhes se apresentam no Apêndice D [13].

#### **3.4.4. Controlo de descongelação**

Controladores de descongelação monitorizam a temperatura na serpentina do evaporador e o ambiente em redor desta. Um controlo avançado de descongelação permite retirar o gelo da serpentina do evaporador, quando necessário, assim que a temperatura de *set-point* é atingida, em vez de uma descongelação calendarizada. Esta estratégia reduz a energia usada e previne descongelações desnecessárias, que podem afetar a qualidade do produto armazenado. Controladores avançados de descongelação podem ser usados para trocar ou adiar o processo, durante um evento de resposta [5].

Em vez da utilização de resistências elétricas para efetuar a descongelação é possível recorrer a gás quente. É adicionada uma válvula para inversão de ciclo ao condensador que, em conjunto com um sistema eletrónico de controlo, pode reverter o fluxo do refrigerante durante a descongelação. O refrigerante a alta temperatura é invertido, pelo que há menos formação de gelo, do que com a utilização de resistências elétricas. Esta tecnologia pode reduzir as cargas de descongelação até 80% [5].

### **3.5. Novos Fluidos Refrigerantes**

Os sistemas de refrigeração e ar condicionado geram direta e indiretamente emissões de CO<sub>2</sub> durante o seu ciclo de vida. Com uma crescente preocupação com o impacto ambiental dos refrigerantes, tem surgido a necessidade de soluções de refrigeração capazes de fornecer bons desempenhos de arrefecimento enquanto possuem um reduzido impacto de aquecimento global. Esta problemática impulsiona a criação e utilização de novas soluções de refrigeração amigas do ambiente. Para além do mais, a legislação visa proibir os gases de refrigeração com elevados potenciais de aquecimento global para projetos de novas instalações, já em 2020. Assim, ao longo do tempo, os fluidos refrigerantes foram sendo substituídos por novas substâncias, desenvolvidas para terem menor impacto ambiental e maior eficiência [14,15,16].

Ao longo dos últimos 20 anos, o gás refrigerante R404A tem sido um gás bastante usado em muitas aplicações, inclusivamente nos sistemas de refrigeração comercial e industrial. Apesar de ser um refrigerante efetivo, o R404A tem um dos maiores potenciais de aquecimento global (GWPs) dentro dos refrigerantes, levando diretamente a uma elevada

emissão de gases efeito de estufa e, portanto, maiores emissões de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq.), ao longo do tempo de operação das instalações [14,15,16].

De seguida, são apresentadas as soluções existentes mais apropriadas para a substituição dos próximos gases proibidos, nomeadamente o R404A.

### **R407A/R407F**

Os gases R407A e R404F são umas das soluções existentes de substituição para os existentes sistemas a R404A. Estes gases, baixos em potencial de aquecimento global, foram demonstrados como sendo mais eficientes que o R404A em muitos sistemas. Ambos, R407A e R407F, podem ser também um substituto do R22 [14,15].

### **R407A**

Na Figura 8 apresenta-se uma comparação entre os gases R404A e R407A, listando-se na Tabela 4 os benefícios que o R407A fornece. Em termos de emissões provocadas, pode ver-se na Figura 9 a comparação com o refrigerante R404A.

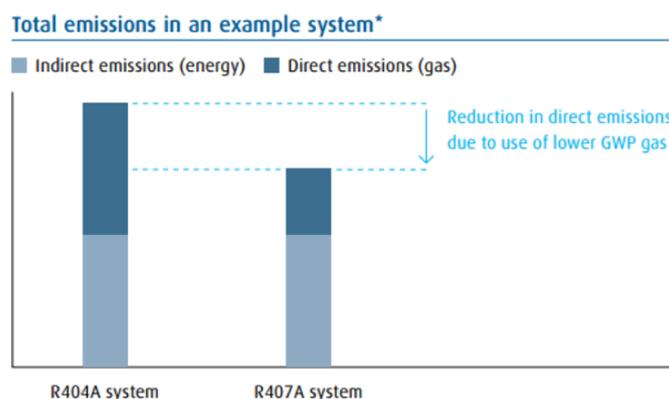
	<b>R404A</b>	<b>R407A</b>
Constituents	R143a/R125/R134a	R134a/R125/R32
Preferred oil	Polyolester (POE)	Polyolester (POE)
ASHRAE safety classification	A1 – non-toxic & non-flammable	A1 – non-toxic & non-flammable
Boiling point @ 1atm	-46.5°C	-45.5°C
Critical temperature	72.0°C	82.3°C
Critical pressure	37.3 bar(a)	45.2 bar(a)
GWP	3922	2107
GWP as % of R404A	100%	54%

**Figura 7 - Comparação entre refrigerantes R404A e R407A [14]**

**Tabela 4 – Vantagens do refrigerante R407A [14]**

<b>Impacto ambiental</b>	<b>Processo de substituição</b>	<b>Performance</b>
Quase 50% de redução de GWP em relação ao R404A.	Compatível com os mesmos óleos, elastómetros e plásticos que o R404A	Capacidade de refrigeração similar à do R404A

Zero potencial de depleção de ozono	Aprovado por um elevado número de fabricantes de compressores	Poupanças energéticas até 10% em muitos sistemas
Não tóxico e não inflamável	Elevada disponibilidade, com muitos exemplos de longo uso com sucesso	Temperaturas de descarga mais baixas que outros substitutos de R404A, reduzindo a necessidade de proteção de calor dos compressores (injeção líquida)



**Figura 8 - Comparação de emissões entre R404A e R407A [14]**

A mudança de R404A para R407A é um processo relativamente simples. O R407A é completamente compatível com os lubrificantes num sistema a R404A. Em muitos casos, o mesmo óleo pode ser usado. O R407A é azeotrópico, portanto deve ser carregado na fase líquida para prevenir fracionamento. O R407A tem um moderado deslizamento, no entanto isto pode ser facilmente corrigido ajustando a válvula de expansão. Também é recomendado fazer uma revisão ao sistema de refrigeração, mudando o filtro secador e as vedações [14].

### R407F

Na Figura 10 apresenta-se uma comparação entre os gases R404A e R407A, listando-se na Tabela 5 os benefícios que o R407A fornece. Em termos de emissões provocadas, pode ver-se na Figura 11 a comparação com o refrigerante R404A.

	R404A	R407F
Constituents	R143a/R125/R134a	R134a/R125/R32
Preferred oil	Polyolester (POE)	Polyolester (POE)
ASHRAE safety classification	A1 – non-toxic & non-flammable	A1 – non-toxic & non-flammable
Boiling point @ 1atm	-46.5°C	-45.5°C
Critical temperature	72.0°C	82.7°C
Critical pressure	37.3 bar(a)	47.5 bar(a)
GWP	3922	1824
GWP as % of R404A	100%	46%

Figura 9 - Comparação entre refrigerantes R404A e R407F [15]

Tabela 5- Vantagens do refrigerante R-407F [15]

Impacto ambiental	Processo de substituição	Performance
Quase 50% de redução de GWP em relação ao R404A.	Compatível com os mesmos óleos, elastómetros e plásticos que o R404A	Capacidade de refrigeração similar à do R404A
Zero potencial de depleção de ozono	Aprovado por um crescente número de fabricantes de compressores	Poupanças energéticas até 10% em muitos sistemas
Não tóxico e não inflamável	Novo produto, com muitos casos de referência de substituição bem-sucedida	

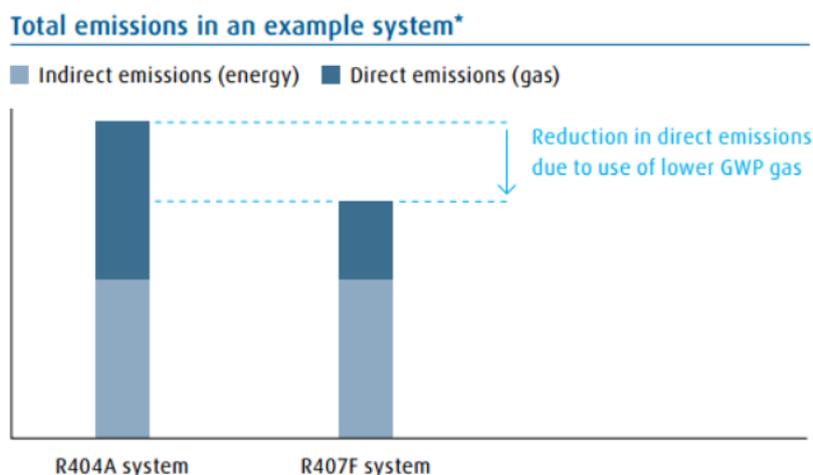


Figura 10 - Comparação de emissões entre R404A e R407F [15]

O R407F também é completamente compatível com os lubrificantes num sistema a R404A. Em muitos casos, o mesmo óleo pode ser usado. O R407F tem um fluxo mássico inferior ao R404A, portanto é aconselhável verificar as dimensões das tubagens para assegurar a sua compatibilidade. O R407F tem temperaturas de descarga mais elevadas que o R404A, assim, é aconselhado consultar os fabricantes de compressores para confirmar quais as temperaturas de descarga aceitáveis [15].

