



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



A Investigação e a Inovação na Fabricação de Equipamentos de Frio Industrial em Portugal

Ana Teresa Pereira Ramos
Licenciada em Engenharia Química e Biológica

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professor Especialista Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Professor Doutor João Nuno Pinto Miranda Garcia

Professor Especialista Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

Setembro de 2016



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica

A Investigação e a Inovação na Fabricação de Equipamentos de Frio Industrial em Portugal

Ana Teresa Pereira Ramos
Licenciada em Engenharia Química e Biológica

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professor Especialista Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Professor Doutor João Nuno Pinto Miranda Garcia

Professor Especialista Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

Setembro de 2016

Agradecimentos

A realização do presente Trabalho Final de Mestrado só foi possível devido à colaboração e incentivo de pessoas a quem quero expressar o meu sincero reconhecimento e apreço.

Ao professor especialista Engenheiro Francisco Manuel Gonçalves dos Santos por toda a disponibilidade, apoio e orientação.

À Centauro Portugal, em especial ao Director Técnico Engenheiro António Granjeira, por toda a partilha de conhecimentos e pelo seu inestimável contributo na realização desta dissertação.

Aos meus pais, Fernando e Maria, que nunca me deixaram desistir e que me ensinaram que o caminho faz-se caminhando.

Às minhas manas, Sandra e Joana, os pilares da minha vida que nunca permitiram que distância fosse sinónimo de ausência.

Aos meus, de sangue e de coração que, por escolha, se mantiveram sempre ao meu lado.

Por fim, e não menos importante, ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, a escola que me formou.

A todos, muito obrigada!

*“A great attitude does much more than turn on the lights in our world.
It seems to magically connect us to all sorts of serendipitous opportunities
that were somehow absent before the change.”*

Earl Nightingale

Resumo

A aplicação do frio na conservação de alimentos, técnica utilizada rudimentarmente desde os primórdios, representa actualmente uma tecnologia em constante progresso, tanto a nível de métodos de aplicação como a nível de equipamentos utilizados para tal.

Devido a imposições do regime político Salazarista, que se fez sentir durante muitos anos em Portugal, os equipamentos destinados à produção de frio industrial foram introduzidos tardiamente no nosso país.

Inicialmente foi elaborada uma Rede de Frio que abrangia uma rede de centros principais, uma rede de centros secundários e uma rede de distribuição, no continente e nas províncias ultramarinas. Dado o ponto de partida, gradualmente foram adoptadas as tecnologias mais inovadoras e vanguardistas utilizadas na Europa e nos Estados Unidos.

Desde o seu surgimento, a produção de frio industrial sempre foi uma área em constante progresso e nesse sentido verificou-se logo um grande interesse no aprofundamento do conhecimento da temática por parte dos primeiros fabricantes nacionais.

Um dos fabricantes mais conceituados de equipamentos de frio industrial em Portugal é a Centauro SGPS, que se dedica ao fabrico de condensadores, evaporadores e aplicações especiais tais como: centrais, grupos de condensação e instalações frigoríficas. Paralelamente também se dedica à investigação e desenvolvimento de soluções que vão de encontro às tecnologias mais actuais e promissoras no ramo de AVAC&R.

A crescente consciencialização perante a sustentabilidade ambiental e a situação económica actual tem levado à realização de diversos estudos, com vista a melhoria da concepção, *design* e eficiência energética dos equipamentos de produção de frio industrial, tanto a nível nacional como a nível internacional.

Palavras-chave

Frio Industrial, Refrigeração, Evaporador, Condensador, Sistemas de Refrigeração, Fluido Frigorígeno, Eficiência Energética, Sustentabilidade, Investigação, Desenvolvimento, Inovação

Abstract

The application of cold in the food preservation, the technique used rudimentary since the beginning, today is a technology in constant progress, both in terms of methods of application as the level of equipment used for that.

Due to impositions of the political regime of Salazar, that was felt many years in Portugal, the equipments for cold production were introduced very late in our country.

Initially was elaborated one network of cold that reached the main centers, one network of secondary centers and one network of distribution, in the continent and in the overseas provinces. Giving the starting point, gradually were adopted the most innovated and avant-garde technologies used in Europe and in the USA.

Since his appearance, the industrial production of cold was always one area in constant progress and since that it was felt a big interest in the knowledge of that theme from the first national manufacturers.

One of the most highly regarded manufacturers of industrial cold in Portugal is the Centauro SGPS, that dedicates in the making of condensers, evaporators and special applications such as: centrals, condensing groups and freezing installations. At the same time it dedicates also in the investigation and the development of solutions that goes along with modern and promising technologies in the branch of HVAC&R.

The growing of awareness due to environmental sustainability and the actual economic situation has led to the achievement of many studies, with the propose of design improve and energetic efficiency of industrial cold production, such as in a national or international level.

Keywords

Industrial Cold, Refrigeration, Evaporator, Condenser, Cooling Systems, Refrigerant Fluid, Energy Efficiency, Research, Development, Innovation

Lista de Siglas e Acrónimos

AC – Antes de Cristo

ALBC – Alumínio Lacado Branco Centauro

ALI – Alumínio Lixo Inox

APCER – Associação Portuguesa de Certificação

APED – Associação Portuguesa de Empresas e Distribuição

ARESP – Associação de Restauração e Similares de Portugal

ASAE – Autoridade de Segurança Alimentar e Económica

AVAC&R – Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração

BFC - Bromofluorcarboneto

CFC – Clorofluorcarboneto

CNC – Comando Numérico Computacional

COP – Coeficiente de Performance

CO₂ – Dióxido de Carbono

DIN – Deutshes Institut fur Normung

DL – Decreto-Lei

EN – Norma Europeia

ErP – Energy Related Products

FAO – Food and Agriculture Organization

HACCP – Hazard Analysis and Critical Control Point

HC - Hidrocarboneto

HCFC – Hidroclorofluorcarboneto

He - Hélio

HFC – Hidrofluorcarboneto

HVAC&R – Heating, Ventilating, Air Conditioning and Refrigeration

IIF – Instituto Internacional do Frio

INE – Instituto Nacional de Estatística

ISO – International Organization for Standardization

IQS – Instituto de Soldadura e Qualidade

I&D – Investigação e Desenvolvimento

Liq – Laboratório Industrial de Qualidade

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MIL-STD – Military Standarts

NP – Norma Portuguesa

N_2 – Azoto
 NH_3 - Amoníaco
ODP – Ozone Depletion
OMS – Organização Mundial de Saúde
PAG – Potencial de Aquecimento Global
PED – Pressure Equipment Directive
SASO – Saudi Arabian Standards Organisation
 SO_2 – Dióxido de Enxofre
TAP – Transportes Aéreos de Portugal
TIG – Tungsten Inert Gas
TUV – Technischer Überwachungs-Verein
UE – União Europeia
USA – United States of América

Lista de Variáveis

Q – Energia Térmica (J)
C – Capacidade Calorífica (J/K)
T – Temperatura (K)
L – Calor de Fusão (J/kg)
M – Massa (kg)
U – Energia Interna (J)
H – Entalpia (J)
V – Volume (m^3)
P – Pressão (Pa)
S – Entropia (J/K)
 \dot{W}_c – Potência de Compressão (W)
 \dot{m} - Caudal (kg/s)
 \dot{Q}_H – Capacidade de Rejeição de Calor (W)
 \dot{Q}_L – Capacidade de Refrigeração (W)