### R449A

O Opteon XP40 (R449A) é um fluido refrigerante que combina um excelente desempenho de arrefecimento com uma eficiência energética e propriedades ambientais melhoradas. Possui um potencial de aquecimento global de apenas 1397. O R449A é destinado ao uso em aplicações de expansão direta, comerciais e industriais de baixa e média temperatura. É adequado para novas instalações e para uma substituição simples dos sistemas existentes. É uma alternativa a R404A, R407A/F e R507 [16].

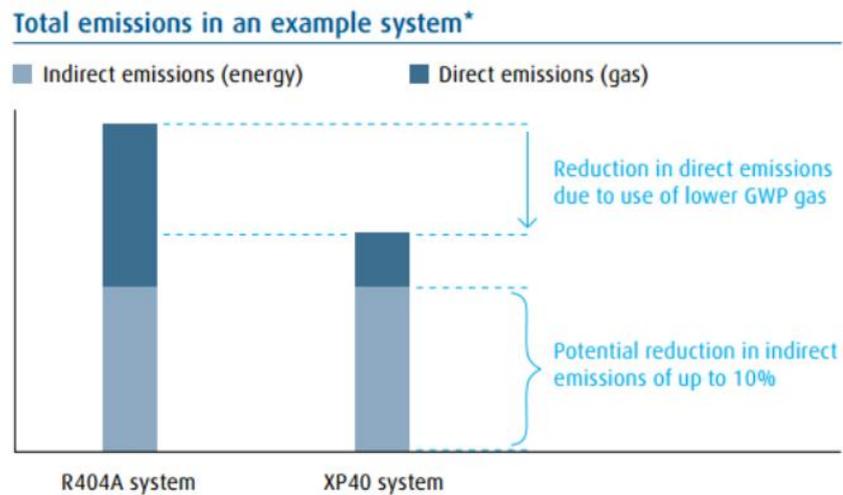
Na Figura 12 apresenta-se a comparação entre os gases R404A e R499A. Os benefícios que este refrigerante fornece encontram-se na Tabela 6. Em termos de emissões provocadas, pode ver-se na Figura 13 a comparação com o R404A.

	R404A	R449A - Opteon XP40
Constituents	R143a/R125/R134a	R32/R125/R1234yf/ R134a
Preferred oil	Polyolester (POE)	Polyolester (POE)
ASHRAE safety classification	A1 - non-toxic and non-flammable	A1 - non-toxic and non-flammable
Boiling point @ 1atm	-46.5 °C	-46.0 °C
Critical temperature	72.0 °C	81.5 °C
Critical pressure	37.3 bar(a)	44.5 bar(a)
GWP**	3922	1397
GWP as % of R404A	100%	36%

Figura 11- Comparação entre refrigerantes R404A e R449A [16]

Tabela 6 - Vantagens do refrigerante R449A [16]

Impacto ambiental	Gama de aplicação	Processo de substituição	Performance
Cerca de 65% de redução de GWP em comparação ao R404A	Refrigeração de expansão direta de baixa e média temperatura.	Compatível com os mesmos óleos, elastómetros e plásticos que o R404A	Capacidade de refrigeração similar à do R404A
Zero potencial de depleção de ozono	Sistemas comerciais e industriais	Aprovado pela maioria dos fabricantes de compressores	Poupanças energéticas até 10% em muitos sistemas
Não tóxico e não inflamável	Utilizado para novas aplicações como para substituições em existentes	Pode ser reintroduzido após vazamentos	



**Figura 12- Comparação de emissões entre R404A e R449 [16]**

A mudança de R404A para Opteon XP40 é um processo relativamente fácil. O gás é completamente compatível com os lubrificantes usados num sistema a R404A. Em muitos casos, o óleo original pode ser usado. Tal como o R407A, o XP40 é azeotrópico, portanto deve ser carregado na fase líquida para prevenir fracionamento. O refrigerante tem um moderado deslizamento de aproximadamente 4K; no entanto, isto pode ser facilmente corrigido ajustando a válvula de expansão. Também é recomendado fazer uma revisão ao sistema de refrigeração, mudando o filtro secador e as vedações [16].

### **Comparação entre gases refrigerantes**

A Figura 14 permite fazer uma análise comparativa, em relação ao potencial de aquecimento global, entre os gases refrigerantes mais utilizados na atualidade e os seus futuros substitutos. É possível verificar que o refrigerante XP40 é a melhor alternativa a ser usada em sistemas de refrigeração, de modo a otimizar a eficiência energética, performance e reduzir ao máximo o potencial de aquecimento global.

GWP of some common HFC refrigerants

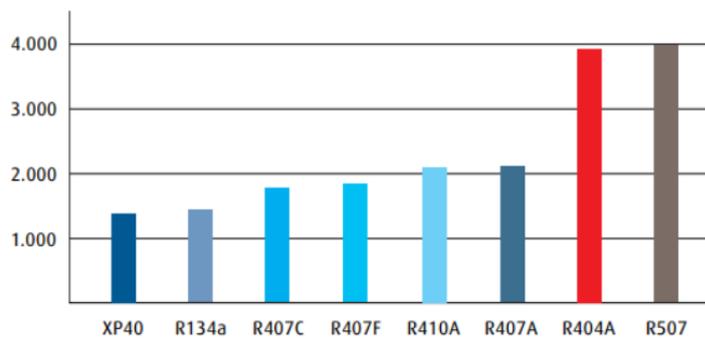


Figura 13- GWP de vários gases refrigerantes [14,15,16]

## 4. ATIVIDADES NO ÂMBITO DO ESTÁGIO

### 4.1. Ferramentas de trabalho desenvolvidas

No âmbito do trabalho realizado ao longo do primeiro semestre na empresa SKK, foi solicitado o desenvolvimento de um *software*/folha de cálculo. Tem como objetivo informatizar informação técnica que se encontra em formato papel, e facilitar a sua consulta para a execução de orçamentos de pedidos *standard* de equipamentos de frio, para câmaras de pequena/média dimensão, de refrigerados (até 134m<sup>3</sup>) e congelados (até 89m<sup>3</sup>).

Os técnicos responsáveis pela realização dos projetos têm em sua posse tabelas de seleção rápida (em formato papel), criadas há vários anos, nas quais para cada gama de certos valores de volumetria, de uma câmara, correspondem certos equipamentos de frio. Deste modo, através do volume referenciado pelo cliente para a câmara desejada, as tabelas são consultadas e o equipamento de frio selecionado (unidade condensadora, evaporador, quadro elétrico e conjunto de material de regulação e controlo). Adicionalmente, apenas é necessário escolher a marca da unidade condensadora (Frascold ou Bitzer), tipo de evaporador (duplo fluxo, cúbico ou baixo perfil) e existência ou não de descongelação por resistências elétricas.

Tornando este processo em formato digital, e de mais rápida consulta, a empresa tona-se mais eficiente e rápida nas respostas aos clientes. Deste modo foram desenvolvidas folhas *Excel*, nas quais, digitando as dimensões da câmara pretendida, selecionando o tipo de evaporador e gama de volumetria, são indicados os equipamentos possíveis, quer para câmaras de refrigerados e de congelados, com unidades condensadoras semi-herméticas.

De modo a inovar estas tabelas de seleção rápida, foi acrescentada informação sobre estimativas do consumo de energia e o custo anual médio aproximado das instalações.

A *interface* da folha *Excel* para seleção rápida de equipamento de frio para câmaras de refrigerados encontra-se na Figura 14, com os dados de simulação para uma câmara com as dimensões 3m x 3m x 2,4m (C x L x A). A interface da folha *Excel* para seleção rápida de equipamento de frio para câmaras de congelados encontra-se na Figura 15,

onde se encontra uma simulação para uma câmara com as dimensões 3m x 3m x 2,4m (C x L x A).

Dimensões Câmara:		<u>3</u>	x	<u>3</u>	x	<u>2,4</u>
Volume	21,6 m3					
Selecionar Tipo de Evap. Resistencia?	Duplo Fluxo					
Selecionar Gama Vol.	19-23	17-28				
Selecionar Tipo de Quadro	PVC					
Selecionar Gama Vol. 2	0-23	0-32				
Selecionar Gama Vol. 3	19-23	17-28				
						
FRASCOLD				BITZER		
Material	Designação	Preço		Material	Designação	Preço
Grupo	LB-A16-0Y-1M	#####		Grupo	GC70V2 2HES-2Y	#####
Evaporador	DF/E 5012	#####		Evaporador	DF/E 5012	#####
Quadro	PVC	#####		Quadro	PVC	#####
Kit	Standard	#####		Kit	Standard	#####
Preço total	#####		Preço total	#####		
Consumo anual médio	8477,28 kWh			Consumo anual médio	14095,872 kWh	
Custo anual	847,73 €			Custo anual	1 409,59 €	

Figura 14 – Folha Excel Seleção Rápida – Refrigerados

Dimensões int. câmara:		<u>3</u>	x	<u>3</u>	x	<u>2,4</u>
Volume	21,6 m3					
Selecionar Tipo de Evap.	Cúbicos					
Selecionar Gama Vol.	14-26	18-22				
Selecionar Tipo de Quadro	Met. c/ Sil.					
						