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	I
Abstract.....	III
Lista de Siglas e Acrónimos	V
Índice de Figuras.....	XI
Índice de Tabelas	XIII
Índice de Gráficos.....	XV
1. Introdução	1
1.1. Motivações e Objectivos	2
1.2. Enquadramento.....	2
1.3. Organização do Documento	5
2. Frio Industrial. História e Evolução da Produção de Frio.....	7
2.1. O Frio Industrial	7
2.1.1. Técnicas de Conservação de Alimentos através da Aplicação de Frio	8
2.1.1.1. Refrigeração.....	9
2.1.1.2. Congelação.....	9
2.1.1.3. Criogenia.....	11
2.1.2. Cadeia de Frio	11
2.1.3. Tripé Frigorífico.....	12
2.1.4. Legislação Aplicável.....	13
2.2. História e Evolução da Produção de Frio	16
2.2.1. Abordagem Histórica a Nível Mundial	16
2.2.2. Abordagem Histórica a Nível Nacional	21
3. Fundamentos Termodinâmicos. Sistemas de Refrigeração. Fluidos Frigorígenos. Componentes dos Sistemas de Refrigeração.....	27
3.1. Conceitos Básicos da Termodinâmica.....	27
3.2. Sistemas de Refrigeração	29
3.2.1. Ciclo de Compressão de Vapor.....	30
3.2.2. Ciclo de Absorção de Vapor	34
3.2.3. Ciclo de Gás.....	36
3.3. Fluídos Frigorígenos.....	37
3.3.1. Os Fluídos Frigorígenos na Indústria Nacional	41
3.4. Componentes dos Sistemas de Refrigeração	42
3.4.1. Compressor	43
3.4.2. Condensador	46
3.4.3. Evaporador.....	48
3.4.4. Dispositivo de expansão.....	50
4. Caso de Estudo – Parte I: Unidade Industrial Metalomecânica Dirigida à Produção de Equipamentos de Frio Industrial	53
4.1. A Centauro Portugal SGPS	53
4.1.1. Estrutura Organizacional Grupo Centauro Portugal SGPS	54
4.2. Produtos de Arranque	55
4.3. Tipologia dos Equipamentos Produzidos e Tecnologias.....	58
4.3.1. Estrutura dos Produtos	59
4.3.2. Tipologia dos Evaporadores.....	59

4.3.3. Tipologia dos Condensadores	65
4.3.4. Novas Tecnologias Adoptadas	68
4.3.5. Lançamento de Produtos Inovadores	70
4.4. Processos Produtivos	71
4.4.1. Permutador de Calor do tipo tubo alhetado (alhetas contínuas)	71
4.4.2. Grupos de Condensação	79
4.4.3. Centrais Frigoríficas	79
4.5. Materiais	80
4.6. Exportação, Competitividade e Concorrência Externa	81
4.6.1. Exportação	81
4.6.2. Competitividade	82
4.6.3. Concorrência Externa	83
5. Caso de Estudo – Parte II: Testes de Controlo de Qualidade e Certificação. Investigação e Desenvolvimento	85
5.1. Controlo de Qualidade	85
5.1.1. Na Recepção de Matérias-primas	86
5.1.2. No Processo de Fabrico	86
5.1.3. Inspeção Final	87
5.2. Certificação	89
5.3. Investigação e Desenvolvimento	91
5.3.1. I&D na Centauro	91
5.3.2. I&D em Portugal	93
6. Conclusões e Perspectivas Futuras	95
Referências Bibliográficas	99
Anexos	107
Anexo I – Estatísticas de Produção Industrial entre 1999 e 2012 (INE)	107
Anexo I.A – Produção Nacional de móveis expositores, móveis balcão e frigoríficos para produtos congelados e de móveis expositores, móveis balcão e frigoríficos para produtos refrigerados entre 1999 e 2011	107
Anexo I.B – Vendas Nacionais e Exportações de equipamento não doméstico para refrigeração e ventilação entre 1999 e 2011	108
Anexo II – Evaporadores Centauro	109
Anexo II.A – Descrição do Evaporador Centauro	109
Anexo II.B – Princípio de Funcionamento dos Evaporadores Centauro	111
Anexo II.C – Descongelamento dos Evaporadores Centauro	112
Anexo II.D – Desenho dos Evaporadores Cúbicos MT/DD/BXN/BXL	114
Anexo II.E – Desenho dos Evaporadores Cúbicos Industriais MTA/MTB/DDC/DDD/DXL	114
Anexo II.F – Desenho dos Evaporadores de Duplo Fluxo CBK/CBN/CBL	115
Anexo II.G – Desenho dos Evaporadores de Duplo Fluxo DF/DFL	115
Anexo II.H – Desenho dos Evaporadores de Cunha RWK/BWK	116
Anexo II.I – Desenho dos Evaporadores de Cunha TA/TAL	116
Anexo II.J – Desenho dos Evaporadores Redondos ERK/EKN	117
Anexo II. K – Desenho dos Evaporadores de Túnel BSU	117
Anexo III – Condensadores Centauro	118
Anexo III.A – Descrição do Condensador Centauro	118

Anexo III.B – Princípio de Funcionamento dos Condensadores Centauro.....	121
Anexo III.C – Desenho dos Condensadores ACP/ACPD	122
Anexo III.D – Desenho dos Condensadores ACI	123
Anexo III.E – Desenho dos Condensadores ACH	124
Anexo III.F – Desenho dos Condensadores AC/ACM	125
Anexo III.G – Desenho dos Condensadores ACJ	126
Anexo III.H - Desenho dos Condensadores VAC/VACD	127
Anexo IV – Novas Tecnologias e Produtos Inovadores	128
Anexo IV.A - Folheto informativo da tecnologia EC	128
Anexo IV.B – Evaporadores TFC.....	129
Anexo IV.C – Evaporadores SAHE MTI/DDI/DLI/DXI	130
Anexo IV.D – Abatedor BSUD	131
Anexo IV.E – Condensador ACR.....	132
Anexo IV.F – Evaporadores MBX/DBX	133
Anexo IV.G – Folhetos de Apresentação de Novos Produtos	134
Anexo V – Diagramas de Produção de Equipamentos	138
Anexo V.A – Diagrama de produção de permutadores de calor com tubo de cobre	138
Anexo V.B – Diagrama de produção de permutadores de calor com tubos inox.....	139
Anexo V.C – Diagrama de produção de unidades de condensação	140
Anexo VI – Panfleto publicitário Centauro de 2016.....	141
Anexo VII - Inspeção do alumínio em rolo.....	142
Anexo VIII – Trabalhos de Investigação desenvolvidos em Portugal, no ramo da Refrigeração	144