FRASCOLD				BITZER		
Material	Designação	Preço		Material	Designação	Preço
Grupo	LB-D213-0Y-1M	#####		Grupo	GC82V1 2DES-2Y	#####
Evaporador	DD/E 7C2/5	#####		Evaporador	DD/E 7C2/5	#####
Quadro	Met. c/ Sil.	#####		Quadro	Met. c/ Sil.	#####
Kit	Standard	#####		Kit	Standard	#####
Preço total	#####		Preço total	#####		
Consumo anual médio	16073,568kWh			Consumo anual médio	15196,608 kWh	
Custo anual	1 607,36 €			Custo anual	1 519,66 €	

Figura 15 - Folha Excel Seleção Rápida – Congelados

## 4.2. Projeto

Na duração do estágio foram realizados um total de cerca de 500 projetos de instalações frigoríficas. Na presente secção, são apresentados três desses projetos. De modo a não divulgar, na totalidade, as ferramentas de cálculo de cargas térmicas usadas na empresa e modos de seleção de equipamentos, apenas são abordadas as características das instalações, capacidades de refrigeração necessárias, alguns processos de seleção de equipamentos e suas características.

### 4.2.1. Câmara de congelados

O cliente X fez um pedido de cotação para seleção de equipamento de frio completo e acessórios para uma câmara para conservação de congelados diversos, a R404A, com as seguintes características:

- Dimensões interiores em metros: 10,80 x 11,30 x 6,00 (CxLxA);
- Isolamento: painel de 100mm de poliuretano;
- Temperatura máxima de entrada do produto: -10°C;
- Temperatura interior desejada: -22°C.

#### Solução Técnica

Circuito de refrigeração, composto por duas unidades condensadoras e dois evaporadores com descongelação elétrica.

#### Potência frigorífica necessária

Recorrendo a folhas de cálculo, a potência frigorífica necessária estimada para a câmara é 27 830 W.

#### Seleção de evaporadores

A humidade relativa recomendada dentro de uma câmara de congelados é de 90-95%. Para tal, a diferença entre as temperaturas da câmara e de evaporação teve ser entre 5°C e 5,5°C. Os evaporadores selecionados são os modelos DD/E 7L2/29 do fabricante Centauro, com as seguintes características individuais:

- Capacidade nominal: 29 260 W ( $T_{\text{evaporação}} = -6^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{câmara}} = +2^{\circ}\text{C}$ );
- Capacidade corrigida: 13 961 W ( $T_{\text{evaporação}} = -30^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{câmara}} = -25^{\circ}\text{C}$ );
- 2 Ventiladores de 500mm de diâmetro;
- Potência total dos moto-ventiladores: 1 340W.

A capacidade total de refrigeração é 27 922W (2 x 13 961W).

#### Seleção das unidades condensadoras

As unidades são selecionadas para funcionarem nas seguintes condições de operação:  $-30^{\circ}\text{C}$  de temperatura de evaporação e  $45^{\circ}\text{C}$  de temperatura de condensação. Deste modo, recorrendo ao Catálogo Técnico Resumido do fabricante Centauro, são escolhidas as unidades modelo GC 451V2/ 4JE-15Y, com as seguintes características individuais:

- Capacidade de refrigeração no regime: 14 630 W ( $T_{\text{evaporação}} = -30^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{condensação}} = +45^{\circ}\text{C}$ );
- Potência absorvida pelo compressor no regime: 8 640W;
- Potência total absorvida pelos moto-ventiladores: 1 440 W.

Esta seleção resulta numa capacidade de refrigeração total no regime de 29 260W. Com este valor, a diferença entre as temperaturas da câmara e de evaporação é de  $5,27^{\circ}\text{C}$ , resultando numa humidade relativa entre 90-95% dentro da câmara.

No Apêndice E encontra-se a descrição completa do equipamento de frio orçamentado em conjunto com o material de regulação e controlo.

#### **4.2.2. Câmara para conservação de maçãs (atmosfera controlada)**

O cliente Y fez um pedido de cotação para seleção de equipamento de frio completo e acessórios para uma câmara para conservação de maçãs, a R407A, com as seguintes características:

- Dimensões interiores em metros: 10,60 x 10,80 x 9,00 (CxLxA);
- Isolamento: painel de 150mm de poliuretano;
- Entrada diária 20ton;
- Temperatura máxima de entrada do produto:  $+25^{\circ}\text{C}$

- Temperatura interior desejada: 0°C.

#### Solução Técnica

Circuito de refrigeração, composto por dois compressores, um condensador à distância e dois evaporadores.

#### Potência frigorífica necessária

Recorrendo a folhas de cálculo e *software* específico, a potência frigorífica necessária estimada para a câmara é 57 813 W.

#### Seleção de evaporadores

A humidade relativa recomendada dentro da câmara, quando o produto armazenado se trata de maçãs, é de 90-95%. Para tal, a diferença entre as temperaturas da câmara e de evaporação teve ser entre 5°C e 5,5°C.

Os evaporadores selecionados são os modelos MTB/E 6P2/50, com descongelações elétricas, do fabricante Centauro, com as seguintes características individuais:

- Capacidade nominal: 49 650W ( $T_{\text{evaporação}} = -6^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{câmara}} = +2^{\circ}\text{C}$ );
- Capacidade corrigida: 29 027W ( $T_{\text{evaporação}} = -5^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{câmara}} = 0^{\circ}\text{C}$ );
- 2 Ventiladores de 560mm de diâmetro;
- Potência total dos moto-ventiladores: 2 000W.

A capacidade total de refrigeração é 58 054W (2 x 29 027W).

#### Seleção dos compressores

Os compressores são selecionados para funcionarem nas seguintes condições de operação: -6°C de temperatura de evaporação e 45°C de temperatura de condensação. Deste modo, recorrendo ao *software* de seleção do fabricante Bitzer, são escolhidos os compressores semi-herméticos alternativos de simples estágio modelo 4NES-20Y, com as seguintes características individuais:

- Capacidade de refrigeração no regime: 31 400 W ( $T_{\text{evaporação}} = -6^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{condensação}} = +45^{\circ}\text{C}$ );

- Capacidade de refrigeração no arranque: 45 100 W ( $T_{\text{evaporação}} = 2,5^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{condensação}} = +45^{\circ}\text{C}$ );

Esta seleção resulta numa capacidade de refrigeração total no regime de 62 800W. Com este valor debitado pelos compressores, a diferença entre as temperaturas da câmara e de evaporação é de  $5,49^{\circ}\text{C}$ , o que resulta numa humidade relativa de 90% dentro da câmara.

#### Seleção do condensador

Para seleção do condensador é necessário o cálculo do calor total rejeitado (CTR) pelos compressores no seu período de arranque ( $T_{\text{evaporação}} = 2,5^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{condensação}} = +45^{\circ}\text{C}$ ), caso em que debita mais potência.

Uma das formas de calcular este valor, estipulada pelo fabricante Centauro, é multiplicando a capacidade total de refrigeração do/(s) compressor/(es) nas condições de arranque por um determinado fator, dependente da temperatura de condensação, tipo de compressor e temperatura de evaporação no arranque. Como o fluido refrigerante usado é o R407A, o valor calculado deve ainda ser dividido por 0,83 (valor estipulado pelo fabricante Centauro para correção da potência).

Deste modo, o valor de CTR é da ordem de 144 537 W. É selecionado o condensador ACI/E 363/ 182T, do fabricante Centauro, com as seguintes características:

- Capacidade nominal: 181 860 W ( $15^{\circ}\text{C}$  de diferença entre a temperatura ambiente e de condensação);
- Capacidade corrigida: 145 488 W ( $12^{\circ}\text{C}$  de diferença entre a temperatura ambiente e de condensação);
- 3 Ventiladores de 630mm de diâmetro;
- Potência total dos moto-ventiladores: 5 910 W.

Pelo que o condensador fica com uma diferença de temperatura de cerca de  $12^{\circ}\text{C}$  (valor médio recomendado para o bom funcionamento do condensador).

#### Seleção dos depósitos de líquido

Sendo os condensadores arrefecidos a ar, é necessária a seleção de depósitos de líquido para cada um, em função da potência do compressor, fluido refrigerante e regime de

funcionamento do sistema de refrigeração. Deste modo são selecionados dois depósitos de líquidos verticais de 60 dm<sup>3</sup>.

No Apêndice F encontra-se a descrição completa do equipamento de frio orçamentado em conjunto com o material de regulação e controlo.

#### **4.2.3. Central Frigorífica: câmaras para conservação de maçãs (atmosfera controlada) e antecâmara**

O cliente Y fez um pedido de cotação para seleção de equipamento de frio completo e acessórios para duas câmaras para conservação de maçãs, a R407A, com as mesmas características do projeto da secção 5.2.2., e uma antecâmara com as seguintes características:

- Dimensões interiores em metros: 4,50 x 10,80 x 5,00 (CxLxA);
- Isolamento: painel de 150mm de poliuretano;
- Entrada diária 20 ton;
- Temperatura máxima de entrada do produto: +25°C
- Temperatura interior desejada: 0°C

##### Solução Técnica

Central frigorífica composta por três compressores em paralelo; um condensador à distância; dois evaporadores por câmara; um evaporador para a antecâmara.

##### Potência frigorífica necessária

Recorrendo a folhas de cálculo e *software* específico, a potência frigorífica necessária estimada para a antecâmara é 46 582 W. As potências frigoríficas necessárias para as câmaras são as mesmas que as calculadas no projeto da secção 5.2.2., 58 054W.