Índice de Figuras

Figura 1 – Tripé Frigorífico	13
Figura 2 - Tanques rasos de armazenamento de água da Real Fábrica de Montejunto	21
Figura 3 – Rede de Frio e Pescas de 1969: Armazenagem e distribuição	24
Figura 4 - Diagrama de Funcionamento de uma Máquina Frigorífica	30
Figura 5 – Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor	31
Figura 6 – Ciclo Teórico de Refrigeração por Compressão de Vapor	31
Figura 7– Diferenças entre o Ciclo Teórico e o Ciclo Prático de Refrigeração por Compressão de Vapor [64]	33
Figura 8 – Ciclo de Refrigeração por Absorção de Vapor	35
Figura 9 – Ciclo de Refrigeração a Gás	36
Figura 10 – (a) Compressor hermético; (b) Compressor semi-hermético; (c) Compressor aberto	44
Figura 11 – Ilustração de um Compressor Evaporativo	48
Figura 12 – Esquema de um Evaporador Inundado	49
Figura 13– Válvula de Expansão a Pressão constante	50
Figura 14 – Válvula Termostática de Expansão Adaptado	51
Figura 15 - Sede da Centauro Portugal SGPS	53
Figura 16- Organigrama geral do grupo Centauro	55
Figura 17 - Geometria das primeiras cortinas de ar fabricadas pela Centauro	56
Figura 18 - Tipologia dos Evaporadores cúbicos apresentados no catálogo de lançamento	56
Figura 19 - <i>Shell and Tube</i> apresentado no catálogo de lançamento	57
Figura 20 - Grupos de Condensação a ar de lançamento: Modelos CBS, CMM/CML e aplicações especiais, respectivamente	57
Figura 21 – a) Evaporador em Cunha; b) Evaporador Cúbico; c) Evaporador de Duplo Fluxo	60
Figura 22 – Resistência de Gola	64
Figura 23 – Adaptador de Conduta	64
Figura 24 – <i>Streamer</i>	65
Figura 25 – Interruptor de serviço	67
Figura 26 – Alinhamento dos Apoios Antivibráticos	68
Figura 27 - Processo de alhetamento	72
Figura 28 - Expansão dos blocos alhetados	74
Figura 29 - Brasagem e soldadura de baterias	75
Figura 30 - Paneladora Prima Power	77
Figura 31 - Máquina de corte a laser para corte e furação de chapa e tubo	77
Figura 32 - Instalação de pintura electrostática a pó	78
Figura 33 - Túnel de Lavagem; Túnel de Secagem; Forno	78
Figura 34 - Grupo de condensação Centauro com quadro eléctrico	79
Figura 35 - Mercados de Exportação	82
Figura 36 - Organigrama da Direcção de Qualidade	85
Figura 37 - Planeamento do controlo de qualidade realizado pela Centauro	89
Figura 38 - Estrutura resumida de documentos na Centauro	90
Figura 39 – Instalações Laboratoriais da Centauro	92
Figura 40 - Representação esquemática do procedimento experimental	144
Figura 41 - Diagrama esquemático do sistema de refrigeração a adsorção solar	147
Figura 42 - Diagrama esquemático do protótipo experimental para o processo de vaporização a alta pressão.	148

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Capacidade e localização das sub-redes da rede de frio de pescas em 1970	25
Tabela 2 - Famílias e Grupos de produtos Centauro	59
Tabela 3 – Características dos Principais Evaporadores Centauro	63
Tabela 4 – Características dos Condensadores Centauro.....	67

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Produção nacional de móveis expositores, móveis balcão e frigoríficos para produtos congelados e de móveis expositores, móveis balcão e frigoríficos para produtos refrigerados entre 1999 e 2011	3
Gráfico 2 – Vendas Nacionais e Exportações de equipamento não doméstico para refrigeração e ventilação entre 1999 e 2011	4
Gráfico 3 – Fluidos Frigorígenos utilizados na Agroindústria Nacional em 2014	41
Gráfico 4 – Fluidos Frigorígenos utilizados por Fileira	42

1. Introdução

A refrigeração industrial tem representado um papel fundamental na sociedade moderna, tendo como objectivos principais a viabilização de processos industriais e a refrigeração de matérias-primas e produtos alimentares, onde cada sistema é composto fundamentalmente por um ciclo de refrigeração.

Os equipamentos de produção de frio estão cada vez mais presentes nas instalações industriais e representam uma parte muito significativa no montante de investimentos.

Os sistemas de refrigeração industrial, actualmente utilizados em larga escala, fundamentam-se na transferência de energia térmica de uma zona de temperatura mais baixa para uma zona de temperatura mais elevada. Esta transferência é conseguida através da capacidade que determinadas substâncias têm em absorver uma grande quantidade de calor durante o processo de vaporização, denominadas fluidos frigoríficos.

Os ciclos termodinâmicos de fluídos frigoríficos são representados no diagrama de Mollier, um diagrama de pressão *versus* entalpia (p,h) e em diagramas de temperatura *versus* entropia (T,s). Os requisitos de temperatura e pressão ideais de operação de um ciclo de refrigeração são determinados pelas características dos produtos e dos processos, pelo ciclo e pelos seus componentes.

Os processos de conservação de alimentos por aplicação de frio são os mais actuais e os mais adaptados às condições de conservação de géneros alimentares perecíveis. O processamento e a conservação de alimentos tornaram-se factores fundamentais para a sustentabilidade do planeta mediante o crescimento da população mundial nos últimos anos. Por conseguinte, a refrigeração de alimentos perecíveis tornou-se objecto de estudo e aperfeiçoamento.

A vasta experiência da indústria alimentar tem levado a um elevado grau de conhecimento sobre o estado da arte do sector do frio industrial, sendo por isso essencial dar prioridade à eficiência das instalações frigoríficas para garantir a competitividade no mercado.

Alguns dos requisitos a ter em conta no desenvolvimento das tecnologias de refrigeração, congelação e preservação de produtos alimentares perecíveis são o enquadramento no tripé frigorífico, as características físicas, químicas e termodinâmicas do produto, os processos físicos e mecânicos da aplicação de frio, os balanços térmicos durante todo o processo e por fim a estabilização do produto conservado.

Devido às suas inúmeras aplicações, a refrigeração compreende diversas áreas da Engenharia e por isso há um interesse constante em tornar os processos mais eficientes, de

forma a promover uma economia energética sustentável e a obter a aproximação gradual a rendimentos cada vez mais eficientes.

1.1. Motivações e Objectivos

A refrigeração é hoje indissociável da cadeia alimentar tanto nas instalações industriais de fabrico e de transformação de alimentos, como da cadeia comercial e de distribuição. Assim, é extremamente motivador apostar na pesquisa e investigação da evolução que os procedimentos de aplicação de frio a géneros alimentares sofreram ao longo do tempo e analisar os métodos e equipamentos utilizados actualmente.

O desenvolvimento deste trabalho foi direccionado para a definição dos pilares essenciais à criação de novos projectos, de forma a contribuir com o desenvolvimento e crescimento da indústria, visando os métodos mais inovadores e sustentáveis.

Assim, os principais objectivos da realização da presente dissertação foram:

- Fazer uma abordagem à história contemporânea da indústria de produção de frio no mundo em geral e em Portugal em particular;
- Efectuar uma pesquisa da tipologia dos equipamentos indústrias de produção de frio fabricados em Portugal;
- Realizar uma investigação numa unidade industrial metalomecânica dirigida à produção de equipamentos, de forma a conhecer os processos produtivos, materiais utilizados, ensaios e testes realizados aos equipamentos;
- Evidenciar a competitividade do sector, concorrência externa e potencialidades futuras.

1.2. Enquadramento

O frio industrial tem total dependência dos sistemas de refrigeração, pelo que existe a necessidade de definir correctamente o perfil de uma instalação e investigar novas alternativas que vão de encontro a soluções optimizadas, tecnicamente viáveis e sustentáveis.

Os sistemas de refrigeração são uma tecnologia com uma vasta área de aplicação, sendo nesta dissertação vocacionados para o sector alimentar, devido ao papel vital que desempenharam na globalização dos mercados deste sector.

A sustentabilidade e a segurança alimentar são temáticas alvo de pesquisas e estudos científicos devido à crescente procura de alimentos. Assim tornou-se fundamental encontrar soluções que visem a sustentabilidade do planeta e produtos

alimentares de qualidade, exercendo-se uma grande pressão sobre a cadeia de produção e conservação alimentar.