##### Seleção de evaporadores

Os evaporadores selecionados para as câmaras continuam a ser os modelos MTB/E 6P2/50 do fabricante Centauro. O evaporador selecionado para a antecâmara é o modelo MT/E 4L4/72 do mesmo fabricante, com descongelação elétrica, com as seguintes características:

- Capacidade nominal: 72 310W ( $T_{\text{evaporação}} = -6^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{câmara}} = +2^{\circ}\text{C}$ );

- Capacidade corrigida: 46 582W ( $T_{\text{evaporação}} = -5,7^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{câmara}} = 0^{\circ}\text{C}$ );
- 4 Ventiladores de 500 mm de diâmetro;
- Potência total dos moto-ventiladores: 2 680W.

A diferença entre as temperaturas de evaporação e da antecâmara de  $5,7^{\circ}\text{C}$  resulta numa humidade relativa de cerca de 85-90%, um valor aceitável para a sua função. A capacidade total de refrigeração é 162 690 W ( $2 \times 58 054\text{W} + 46 582\text{W}$ ).

#### Seleção dos compressores

Os compressores são selecionados para funcionarem nas seguintes condições de operação:  $-5^{\circ}\text{C}$  de temperatura de evaporação e  $45^{\circ}\text{C}$  de temperatura de condensação. Deste modo, recorrendo ao *software* de seleção do fabricante Bitzer, são escolhidos os compressores semi-herméticos alternativos de simples estágio modelo 4GE-30Y, com as seguintes características individuais:

- Capacidade de refrigeração no regime: 50 500 W ( $T_{\text{evaporação}} = -5^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{condensação}} = +45^{\circ}\text{C}$ );
- Capacidade de refrigeração no arranque: 69 000 W ( $T_{\text{evaporação}} = +2,5^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{condensação}} = +45^{\circ}\text{C}$ );

Esta seleção resulta numa capacidade de refrigeração total no regime de 151 500 W ( $3 \times 50 500\text{W}$ ), representando 93,1% do somatório da capacidade de refrigeração total dos evaporadores, algo muito comum em centrais frigoríficas, visto que nem todos os espaços refrigerados necessitam de refrigeração em simultâneo.

#### Seleção do condensador

O valor de CTR é da ordem de 331 699 W. É selecionado o condensador ACPD/M 680/ 453T, do fabricante Centauro, com as seguintes características:

- Capacidade nominal: 452 550 W ( $15^{\circ}\text{C}$  de diferença entre a temperatura ambiente e de condensação);
- Capacidade corrigida: 362 040 W ( $12^{\circ}\text{C}$  de diferença entre a temperatura ambiente e de condensação);
- Capacidade corrigida: 331 870 W ( $11^{\circ}\text{C}$  de diferença entre a temperatura ambiente e de condensação);

- 6 Ventiladores de 800mm de diâmetro;
- Potência total dos moto-ventiladores: 11 640 W.

Pelo que o condensador fica com um diferencial de temperatura de cerca de 11°C, um valor aceitável.

#### Seleção do depósito de líquido

Sendo o condensador escolhido do tipo arrefecido a ar, é necessária a seleção de um depósito de líquido, em função da potência da central frigorífica, fluido refrigerante e regime de funcionamento do sistema de refrigeração. Assim foi selecionado um depósito de líquido vertical de 350 dm<sup>3</sup>.

No Apêndice G encontra-se a descrição completa do equipamento de frio orçamentado em conjunto com o material de regulação e controlo.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1. Trabalho de pesquisa

O trabalho de pesquisa efetuado e compilado na presente tese de dissertação, várias conclusões podem ser retiradas:

- O desempenho energético e eficiência de uma instalação frigorífica é de crucial importância e devem ser planeados e considerados nas várias fases (projeto, instalação, operação e manutenção).

- Atualmente já existe no mercado um conjunto de tecnologias e componentes de controlo que promovem a eficiência e desempenho energético de sistemas de refrigeração. Estes componentes e tecnologias podem ser integrados desde o início da conceção do projeto ou posteriormente implementados numa instalação em funcionamento. Cada um destes componentes possui determinada projeção de poupança energética.

- As tecnologias de eficiência mais significativas consistem nos sistemas de controlo computadorizados integrados, que ao analisar as necessidades energéticas efetivas da instalação a cada momento, fornecem as necessárias respostas de carga, atuando sobre os equipamentos de frio do sistema. Componentes como compressores com inversores de frequência ou controlo de capacidade, moto-ventiladores com motores de comutação eletrónica para evaporadores e condensadores, e válvulas de expansão eletrónicas são uma mais-valia de a considerar na otimização do desempenho energético do sistema.

- No funcionamento de qualquer sistema de refrigeração, provido ou não de sistemas avançados de controlo integrados, através de uma cuidadosa análise de sistema, podem ser solucionados problemas relacionados com a eficiência energética, nomeadamente ganhos térmicos evitáveis, manutenção precária, armazenamento e acondicionamento deficientes, condensadores localizados próximos de fontes de calor ou obstruídos;

- Podem ser feitos ajustes de temperaturas de *set-point*, verificada a existência de acessórios indispensáveis de controlo e analisado o estado de funcionamento de todos os equipamentos.

- Em relação a componentes emergentes no mercado, estes caracterizam-se por um constante aperfeiçoamento dos métodos e características de funcionamento dos componentes de controlo já existentes. Assim sendo, são lançados para o mercado novos produtos, que, sendo baseados nas suas versões anteriores, são providos de melhores projeções de eficiência energética.

## 5.2. Atividades do estágio

Os objetivos inicialmente estabelecidos para o estágio, que ainda decorre, foram gradualmente alcançados e, desde já, deve salientar-se que:

- Este estágio foi decisivo para aprofundar conhecimentos técnicos e práticos nas áreas da refrigeração e de eficiência energética;
- Permitiu desenvolver capacidades de trabalho em folhas de cálculo *Excel*.
- Permitiu o contacto com o mundo dos equipamentos de frio e acessórios disponíveis no mercado para este tipo de sistemas;
- Familiarização com a elaboração de projetos de refrigeração, para os quais, inclusive, se desenvolveu ferramentas de trabalho em Excel que facilitam uma rápida seleção de equipamentos de frio para câmaras *standard*;
- Relativamente ao estudo de tecnologias e componentes de eficiência energética, foi um processo gradual, de pesquisa associada a questões práticas e objetivas;
- Este estágio permitiu uma boa preparação na elaboração de projetos e orçamentação de uma grande variedade de sistemas de refrigeração comercial e industrial, desde pequenas câmaras, a grandes centrais frigoríficas, passando por túneis de congelação, câmaras de arrefecimento rápido, entre outros. Para este efeito, foi adquirida capacidade crítica de seleção, sobre as melhores opções na seleção de componentes existentes no mercado, de acordo com o projeto a elaborar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Nunes, José (2013), “ Avaliação do desempenho dos sistemas de refrigeração nas indústrias agroalimentares da Beira Interior”, Universidade Beira Interior.
- [2] Nascimento da Silva, Marcelo (2005), “Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial”.
- [3] <https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1441985459029&mod=HHK> (Consultado em 15-05-2015).
- [4] Augusto Querós Dias, Joaquim (2012), “Concepção de Instalações Frigoríficas em Expansão Directa versus Sistemas Inundados. Análise Energética das Soluções”, ISEL.
- [5] Levok, Alex (2009), “Opportunities for Energy Efficiency and Automated Demand Response in Industrial Refrigerated Warehouses in California”.
- [6] Emerson Climate Technologies, “XWEB EVO Supervision and Monitoring Systems”, [http://www.dixell-emerson.pl/upload/upload/Broszury/Leaflet%20XWEB\\_EVO%201%20GBopt.pdf](http://www.dixell-emerson.pl/upload/upload/Broszury/Leaflet%20XWEB_EVO%201%20GBopt.pdf) (Consultado em 27-08-2015).
- [7] BITZER, “Ecoline Varispeed”, Technical Data.
- [8] BITZER, “CRII Capacity Control”, Technical Data.
- [9] <http://www.thomasnet.com/articles/machinery-tools-supplies/ECM-Motors-HVAC-Systems> (Consultado em 07-07-2015).
- [10] [http://www.wdtl.com/ec\\_faq\\_answers.php#Whatareelectronically](http://www.wdtl.com/ec_faq_answers.php#Whatareelectronically) (Consultado em 07-07-2015)
- [11] Regal-Beloit (2007), “GE ECM”, <http://www.marsm-a.com/images/ECM%20Technology%20Overview.pdf> (Consultado em 07-07-2015).
- [12] Centauro (2015), “Catálogo Técnico Resumido e Preçário 2015”.
- [13] Emerson Climate Technologies, “EX3 Stepper-Motor Driven Eletronic Expansion Valve”, Technical Data.
- [14] The Lind Group, “R407A. Lower Global Warming Potential replacement for R404A”, Brochure.
- [15] The Lind Group, “R407F – Genetron Performax™ LT. Lower Global Warming Potential replacement for R404A”, Brochure.

[16] The Lind Group, “R449A – Opteon XP40. Lower Global Warming Potential replacement for R404A and R507”, Brochure.

## APÊNDICE A

### XWEB500EVO e XWEB5000EVO

Algumas características que têm em comum [6]:

- Capacidade de armazenamento de dados, até 1 ano;
- Visualização de valores de controlo, através dos modos *Single View*, *Run Time (Overview)*;
- Medidor de desempenho para controlo das necessidades de refrigeração;
- Notificações de alarmes via FAX, SMS e *e-mail*;
- Customização de *interface*;
- Gestão calendarizada das instalações, de acordo com a agenda programada;
- Apresentação de relatórios em formato *pdf*;
- Otimização do funcionamento de compressores em paralelo.