É neste contexto que a refrigeração desempenha um papel crucial, permitindo a conservação, transformação, armazenamento e transporte de alimentos, o que garante o abastecimento de géneros alimentares em períodos sazonalmente desfavoráveis à sua produção ou em países subnutridos.

As tecnologias de aplicação de frio industrial representam um campo onde se têm verificado os maiores avanços tecnológicos, tornando-se um factor substancial para a competitividade entre empresas de sectores que utilizam esta tecnologia.

Nos relatórios de estatísticas de produção anual, o INE (Instituto Nacional de Estatística) fornece dados relativamente ao fabrico e valor de vendas de equipamentos destinados à refrigeração e congelação (Anexo I).

Existem três categorias de interesse analítico para a presente dissertação: A produção de equipamentos expositores e móveis com grupo frigorífico ou evaporador incorporado para produtos congelados, a produção de equipamentos expositores e móveis com grupo frigorífico ou evaporador incorporado para produtos refrigerados (Anexo I.A) e as vendas nacionais e exportações de equipamento não doméstico para refrigeração e ventilação (Anexo I.B).

Nas categorias de equipamentos expositores e móveis-balcão, frigoríficos (com grupo frigorífico ou evaporador incorporado) para produtos congelados e de equipamentos expositores e móveis-balcão, frigoríficos (com grupo frigorífico ou evaporador incorporado) excepto para produtos congelados, os dados são apresentados em unidades produzidas anualmente entre 1999 e 2011 (Gráfico 1).

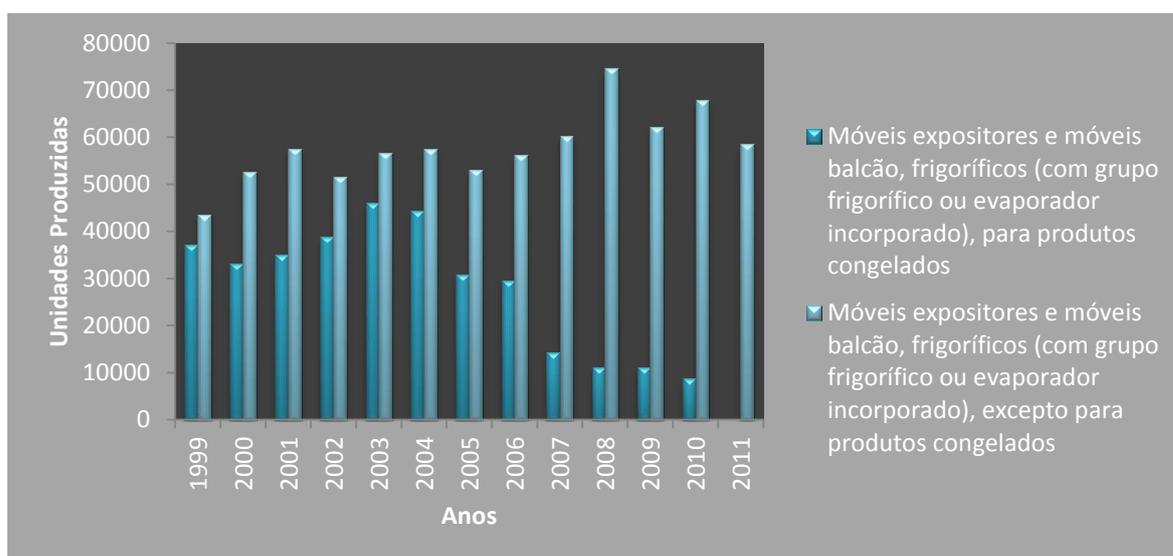


Gráfico 1 – Produção nacional de móveis expositores, móveis balcão e frigoríficos para produtos congelados e de móveis expositores, móveis balcão e frigoríficos para produtos refrigerados entre 1999 e 2011 Adaptado [1]

Em 1999 foram produzidas cerca de 37100 unidades de equipamentos destinados a produtos congelados e cerca de 43550 unidades de equipamentos destinados a produtos refrigerados. A superior produção de equipamentos destinados a produtos refrigerados poderá ser justificada pela predominância das vitrines expositoras nos espaços comerciais nacionais.

No entanto, é preocupante a tendência de produção dos equipamentos destinados a produtos congelados. O número de unidades produzidas decresceu ao longo dos anos, tendo atingido um total de 8770 unidades produzidas em 2010.

Contrariamente, o número de equipamentos destinados a produtos refrigerados fabricado revela uma tendência de produção bastante positiva, verificando-se o seu pico máximo em 2008 com a produção de 74583 unidades.

Para 2011 não existe dados quanto à produção de móveis expositores, móveis balcão e frigoríficos para produtos congelados.

A categoria de equipamento não doméstico para refrigeração e ventilação compreende a fabricação de equipamento industrial de refrigeração e congelação, de ventilação, de máquinas e aparelhos de ar condicionado (incluindo para veículos automóveis), fabricação de equipamentos para a liquefacção de ar ou gás, ventiladores de sótão e tectos, acessórios, partes e peças.

Apesar de os dados serem fornecidos em valor de vendas e não existindo uma relação linear com as unidades produzidas, devido à inflação e outros custos associados, é possível obter uma visão geral das exportações efectuadas entre 1999 e 2011 (Gráfico 2).

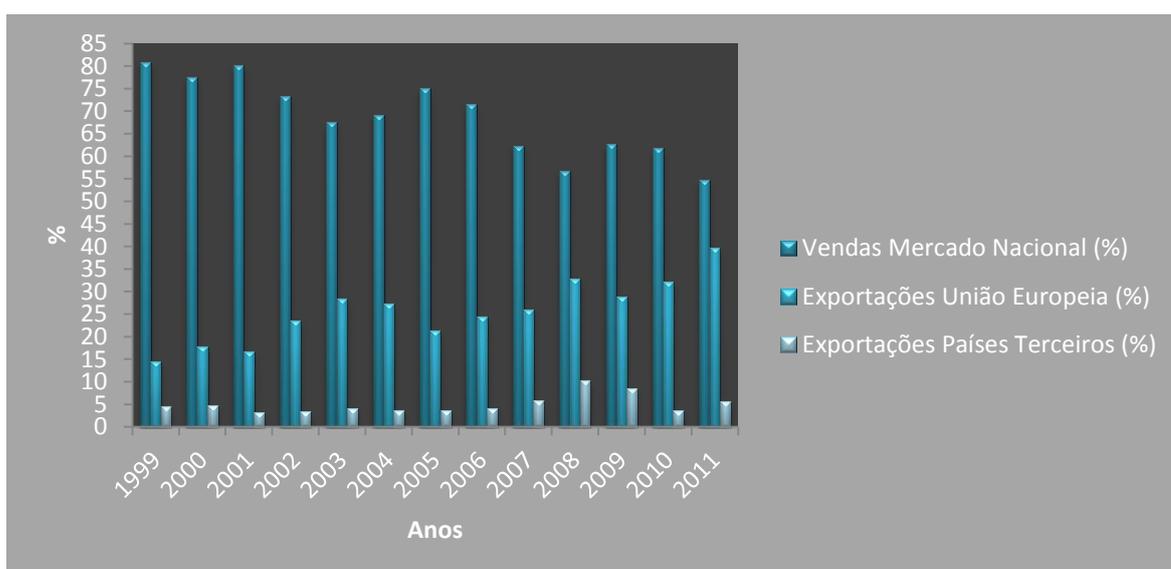


Gráfico 2 – Vendas Nacionais e Exportações de equipamento não doméstico para refrigeração e ventilação entre 1999 e 2011 Adaptado [1]

Em 1999, da totalidade de equipamento não doméstico para refrigeração e ventilação produzidos, cerca de 81% do valor das vendas foi obtido nos equipamentos comercializados em mercado nacional, 14% do valor das vendas correspondeu a equipamentos exportados para a UE (União Europeia) e os restantes 5% a equipamentos exportados para países terceiros.