XWEB500EVO – Uma solução para instalações de média potência/dimensão (controla até 100 dispositivos), como supermercados ou centros de armazenamento de produtos alimentares. Pode ser conectado localmente ou remotamente a um computador, sem necessidade de *software* especial, apenas é preciso um *browser* de *internet* como o *Firefox*, a informação é apresentada como páginas *web*. A Figura 16 apresenta o sistema. [6]



Figura 16 - XWEB500EVO [6]

Algumas das suas características únicas [6]:

- Possibilidade de modificar parâmetros dos dispositivos conectados remotamente;
- Exportação de dados por *USB port*;
- Apresentação do *layout* da instalação em formato gráfico;

XWEB5000EVO – É provido de um poderoso motor de supervisionamento adequado para grandes instalações de refrigeração. É ideal para hipermercados, grandes centros de distribuição e armazenamento e processamento (controlo até 494 dispositivos) Pode funcionar sem um computador, conectado diretamente a um monitor, teclado e rato. A conexão remota ou local a um computador é feita através de um *browser*, como o *Firefox*. Com este sistema é possível intervir com as unidades monitorizadas através de algoritmos criados pelo instalador [6].

A elevada versatilidade e programabilidade permite-lhe efetuar programas automaticamente. É possível, por exemplo, gerir o uso das luzes, aumentando as poupanças energéticas. A Figura 17 apresenta o sistema [6].



Figura 17 - XWEB5000EVO [6]

Algumas das suas características únicas [7]:

- Rápida e fácil conexão a páginas *web* com *interface* destinada para *tablet/smartphone*;
- Habilidade de usar uma vista de *layout* da instalação, com fotografias e desenhos esquemáticos;
- Completa e simplificada análise das unidades monitorizadas, através da ferramenta *Excel*, para visualizar dados;

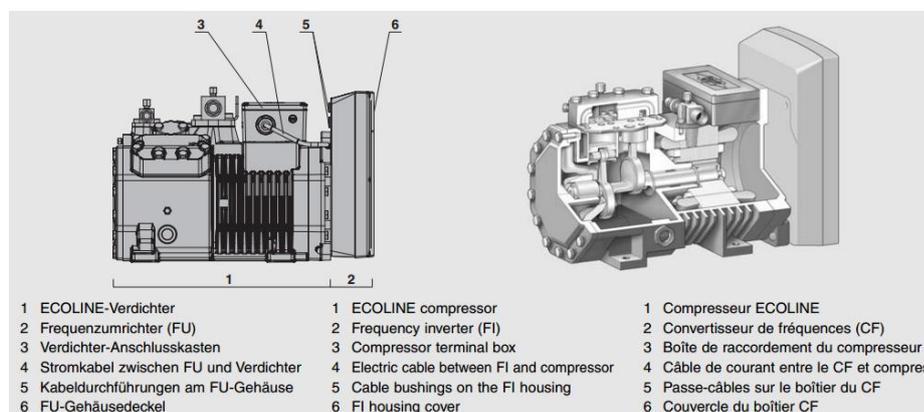
- Capacidade de simulação de dados;
- Controlo de temperaturas de condensação;
- Controlo via *tablet e internet*.

## APÊNDICE B

### 1. Compressores Bitzer, série *Ecoline Varispeed*

A marca Bitzer disponibiliza uma serie (“*ECOLINE VARISPEED*”) de compressores, semi-herméticos, compactos, integrados com unidades de inversores de frequência, projetados e otimizados para operar até 70Hz. A Figura 18 demonstra um destes compressores. A configuração, monitorização e controlo deste compressor podem ser feitos através da ferramenta BEST - “Bitzer Electronics Service Tool”, um *software* com conversor de *interface* [7].

A regulação de potência permite minimizar as oscilações de pressão de sucção, bem como a frequência de partida e, conseqüentemente, reduzir custos energéticos. As aplicações com compressores individuais, em especial, beneficiam, assim, de um aperfeiçoamento significativo ao nível da eficiência do Sistema [7].



**Figura 18 - Compressor Ecoline Varispeed [7]**

O compressor e unidade IF são controlados por reguladores e o IF pode ser operado pelos parâmetros de fábrica.

A gama de controlo da frequência do compressor é a seguinte [6]:

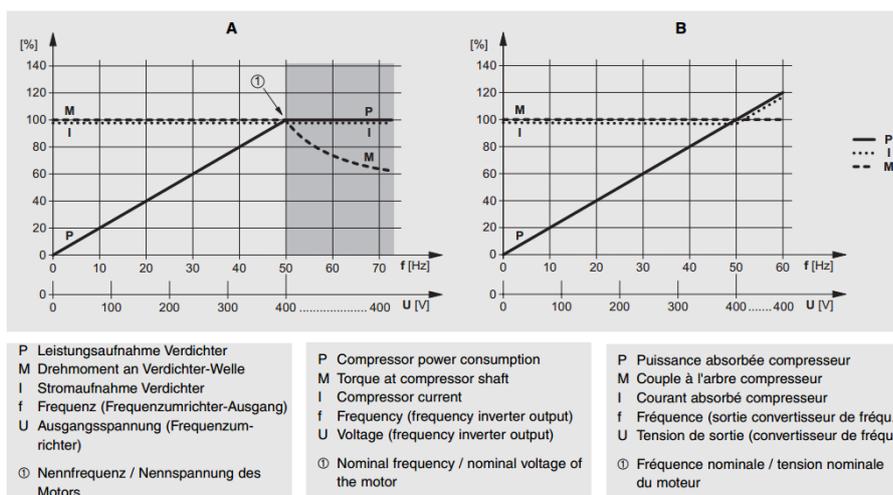
- Para compressores de 2 cilindros – 30-70 Hz;
- Para compressores de 4 cilindros – 25-70 Hz;

### Controlo

A capacidade de arrefecimento e o consumo elétrico do compressor variam quase proporcionalmente à sua velocidade de operação. A capacidade de arrefecimento do compressor pode ser adaptada aos requisitos da instalação, através da variação de velocidade. De modo a que o motor do compressor debite um binário constante enquanto a sua velocidade aumenta, o rácio voltagem/frequência ( $U/f$ ) na saída do inversor de frequência deve ser constante. O inversor de frequência varia a frequência e voltagem numa grande gama. A voltagem de saída do IF adquire o seu valor nominal (ponto ① na Figura 19) em situação ideal na frequência nominal do motor [7].

### Operação trans-síncrona

Quando o funcionamento se efetua acima da frequência nominal do motor é denominado operação trans-síncrona. O inversor de frequência não consegue debitar voltagem que seja superior à voltagem recebida. Isto significa que, quando se aumenta a frequência acima da velocidade síncrona, o rácio  $U/f$  cai. Como o binário necessário se mantém constante, o consumo elétrico do motor aumenta, pelo que o motor deve ter uma reserva adequada (corrente/energia) na frequência de alimentação da rede. Assim, a velocidade pode ser aumentada até quase atingir a corrente limite do motor. Quando a frequência da alimentação da rede é de 50Hz, deve usar-se um motor com 25% de reserva de energia [7].



**Figura 19 - Características operacionais de dois motores de compressores com IF (400V /3/50Hz). A- motor sem reserva (corrente/energia); B – motor com aproximadamente 25% reserva (corrente/energia) a 50Hz [7]**

### Motores especiais

Um rácio constante de  $U/f$  também pode ser obtido para frequências superiores a 50Hz, se um motor especial for usado. A Figura 20 demonstra o aumento da voltagem através da frequência para diferentes motores. Um binário constante é disponível em toda a gama de aplicação [7].

- Motor 400V/3/60 Hz – Aumento de 20% da velocidade do compressor é possível.
- Motor 230 V/3/50Hz – Aumento de 73% da velocidade do compressor é possível.

É necessário considerar os limites de velocidade dos compressores [7].

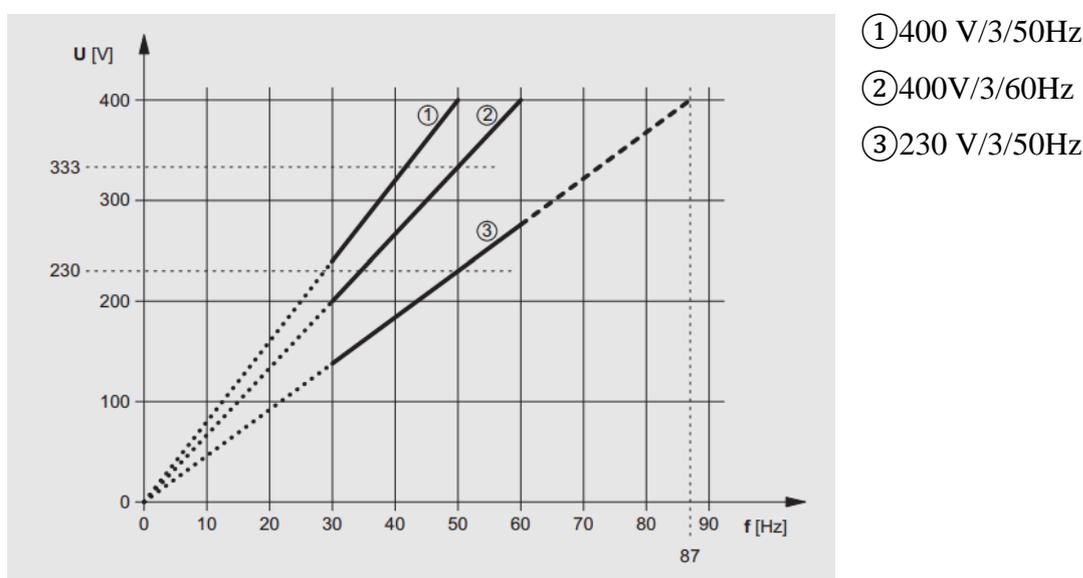


Figura 20 - Aumento de voltagem através da frequência para diferentes motores [7]

### Corrente nominal de projeto

O inversor de frequência deve ser capaz de fornecer continuamente a corrente máxima de operação ao motor do compressor. Deve ser planeado 10% de reserva [7].

### Aumento do binário no tempo de aceleração

O inversor de frequência deve ser capaz de fornecer brevemente um maior binário durante a fase de arranque para superar o binário de queda e para acelerar a unidade. Isto resulta num aumento da necessidade de corrente para o arranque do compressor, o qual deve ser fornecido pelo inversor de frequência no tempo de aceleração [7].

O binário de compressores recíprocos não é constante com o ângulo de rotação; no entanto, quando maior for o número de cilindros do compressor, mais constante é o binário. Assim, o binário de arranque é maior para compressores com poucos cilindros [7].

### Vibrações anormais na gama frequência/velocidade

A vibração transmitida pelo compressor depende da sua velocidade de rotação. Isto pode ter efeitos de ressonância em tubagens e outros componentes do sistema, por isso a instalação deve ser verificada para garantir a existência de vibrações anormais durante o funcionamento do compressor a várias frequências. As frequências às quais são atribuídos fenómenos de ressonância devem ser excluídas da programação do inversor [7].

### Gamas de aplicação e advertências

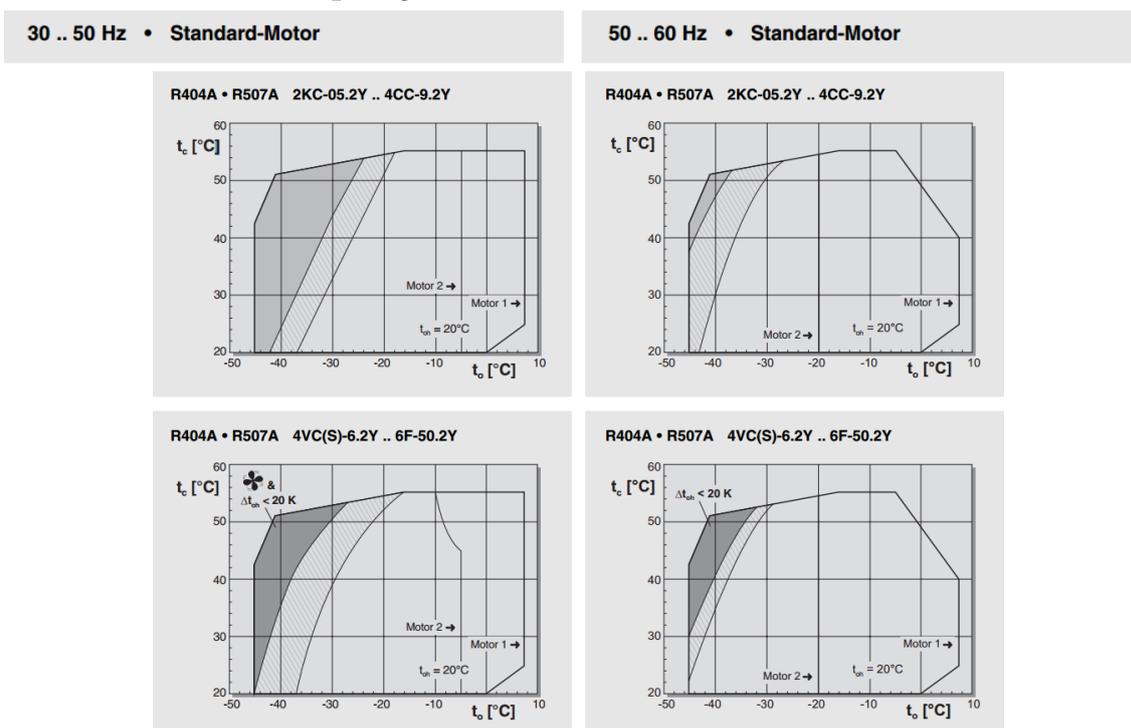


Figura 21 – Limites de utilização em alguns modelos de compressores “Bitzer ECOLINE”, consoante o refrigerante e motor [7]

É necessário saber em que intervalos de operação é preciso aplicar medidas que controlem o aquecimento do motor do compressor. O arrefecimento adicional do compressor costuma ser feito com recurso a um ventilador montada por cima. O volume de arrefecimento a ser debitado pelo ventilador não é proporcional à velocidade do motor, pelo que é

aconselhado assegurar o arrefecimento do motor a cada velocidade. Em operações trans-síncronas há um aumento de esforço do ventilador [7].

$t_o$	Evaporating temperature [°C]
$t_{oh}$	Suction gas temperature [°C]
$\Delta t_{oh}$	Suction gas superheat
$t_c$	Condensing temperature [°C]
	Additional cooling ( $t_{oh} = 20^\circ\text{C}$ )
	Additional cooling or max. $0^\circ\text{C}$ suction gas temperature
	Additional cooling & limited suction gas temperature
	Suction superheat > 10 K

Figura 22- Legenda da figura 21 [7]

### Recomendações

- Não é permitido o funcionamento de um compressor com IF em conjunto com um controlo de capacidade baseado em bloqueio de sucção, já que não é garantido que o motor seja arrefecido adequadamente, visto que o fluxo de refrigerante é fortemente reduzido [7].
- Quando compressores tandem funcionam com IF, o nível de óleo de um lado pode ser diferente do outro. Assim, é preciso um sistema de controlo de óleo entre os dois lados e deve ser instalado equalização de gás [7].
- Em compressores de 2 estágios, é preciso assegurar um sobreaquecimento suficiente na válvula de injeção de líquido ao longo de toda a gama de velocidades. Por isso, é necessário selecionar uma válvula para tal [7].

## 2. Compressores Bitzer, série CSVH

A marca Bitzer também disponibiliza uma serie (“*CSVH*”) de compressores de parafuso, compactos, integrados com unidades de inversores de frequência, conseguindo atingir a sua eficiência máxima, sobretudo com carga parcial. A configuração, monitorização e controlo deste compressor podem ser feitos através da ferramenta BEST - “Bitzer Electronics Service Tool” [7].

### **Recomendações**

O acionamento dos inversores de frequência permite que a potência do compressor decresça com a rotação dos rotores e com a razão de compressão. Uma típica variação da frequência causará uma perda em torno de 3% quando opera à carga total, além de uma perda adicional de 2,5% na eficiência do motor. Isto dá uma perda de aproximadamente 5,5% à carga total.

Em centrais frigoríficas com estes compressores, o ideal seria que fossem implementados inversores de frequência em apenas alguns, para que pudessem variar a sua velocidade, de acordo com a variação da necessidade (carga térmica). Os demais compressores operariam na base do sistema, ou seja, segundo uma carga térmica mínima fixa.

## APÊNDICE C

### Sistema CRII da Bitzer

Este sistema é um acessório disponível para os compressores Bitzer da gama *Ecoline*. É baseado no bloqueio da sucção do refrigerante, otimizado para uma elevada frequência cíclica e alargado a uma ampla gama de carga parcial, de modo a aumentar a eficiência e qualidade de controlo do sistema [8].

O uso de controlo de capacidade num compressor pode poupar até 15% da energia total utilizada [8].

### Funcionamento

O sistema CRII é baseado no princípio de bloqueio de sucção, desta forma o fluxo de gás refrigerante para sucção é bloqueado por meio de um pistão controlado.

Durante a operação em carga máxima, todos os cilindros do compressor estão a funcionar em pleno. A válvula solenoide está desligada. As entradas de gás na placa de válvula e na cabeça do cilindro estão abertas. Para a operação em carga parcial, o fluxo de gás refrigerante do cilindro desligado é bloqueado. A válvula solenoide está ligada, a entrada da câmara de sucção na cabeça do cilindro correspondente está fechada através de um pistão de controlo. A representação encontra-se na Figura 23 [8].