De um modo geral, o comércio nacional tem vindo a decrescer. Contrariamente, verifica-se um aumento nas exportações para a UE. As exportações para países terceiros têm-se mantido relativamente constantes, com variações no valor das vendas entre os 3% e os 10% do valor total da produção.

Em 2012 o INE procedeu à reclassificação de categorias, pelo que os itens mencionados foram introduzidos noutras grupos de equipamentos. Desta forma não se considerou relevante apresentar dados estatísticos de um universo de equipamentos que engloba diversos produtos para além dos aplicáveis à refrigeração.

1.3. Organização do Documento

A organização do presente documento seguiu uma linha que raciocínio onde se pretendeu dar inicialmente uma visão geral sobre o sector do frio industrial e gradualmente estreitar a temática até se alcançar os objectivos propostos.

Assim, no Capítulo 1 apresenta-se uma breve introdução da temática bem como a sua relevância, as motivações e objectivos que levaram à elaboração da dissertação e o enquadramento do frio industrial em geral, apresentando-se dados específicos sobre a produção e comércio de equipamentos destinados à refrigeração e congelação, em Portugal, entre 1999 e 2011.

O Capítulo 2 é dirigido às principais definições e características da produção de frio industrial. São abordadas as técnicas de conservação de alimentos através da aplicação de frio, é definido o conceito de Cadeia de Frio e as condições básicas para o seu excelente funcionamento, denominadas por Tripé Frigorífico, e é feito um enquadramento legal do sector, com referência à legislação aplicável e aos códigos de boas práticas.

Este capítulo contém ainda uma abordagem à história contemporânea da produção de frio no mundo em geral e em Portugal em particular, apresentando-se as principais dificuldades de inserção desta indústria no mercado nacional.

O Capítulo 3 aborda os fundamentos termodinâmicos da refrigeração, a comparação entre um ciclo frigorífico real e um ciclo frigorífico ideal, introduz a temática

da utilização dos fluídos frigorigeneos e descreve a tipologia dos equipamentos base constituintes de um sistema de refrigeração.

O Capítulo 4 relata um caso de estudo realizado numa unidade industrial metalomecânica dirigida à produção de equipamentos de frio industrial, a Centauro Portugal SGPS. São abordados os primeiros equipamentos que a empresa lançou no mercado, a tipologia dos equipamentos produzidos actualmente, as tecnologias utilizadas e os processos de fabrico.

No âmbito dos objectivos propostos fez-se ainda menção aos mercados de exportação dos equipamentos, estratégias de competitividade e concorrência externa.

No capítulo 5 são abordados os testes de controlo de qualidade realizados aos equipamentos fabricados pela Centauro, as actividades de Investigação e Desenvolvimento realizadas pela empresa, apresentam-se os trabalhos mais relevantes no sector da refrigeração desenvolvidos em Portugal e faz-se uma breve referência aos trabalhos mais recentes realizados a nível internacional.

2. Frio Industrial. História e Evolução da Produção de Frio.

2.1. O Frio Industrial

Com o decorrer dos anos, a indústria de frio tem vindo a ganhar cada vez mais importância, como forma de resposta à elevada procura mundial sustentada pelo aumento da exigência de qualidade e variedade dos produtos [2].

O frio industrial dedica-se à investigação e aplicação de baixas temperaturas com finalidades industriais, para a conservação de bens susceptíveis de alteração por acção da temperatura.

Nesse sentido, a produção de frio tem sido essencial para o desenvolvimento da actividade industrial, com principal foco nas áreas ligadas à alimentação.

As alterações dos produtos perecíveis e essenciais ao desenvolvimento da comunidade dependem em grande parte da temperatura, pelo que a aplicação do frio permite reduzir ao mínimo as perdas. A necessidade de garantir a conservação dos alimentos com qualidade, ao retirar calor dos mesmos, diminuí a velocidade com que estes se degradam, permitindo o armazenamento durante grandes períodos de tempo [3].

A utilização de frio na indústria alimentar representa um enorme avanço tecnológico e possibilitou o armazenamento e transporte de produtos perecíveis.

Em Portugal, as indústrias agro-alimentares com dependência directa do frio industrial agrupam-se nas fileiras da carne, peixe, lacticínios, hortofrutícolas e de distribuição. Cada fileira tem necessidades de refrigeração diferenciadas que dependem exclusivamente do produto conservado [4].

Actualmente, o frio é o único meio de preservação de alimentos no seu estado natural, tendo os sistemas de refrigeração sofrido uma enorme evolução, com o objectivo de se adaptarem às necessidades do consumidor, utilizando-se com maior frequência as tecnologias mais avançadas [5].

O desenvolvimento das tecnologias de preservação de produtos alimentares perecíveis é determinado pela investigação científica e técnica nos domínios da biotecnologia, frio industrial e tecnologia industrial [3].

Existe uma fronteira dúbia entre a refrigeração industrial e a refrigeração comercial. Normalmente, as aplicações industriais abrangem os grandes estabelecimentos de armazenamento de produtos alimentares frescos ou congelados, as indústrias alimentares com necessidades especiais de refrigeração ou congelação e as instalações industriais com necessidades de refrigeração dos diversos processos de fabricação (refinarias, indústria química, farmacêuticas, entre outras). As aplicações comerciais abrangem o projecto,

instalação e manutenção de equipamentos de refrigeração presentes em estabelecimentos comerciais, em restauração, hotelaria e estabelecimentos de retalho. Devido ao crescimento do sector de transportes, este ganhou dimensão para ser tratado como uma área independente das aplicações de refrigeração industrial e das aplicações de refrigeração comercial. Desta forma, as aplicações no sector de transportes abrangem os equipamentos de refrigeração que equipam os veículos terrestres, marítimos e aéreos [6].

A refrigeração industrial define-se através da sua gama de temperaturas de operação, no limite inferior de $-60^{\circ}\text{C}/-70^{\circ}\text{C}$ e no limite superior de $+15^{\circ}\text{C}$. Esta indústria tem outras aplicações para além da conservação de alimentos tais como a indústria química e de processos, com igual importância para a sociedade, o que a torna um pilar para o estilo de vida actual [7].

2.1.1. Técnicas de Conservação de Alimentos através da Aplicação de Frio

O método de conservação pelo uso de frio foi um dos primeiros métodos a ser utilizado na conservação de alimentos. A aplicação de temperaturas reduzidas permite a conservação de determinados alimentos, impedindo a sua deterioração, o desenvolvimento de microrganismos patogénicos e retardando a ocorrência de reacções enzimáticas e químicas [8].

Grande parte dos alimentos perecíveis não pode ser armazenada sem uma perda considerável da sua qualidade. Esta perda de qualidade deve-se a processos microbiológicos, químicos, bioquímicos e físicos. A aplicação do frio desempenha um papel fundamental no controlo destes processos pois todos são retardados e/ou inibidos através da diminuição da temperatura, de forma a não provocar danos nos alimentos e assim prolongar a sua vida útil [9].

Para se obter um produto de qualidade é necessário ter em conta diversos factores tais como o tipo de produto a conservar, a qualidade do produto fresco, a temperatura de conservação, a humidade relativa, a velocidade de circulação do ar e a composição da atmosfera circundante.