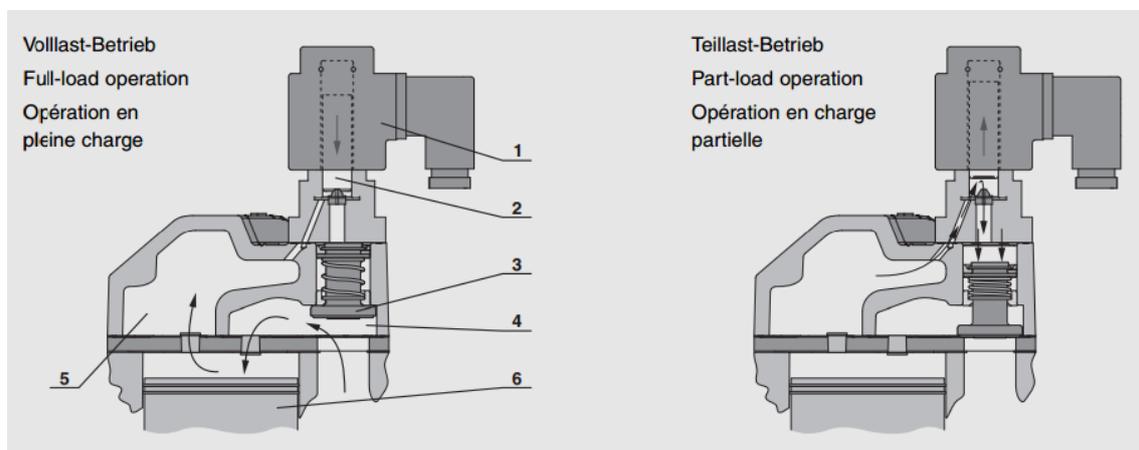


Figura 23 – Estado da válvula solenoide durante operação em carga máxima e operação em carga parcial [8]

- 1 Solenoid coil
- 2 Armature (spring-loaded)
- 3 Control piston
- 4 Suction gas chamber
- 5 Discharge gas chamber
- 6 Piston

Figura 24 - Legenda da Figura 23 [8]

### Gama de controlo

O elemento principal do sistema CRII trata-se de um pistão de controlo. Durante a ativação, usando um algoritmo de controlo adaptado é obtido um bom controlo de capacidade, que pode cobrir uma gama de controlo entre os 100% e os 10% de carga, dependendo das condições de operação e refrigerante usado. Compressores tandem podem ser regulados até 5% da capacidade. Na Figura 25, é demonstrado um quadro com a gama de controlo que pode ser obtida com cada um dos compressores, em função do número de CRII, implementados nas cabeças do compressor [8].

Compressor type Type de compresseur	Capacity control range Plage régulation de puissance	Number required CRII cylinder heads Nombre nécessaire des têtes de culasse de CRII
4FES-3(Y), 4FES-5(Y), 4EES-4(Y), 4EES-6(Y), 4DES-5(Y), 4DES-7(Y), 4CES-6(Y), 4CES-9(Y), 4VES-6Y, 4VES-7(Y), 4VES-10(Y), 4TES-8Y, 4TES-9(Y), 4TES-12(Y), 4PES-10Y, 4PES-12(Y), 4PES-15(Y), 4NES-12Y, 4NES-14(Y), 4NES-20(Y) 4JE-13Y, 4JE-15(Y), 4JE-22(Y), 4HE-15Y, 4HE-18(Y), 4HE-25(Y), 4GE-20Y, 4GE-23(Y), 4GE-30(Y), 4FE-25Y, 4FE-28(Y), 4FE-35(Y)	100% .. 10% ① 100% .. 50% ②	2 1
6JE-22Y, 6JE-25(Y), 6JE-33(Y), 6HE-25Y, 6HE-28(Y), 6HE-35(Y), 6GE-30Y, 6GE-34(Y), 6GE-40(Y), 6FE-40Y, 6FE-44(Y), 6FE-50(Y)	100% .. 10% ① 100% .. 66% .. 33% ②	3 2
8GE-50(Y), 8 GE-60(Y), 8FE-60(Y), 8FE-70(Y)	100% .. 50% ① 100% .. 75% .. 50% ②	2 2
44FES-6(Y), 44FES-10(Y), 44EES-8(Y), 44EES-12(Y), 44DES-10(Y), 44DES-14(Y), 44CES-12(Y), 44CES-18(Y), 44VES-14(Y), 44VES-20(Y), 44TES-18(Y), 44TES-24(Y), 44PES-24(Y), 44PES-30(Y), 44NES-28(Y), 44NES-40(Y), 44JE-30(Y), 44JE-44(Y), 44HE-36(Y), 44HE-50(Y), 44GE-46(Y), 44GE-60(Y), 44FE-56(Y), 44FE-70(Y)	100% .. 5% ① 100% .. 75% .. 50% .. 25% ②	4 2
66JE-50(Y), 66JE-66(Y), 66HE-56(Y), 66HE-70(Y), 66GE-68(Y), 66GE-80(Y), 66FE-88(Y), 66FE-100(Y)	100% .. 5% ① 100 .. 83 .. 66 .. 50 .. 33 .. 17% ②	6 4

① quasi-stufenlose Leistungsregelung (taktend angesteuert)	① virtually stepless capacity control (intermittently energized)	① régulation de puissance presque continu (asservie intermittent)
② gestufte Leistungsregelung (konstant angesteuert)	② stepped capacity control (continuously energized)	② régulation de puissance en étages (asservie en continu)

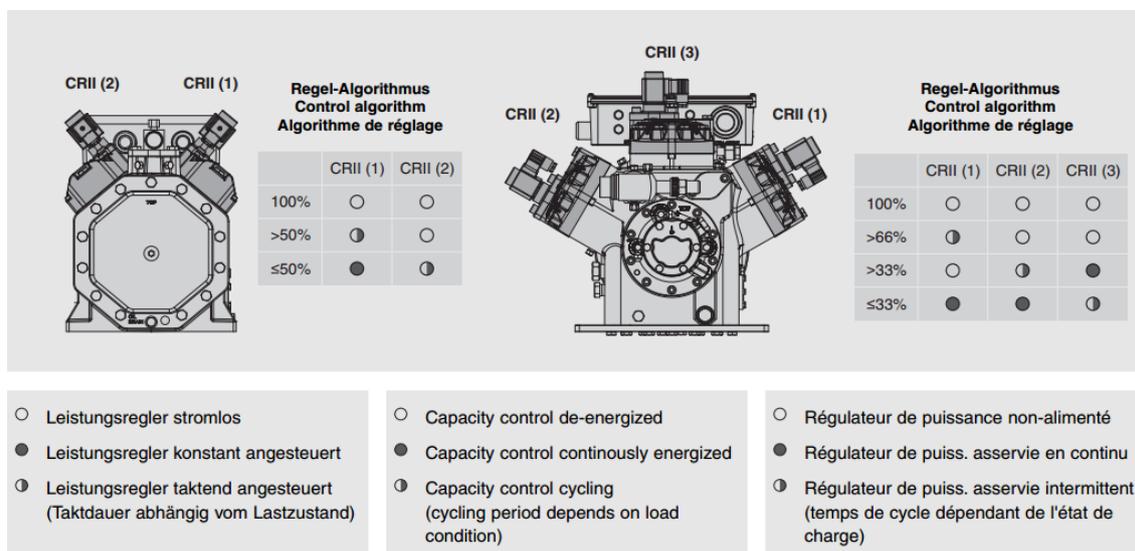
Figura 25 –Gamas de controlo de capacidade [8]

### Ativação e estados das válvulas solenoides CRII

As unidades CRII são ativadas por válvulas solenoides, projetadas para elevados ciclos de comutação. Para o funcionamento em carga parcial, as válvulas podem trabalhar (estar ativadas) em estado contínuo ou intermitente [8].

Com vista na ideal eficiência de carga parcial e longa duração de vida do serviço, apenas uma de duas válvulas deve ser ativada intermitentemente, em compressores de 4 cilindros, na gama de capacidade entre 100% e 50%. Para condições de carga inferiores a 50%, uma válvula é ativada continuamente enquanto outra é ativada intermitentemente. Isto também é aplicado para compressores de 6 cilindros, numa gama entre 100% e 66%, assim como entre 66% e 33%. Demonstração na Figura 26 [8].

Este método reduz significativamente o número de intervalos de comutação das válvulas individuais e leva a uma longa duração de vida de serviço. Para assegurar uma igual quantidade de operações de comutação das válvulas também é possível realizar uma sequência de mudança regular (automática) de estado entre válvulas [8].



**Figura 26 –Modos de ativação das valvulas CRII num compressor com dois e três cilindros e respetivas gamas de controlo [8]**

### Instalação

A Figura 27 demonstra as posições de instalação das unidades CRII nas cabeças dos cilindros dos vários compressores. O número ① refere-se à situação de todas as cabeças

do compressor estarem equipadas, enquanto o número ② se refere à situação de apenas algumas cabeças estarem equipadas [8].

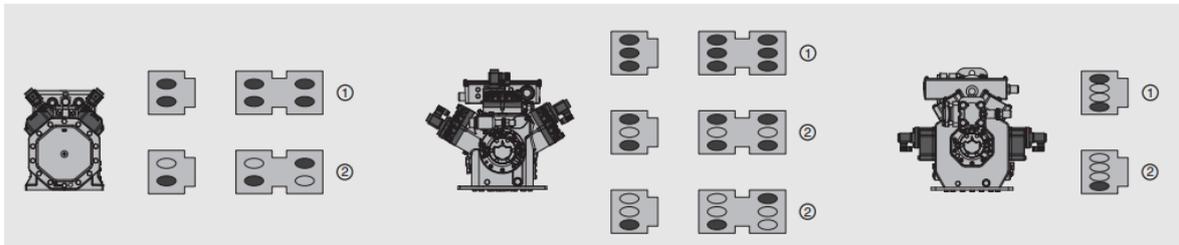


Figura 27 – Posições de instalação das válvulas CRII [8]

### Controlo

O regulador de capacidade é normalmente controlado por pressão, temperatura ou humidade relativa, assim, o dispositivo de controlo pode ser um regulador de pressão, temperatura ou humidade [8].