A temperatura de conservação deve ser aplicada em função do tipo de alimento, do tempo de conservação pretendido e da técnica aplicada [10].

A humidade relativa deve ser controlada, na medida em que se for demasiado baixa irá provocar a desidratação dos alimentos e se for demasiado elevada irá favorecer a multiplicação de microrganismos. Se ocorrerem oscilações acentuadas nos valores de humidade relativa irá haver condensação de água na superfície dos alimentos [10].

A velocidade de circulação do ar representa o elo de ligação entre a temperatura e a humidade relativa, pois permite o equilíbrio de ambas, auxiliando a que se mantenham constantes e uniformes ao longo do espaço físico refrigerado [10].

As técnicas de processamento e conservação de alimentos a baixas temperaturas podem subdividir-se em três tipos: refrigeração, congelação e criogenia.

2.1.1.1. Refrigeração

A refrigeração define-se como o processo de remoção de calor de um espaço fechado. Representa o ramo da ciência que trata dos processos de redução e conservação da temperatura de um espaço ou material, abaixo da temperatura do ambiente circundante [11].

O processo de refrigeração de alimentos perecíveis é muito importante, no entanto apenas garante uma conservação dos produtos limitada no tempo.

A refrigeração distingue-se das outras técnicas de conservação pelo frio com base na temperatura que é aplicada. Refrigerar passa por armazenar os alimentos a temperaturas entre -2.2°C e $+16^{\circ}\text{C}$, ou seja, temperaturas superiores ao ponto de congelação da água nos alimentos. Apesar da água pura congelar a 0°C , a água constituinte dos alimentos perecíveis só começa a congelar a temperaturas iguais ou inferiores a -2.2°C [12].

A armazenagem em refrigeração garante a conservação de alimentos perecíveis por períodos que podem ir de alguns dias até várias semanas, de acordo com o tipo de alimento a refrigerar [12].

2.1.1.2. Congelação

A congelação define-se como um processo no qual a temperatura dos alimentos é reduzida muito rapidamente, levando a que a água presente nestes passe para o estado sólido. A principal vantagem desta técnica de conservação pelo uso de frio é o facto de se conseguir conservar as características organolépticas e nutritivas dos alimentos [8].

A congelação de alimentos inicia-se entre -0.5°C e -3.0°C , no entanto a congelação completa só pode ser mantida por armazenagem a temperaturas iguais ou inferiores a -18°C [13].

A conversão de água em gelo aumenta a concentração de solutos dissolvidos na água não congelada, levando à diminuição da actividade desta no alimento. Assim, verifica-se um efeito de dupla inibição sobre os microrganismos: as temperaturas reduzidas cessam o seu crescimento e diminuem a quantidade de água disponível [14].

O processo de congelação de alimentos ocorre em três fases: Inicialmente a temperatura diminui rapidamente até -1°C , verificando-se de seguida a fase de cristalização entre -1°C e -5°C . Por fim é aplicada a temperatura a que se pretende efectuar a armazenagem dos alimentos, que depende do tempo de armazenagem desejado [15].

A velocidade a que ocorre a congelação da água afecta directamente a qualidade do produto. O tempo de congelamento determina a dimensão dos cristais de gelo formados e a dimensão destes pode afectar a qualidade do produto [9].

O crescimento dos cristais limita o tempo de vida de congelação dos alimentos, uma vez que cristais de maiores dimensões provocam lesões nos tecidos celulares pois leva ao rompimento das paredes celulares e das estruturas celulares. Quando descongelado, o produto tende a perder mais água e apresenta uma textura e sabor diferentes [16].

A congelação pode processar-se por dois métodos distintos: a congelação rápida e a congelação lenta.

Na congelação lenta, a temperatura do produto permanece próxima do ponto de congelação inicial durante bastante tempo. A água extracelular, por ter uma menor concentração de solutos, congela mais rapidamente do que a água intracelular. Durante este processo verifica-se o fenómeno de formação de cristais de gelo, que crescem ao longo do tempo, sendo estes tanto maiores quanto mais tempo demorar a congelação. Neste processo, o tempo de obtenção da temperatura de armazenamento pode ir de 3 a 72 horas [16].

Na congelação rápida, a temperatura do alimento é inferior a -20°C em cerca de 30 minutos. Podem submeter-se alimentos a congelação rápida por imersão directa no fluido frigorífero ou por contacto indirecto através da passagem de correntes de ar frio à volta dos alimentos. Durante a congelação rápida, os cristais de gelo formam-se rapidamente e apresentam uma forma esférica, devido à sua formação se dar a nível intracelular [16].

O método de congelação rápida é o mais adequado para manter as características originais dos alimentos, uma vez que permite minimizar a destruição mecânica das células devido à formação de cristais menores, o que minimiza a destruição dos tecidos celulares. Quanto mais rápida for a dissipação de calor, menores dimensões terão os cristais de gelo formados e menor será a alteração da estrutura celular dos alimentos.

A congelação é considerada a técnica mais bem-sucedida para a conservação dos alimentos a longo prazo, visto que o seu teor nutritivo é largamente preservado e o produto congelado assemelha-se ao produto fresco [14].

2.1.1.3. Criogenia

A criogenia faz parte dos processos de ultracongelamento e define-se como sendo um método de obtenção e aplicação de temperaturas extremamente reduzidas, entre -150°C e -196°C, que não se encontram de forma natural na natureza [17].

Este processo de ultracongelamento utiliza gases liquefeitos, tais como o N₂ (azoto), o He (hélio) e o CO₂ (dióxido de carbono) que são excelentes condutores de calor, o que favorece o aumento da velocidade de congelamento. O CO₂ é aplicado no arrefecimento de câmaras de transporte e em túneis de congelamento através de neve carbónica [18].

A ultracongelamento feita com a aplicação de gases criogénicos realiza-se aproximadamente em 15 minutos, em função das baixas temperaturas aplicadas. Os alimentos submetidos a métodos criogénicos de congelamento apresentam qualidade superior, devido à formação de um grande número de pequenos cristais intracelulares que não alteram o produto de forma significativa [17].

Os compostos criogénicos podem ser aplicados directamente nos alimentos, por imersão directa, pulverização ou circulação do vapor criogénico.

As principais desvantagens da aplicação de métodos criogénicos são a necessidade de armazenar os gases liquefeitos a alta pressão em depósitos adequados, a perda do agente criogénico e o custo de ultracongelamento que se torna elevado face a produtos de baixo valor comercial [3].

2.1.2. Cadeia de Frio

A comercialização de alimentos perecíveis requer que a sua temperatura seja mantida, ininterruptamente, de forma a garantir que as reacções enzimáticas e o desenvolvimento microbiano não atinjam níveis prejudiciais ao seu padrão higiénico, nutricional e organoléptico, com o objectivo de preservar a sua qualidade. Este processo denomina-se cadeia de frio [3].

Em 2003 o IIF (Instituto Internacional do Frio) divulgou dados relevantes que levaram a uma maior consciencialização acerca das necessidades de ampliação do alcance da cadeia de frio, principalmente em países subnutridos que são severamente afectados pelo desperdício alimentar e pela ausência de integridade nutricional. Mundialmente são produzidos cerca de 5500 milhões de toneladas de alimentos dos quais apenas 400 milhões de toneladas são refrigerados. Cerca de 1800 milhões de toneladas teriam um melhor

aproveitamento e menor nível de desperdício se fossem submetidos a uma correcta e rigorosa cadeia de frio até chegar ao consumidor final [19].

A cadeia de frio surgiu com a necessidade de reunir a especialização em gerir os produtos perecíveis sensíveis à temperatura, com técnicas logísticas avançadas. Com o aumento da capacidade de comercializar e distribuir alimentos perecíveis, intensificaram-se os esforços para aperfeiçoar e inovar a cadeia de frio. Os progressos verificados na tecnologia de transportes possibilitaram a abertura de mercados distantes da origem, com perdas mínimas de qualidade [20].

O termo cadeia de frio é relativamente recente e envolve os conceitos de integração e coesão como elos de uma cadeia. As condições termohigrométricas devem ser idênticas ao longo de toda a cadeia, pelo que em qualquer movimentação de produtos perecíveis entre os diferentes elos da cadeia deve garantir-se a capacidade de manter estas condições [3].

Os nós constituintes da cadeia de frio não são mais do que meios técnicos tais como entrepostos frigoríficos, matadouros, centros de abate de aves, estações hortofrutícolas, estações de tratamento de leite, lotas, navios de pesca, veículos frigoríficos de transporte, câmaras frigoríficas de comércio grossista, hipermercados e consumidores [3].

Os alimentos conservados por aplicação do frio representam um dos mais rápidos sectores de crescimento industrial. Numa época de globalização, onde grande parte dos alimentos requer uma temperatura específica desde o abate/colheita até ao consumidor final, a existência de uma cadeia de frio tornou-se fundamental [21].

Para que se obtenham bons resultados na aplicação do frio na conservação de produtos alimentares perecíveis é necessário respeitar o que a escola francesa denominou de *Trépied Frigorifique*.

2.1.3. Tripé Frigorífico

Em 1925 Alexandre Monvoisin, professor de química e microbiologia aplicada à conservação de produtos perecíveis, formulou e agrupou os princípios básicos da conservação de alimentos, conhecidos hoje como Tripé Frigorífico de Monvoisin.

O tripé frigorífico reúne as três condições base que devem ser tomadas em conta e praticadas de forma a proteger a qualidade de um produto que pretende apresentar uma boa imagem, manter o seu grau de frescura e não sofrer degradação [3].

Como se pode verificar na Figura 1, as condições base do tripé frigorífico estão interligadas e têm como centro de acção a cadeia de frio.

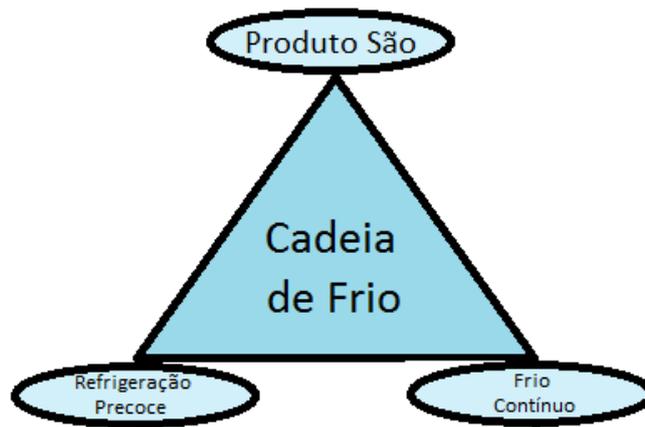


Figura 1 – Tripé Frigorífico

- Produto São: Antes de ser submetido a qualquer técnica de conservação, o produto não deve ter indícios de deterioração. O produto deve ser colhido, abatido ou capturado de forma correcta, no momento adequado e sob as técnicas e tecnologias mais adequadas.
- Refrigeração Precoce: É essencial inibir o desenvolvimento microbiano através de frio tão cedo quanto possível, evitando que o calor do próprio alimento seja suficiente para introduzir alterações no produto.
- Frio Contínuo: Deverá manter-se um regime de temperatura constante ao longo de toda a cadeia desde o momento da primeira aplicação do frio até ao consumo de forma a evitar que surjam modificações no produto [3].

2.1.4. Legislação Aplicável

Na construção e utilização de uma instalação industrial de frio ou entrepostos frigoríficos existem requisitos técnico-funcionais e higio-sanitários que devem ser respeitados e cumpridos de forma a não comprometer a segurança e a saúde pública.

Associado ao escoamento de elevados volumes de alimentos perecíveis surgiu a necessidade de regulamentar as actividades, fixar limites térmicos aos produtos, padronizar critérios de avaliação e estabelecer normas construtivas de equipamentos e condições sanitárias para a manipulação de produtos perecíveis.

A legislação portuguesa prevê um conjunto de DL (decretos-lei), regulamentos e normas que uniformizam os métodos de construção e utilização destes espaços, bem como as exigências que fornecem a garantia da segurança alimentar.

❖ **Legislação**

- DL n.º342/98 de 5 de Novembro – Estabelece as condições sanitárias aplicáveis à produção e à colocação no mercado de produtos de origem animal, destinados ao consumo humano [22];
- DL n.º152/2005 de 31 de Agosto – Regulamenta as operações de recuperação para reciclagem, valorização e destruição de substâncias que empobrecem a camada de ozono contidas em equipamentos de refrigeração [23];
- DL n.º113/2006 de 12 de Junho – Relativo à Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos (HACCP) [24];
- DL n.º147/2006 de 31 de Julho – Aprovou o regulamento das condições higiénicas e Técnicas a observar na distribuição e venda de carnes e seus derivados [25];
- DL n.º207/2008 de 23 de Outubro – Regulariza a distribuição e venda de carnes e seus derivados [25];
- DL n.º67/2014 de 7 de Maio – Revoga o DL n.º230/2004 de 10 de Dezembro, e que abrange todas as empresas que fabricam e/ou comercializam equipamentos AVAC&R para uso doméstico ou profissional [26].
- Portaria n.º53/71 de 3 de Fevereiro – Relativa à segurança das instalações e uso de equipamentos de protecção individual (Secção III – Instalações Frigoríficas, Capítulo V) [28];
- Portaria n.º584/2007 de 9 de Maio – Define os termos de apresentação dos pedidos de instalação ou alteração dos estabelecimentos industriais [29];
- Portaria n.º789/2007 de 23 de Julho – Fixa os requisitos específicos a que deve obedecer a instalação e funcionamento de estabelecimentos comerciais e armazéns, previstos no DL n.º259/2007 de 17 de Julho [30].

❖ **Regulamentação**

- Regulamento CE n.º2037/2000 - Relativo às substâncias que empobrecem a camada de ozono [31];
- Regulamento CE n.º178/2002 – Determina os princípios e normas gerais da legislação alimentar, cria a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos e estabelece procedimentos em segurança de géneros alimentícios [32];

- Regulamento CE nº408/2003 – Relativo aos controlos de conformidade com as normas de comercialização aplicáveis no sector das frutas e produtos hortícolas frescos [33];
- Regulamento CE nº852/2004 – Relativo à higiene dos géneros alimentícios [34];
- Regulamento CE nº853/2004 – Estabelece as regras específicas de higiene aplicáveis aos géneros alimentícios de origem animal [35];
- Regulamento CE nº854/2004 – Estabelece as regras específicas de organização dos controlos oficiais de produtos de origem animal destinados ao consumo humano [36];
- Regulamento CE nº37/2005 – Relativo ao controlo de temperatura nos meios de transporte e locais de depósito e armazenagem de alimentos ultracongelados [37];
- Regulamento CE nº842/2006 – Relativo a determinados gases fluorados com efeito estufa e actos de execução [38].