Para sistemas de refrigeração com vários compressores em paralelo, é favorável usar um sistema de controlo que reaja imediatamente a variações de carga durante a operação. Os desvios admissíveis do *set-point* podem ser controlados dentro de uma curta gama, por exemplo, desvios de pressão de sucção ou temperatura, como demonstrado na Figura 28. Isto permite a correção relativamente rápida dos parâmetros de operação através da ativação dos controladores de capacidade. A reação extremamente rápida dos controladores de capacidade CRII é benéfico neste caso [8].

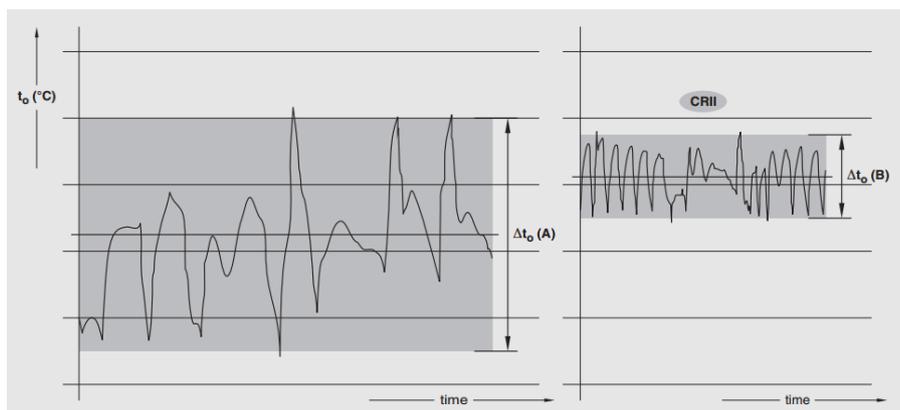


Figura 28 - Exemplo de um melhorado controlo da pressão de sucção [5]

### **Mínimo desvio de *set-point***

Os controladores de capacidade podem ser ativados dentro do algoritmo comum dos correntemente usados controladores de *rack* de compressores; no entanto, em oposição à corrente prática, o desvio do *set-point* pode ser reduzido ao mínimo [8].

Devido aos significativamente menores desvios de controlo, é possível aumentar o *set-point* para o controlador da pressão de sucção, de acordo com a necessidade numa forma modular. A mais elevada pressão de sucção e o modo de operação mais estável irão causar uma maior eficiência do sistema [8].

### **Sistemas com apenas um compressor**

Devido à grande gama de controlo, fortes desvios da pressão de sucção podem ocorrer em alguns casos. Isto aplica-se particularmente a sistemas com baixa carga de refrigerante e/ou com válvula de expansão eletrónica. O controlo de capacidade abaixo de 30% deve ser examinado minuciosamente para tais sistemas [8].

### **Sistemas com vários evaporadores**

A alteração da carga do sistema resulta numa relativamente rápida mudança da pressão de sucção; no entanto, devido ao efeito de armazenamento de resposta dos evaporadores dos produtos refrigerados, a temperatura muda relativamente devagar. Assim, o controlador do sistema deve ser alinhado de maneira a que a operação cíclica seja evitada [8].

### **Tempos de ativação**

Durante uma ativação intermitente, as válvulas solenoides devem ser ativadas durante pelo menos 5 segundos e fechadas durante outros 5 segundos. Quando todas as válvulas CRII estão continuamente fechadas (0% de capacidade residual), apenas o podem permanecer durante 2 minutos. Após estes dois minutos, a câmara de um cilindro deve ser ativada novamente ou o compressor desligado [8].

## APÊNDICE D

### Válvula de expansão eletrónica EX3

A EX3 é uma válvula de expansão eletrónica, de motor de passo e, ao mesmo tempo, uma válvula de retenção, relativamente recente no mercado, do grupo Emerson Climate Technologies, projetada para controlar de forma precisa o fluxo de refrigerante e o sobreaquecimento do sistema. A válvula também é capaz de cortar a linha de refrigerante automaticamente no caso de uma interrupção de energia, sem precisar de uma bateria externa, válvulas elétricas ou componentes eletrónicos [13].

É projetada para ser compatível com controladores Dixell e *drivers* dedicados, como o XM678 e XEV22 [13].

Maximiza poupanças de energia e garante a qualidade dos alimentos armazenados, podendo ser usada para aplicações, tais como vitrinas e câmaras frigoríficas. Devido à ação linear desde 10 a 100% com 650 passos e algoritmos de controlo de sobreaquecimento auto adaptativos, a Ex3 maximiza a poupança energética e otimiza a gestão de temperaturas [13].

## APÊNDICE E

### **Equipamento de frio selecionado para câmara de congelados:**

- 2 Unidades condensadoras Centauro/Bitzer modelo GC451V2/4JE-15Y, a R404A.  
Com resistências de cárter, pressostatos de óleo e arranque em vazio;
- 2 Evaporadores cúbicos Centauro modelo DD/E 7L2/29 com descongelações elétricas.

### **Conjunto de Material de Regulação e Controlo composto por:**

- 2 Válvulas de expansão termostática;
- 2 Válvulas elétricas;
- 2 Filtros desidratantes;
- 2 Visores de líquido;
- 2 Pressostatos de alta e baixa pressão;
- 2 Pressostatos de alta pressão para os condensadores;
- 2 Resistências de esgoto;
- 2 Separadores de óleo;
- 2 Visores de óleo;
- 2 Válvulas de retenção para as descargas;
- 2 Válvulas de retenção para o arranque em vazio;
- 2 Válvulas de seccionamento para o retorno de óleo
- 1 Interruptor de fim de curso;
- Quadro elétrico em chapa termo lacada com termostato Dixell

## APÊNDICE F

### **Equipamento de frio selecionado para câmara de maçãs:**

- 2 Compressores semi-herméticos Bitzer modelo 4NES-20Y, a R407A. Com resistências de cárter, sensores de óleo OLC-K1, arranques em vazio e sonda de temperatura dos gases de descarga;
- 1 Condensador à distância Centauro modelo ACI/E 363/180T;
- 2 Evaporadores cúbicos Centauro modelo MTB/E 6P2/50 com descongelações elétricas;
- 2 Depósitos de líquido Tecnac de 60dm<sup>3</sup>.

### **Conjunto de Material de Regulação e Controlo composto por:**

- 2 Válvulas de expansão termostática;
- 2 Válvulas elétricas;
- 2 Filtros desidratantes recarregáveis;
- 2 Cargas para filtros;
- 2 Visores de líquido;
- 2 Pressostatos de alta e baixa pressão;
- 2 Pressostatos de alta pressão para os condensadores;
- 2 Eliminadores de vibrações para as descargas;
- 2 Eliminadores de vibrações para as aspirações;
- 2 Válvulas de retenção para as descargas;
- 2 Separadores de óleo;
- 2 Visores de óleo;
- 2 Válvulas de seccionamento para o retorno de óleo
- 1 Interruptor de fim de curso;
- Quadro elétrico em chapa termo lacada com termostato Dixell.

## APÊNDICE G

### **Equipamento de frio selecionado para cada câmara de maçãs:**

- 2 Evaporadores cúbicos Centauro modelo MTB/E 6P2/50 com descongelações elétricas;
- 2 Válvulas de expansão termostática;
- 2 Válvulas elétricas;
- 4 Válvulas de seccionamento;
- 1 Interruptor de fim de curso;
- 1 Quadro elétrico parcial.

### **Equipamento de frio selecionado para a antecâmara:**

- 1 Evaporador cúbico Centauro modelo MT/E 4L4/72 com descongelação elétrica;
- 1 Válvula de expansão termostática;
- 1 Válvula elétrica;
- 2 Válvulas de seccionamento;
- 1 Interruptor de fim de curso;
- 1 Quadro elétrico parcial.

### **Equipamento para central frigorífica para câmaras e corredor/antecâmara:**

- 3 Compressores Bitzer 4GE-30Y;
- 3 Resistências de cárter;
- 3 Pressostatos de óleo;
- 3 Arranques em vazio;
- 3 Válvulas de retenção para as descargas dos compressores;
- 3 Eliminadores de vibrações para as descargas;
- 3 Eliminadores de vibrações para as aspirações;

- 3 Reguladores de óleo;
- 3 Válvulas de seccionamento para a linha de óleo;
- 1 Depósito de óleo;
- 3 Reguladores de nível de óleo;
- 1 Válvula diferencial de pressão regulável;
- 1 Válvula de seccionamento para a linha de descarga;
- 3 Sondas de temperatura para os gases de descarga;
- 1 Filtro de líquido;
- 1 Válvula de seccionamento para a linha de líquido;
- 1 Visor de líquido
- 1 Válvula de seccionamento para a linha de aspiração;
- 1 Filtro de aspiração;
- Cargas para filtros;
- 3 Pressostatos de alta e baixa pressão;
- 1 Transdutor de alta pressão;
- 1 Transdutor de baixa pressão;
- 1 Estrutura para três compressores de 4 cilindros;
- 1 Depósito de líquido vertical 350dm<sup>3</sup> c/ válvula de entrada, saída, serviço e visor de líquido;
- 1 Quadro elétrico geral de força e comando em chapa com controlador de centrais Dixell.

**Condensador para central:**

- 1 Condensador Centauro modelo ACPD/M 680/ 453T.