❖ **Certificação**

- NP 1524 – Relativa a transportes terrestres de produtos perecíveis, características, classificação e utilização [39];
- NP EN 378 – Relativa aos requisitos de segurança e protecção ambiental (Parte I: Requisitos básicos, definições, classificação, critérios de escolha; Parte II: Projecto de Construção, ensaios, marcação, documentação; Parte III: Montagem no local e protecção de pessoas; Parte IV: Funcionamento, manutenção, reparações e recuperação de fluídos) [40];
- NP EN 1861 – Referente aos diagramas esquemáticos de sistemas, tubagens e aparelhos. Configuração e símbolos [41];
- NP EN 13313 – Referente a sistemas frigoríficos e bombas de calor: requisitos do pessoal [42];
- NP EN 12178 – Referente a sistemas frigoríficos e bombas de calor: Dispositivos indicadores do nível de líquido, requisitos, ensaios e marcação [43];
- NP EN 14276/2 – Referente a sistemas frigoríficos e bombas de calor: Equipamentos sob pressão para sistemas frigoríficos [44];
- NP EN ISO 22000:2005 – Sistema de gestão da segurança alimentar: estabelece os requisitos para qualquer organização que opere na cadeia alimentar e aprova a segurança alimentar ao longo de toda a cadeia alimentar [45].

❖ Documentos Normativos da Higiene e Segurança Alimentar

- Livro Branco – Reflete a prioridade em garantir os mais elevados padrões de segurança nos alimentos e foi apresentado pela Comissão das Comunidades Europeias em 2000 [46];
- *Codex Alimentarius* – Contém um conjunto de padrões reconhecidos internacionalmente, códigos de conduta e orientações relativas a alimentos, produção de alimentos e segurança alimentar. O Codex Alimentarius foi estabelecido em 1963 pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) e pela OMS (Organização Mundial de Saúde) [47];
- Código de boas práticas para o transporte de alimentos da ARESP (Associação de Restauração e Similares de Portugal) [48];
- Código de boas práticas da distribuição alimentar redigido pela Comissão de Produtos Alimentares e Segurança Alimentar da APED (Associação Portuguesa de Empresas de Distribuição) [49];
- Guia para armazenamento frigorífico, elaborado pelo Instituto Internacional do Frio [50].

2.2. História e Evolução da Produção de Frio

2.2.1. Abordagem Histórica a Nível Mundial

A conservação de alimentos através da utilização do frio já era do conhecimento humano, mesmo nas épocas mais remotas.

Não é possível precisar em que época o homem começou a utilizar o gelo natural como método de conservação, no entanto existem diversos documentos que relatam a aplicação de técnicas rudimentares e básicas de refrigeração, pelas civilizações mais antigas.

Por volta do ano 1000 AC (antes de Cristo), o autor chinês Shi Ching revela a utilização de gelo natural na conservação do chá consumido pela civilização chinesa. O gelo era colhido nas superfícies de lagos e rios congelados, sendo armazenado em caves e reservas subterrâneas coberto de palha [3].

As civilizações gregas e romanas armazenavam determinados alimentos raros em caves frescas abertas ou em rochas com paredes viradas a norte. Colhiam ainda gelo no alto das montanhas com a finalidade de preparar bebidas e alimentos gelados. Este gelo era armazenado em fossas subterrâneas até ao Verão [3][51].

A civilização egípcia, geograficamente distante dos polos e de clima bastante adverso à obtenção de gelo natural, arrefecia a água por evaporação através de vasos de barro. Este método de arrefecimento foi também adoptado pela Índia [51] [52].

Nas regiões favorecidas pela predominância de baixas temperaturas, tais como a Noruega, a Suécia, a Rússia e a Sibéria, a carne e o peixe capturados no início do inverno eram expostos ao ar frio até à sua congelação, sendo depois aprovionados e consumidos ao longo da estação fria. Existe ainda registo da utilização de gelo natural, nas expedições dirigidas à caça da baleia e da foca, para a conservação dos alimentos dos pescadores durante toda a campanha de pesca [3].

Século XVI

Os registos dos primeiros estudos sobre refrigeração remontam a 1550. Nesta altura, surge a exploração de gelo natural em França que veio fomentar o comércio. A armazenagem de gelo da corte real, denominada *La Glacière*, tinha capacidade para 3000 m³ de neve que era armazenada até ao Verão, sendo posteriormente comercializada [3].

Século XVII

Em 1648, o físico francês Glauber publicou um documento científico onde mencionou a utilização de cloreto de etilo como fluido frigorigéneo. Mais tarde, em 1685, o físico francês La Hire descobriu as propriedades refrigerantes do sal de amoníaco [3].

No final do século XVII, a descoberta do microscópio impulsionou os estudos acerca do comportamento de microorganismos em diversas condições térmicas. Cientistas comprovaram a rápida proliferação de bactérias em alimentos submetidos a elevadas temperaturas, bem como a sua inactivação quando estes eram submetidos a temperaturas reduzidas. Assim, provou-se que a vida útil dos alimentos estava directamente relacionada com o controlo da temperatura [53].

Século XVIII

A descoberta de que alguns tipos de bactérias são responsáveis pela putrefacção dos alimentos e, simultaneamente, de que a aplicação de frio diminuía ou limitava a actividade microbiológica, provocou a expansão da indústria de gelo. Começavam a abrir-se

horizontes no que diz respeito à conservação de alimentos frescos durante longos períodos de tempo.

Contudo, o uso de gelo natural rapidamente revelou os mais variados inconvenientes: a dependência directa da natureza, o fornecimento irregular de gelo em países quentes e as perdas por derretimento causadas pelas elevadas temperaturas e pelo transporte demorado.

Tais inconvenientes incentivaram engenheiros e cientistas na busca de meios e processos que permitissem a obtenção artificial de gelo [52].

Em 1755, o professor escocês William Cullen criou a primeira máquina de refrigeração, com a capacidade de produzir uma pequena quantidade de gelo em laboratório. Foi colocada uma pequena porção de água em contacto com éter num recipiente fechado, onde uma bomba de vácuo reduzia a pressão. Verificou-se a evaporação do éter e em simultâneo a formação de gelo.

A máquina de refrigeração de Cullen estabeleceu a base da refrigeração moderna [51].

Século XIX

O século XIX representa o culminar do desenvolvimento do conhecimento científico que estabelece os fundamentos teóricos para a fabricação de sistemas de produção de frio.

O gelo natural ganhou um papel fundamental na conservação e transporte de alimentos perecíveis. Em 1806 Frederic Tudor foi o precursor da venda de gelo natural, que recolhia em grandes lagos gelados e transportava através do rio Hudson. Em 1815, Tudor conseguiu estabelecer uma rede de comercialização e foram transportadas mais de 150 mil toneladas de gelo nos 40 anos seguintes. No entanto, devido à descongelação durante o transporte, o gelo comercializado por Tudor não era suficiente para abastecer toda a população, o que levou a que os Estado Unidos comesçassem a fazer importações do Canadá e da Noruega. Na mesma época, a França importava gelo da Escandinávia [54].

Em 1834 Jacob Perkins, inspirado por Oliver Evans que em 1805 descreveu um ciclo de refrigeração, concebeu o primeiro sistema mecânico de produção de gelo artificial, funcionando por compressão e utilizando como fluído frigorigéneo éter etílico. Este sistema era constituído por um compressor, um condensador, um evaporador e uma válvula posicionada entre o condensador e o evaporador [3][52].

Entre 1842 e 1846 foi introduzida a utilização de gelo hídrico a bordo dos navios de pesca, com a finalidade de conservar o pescado. Ainda em 1846 iniciou-se o transporte de peixe conservado em gelo, pela via ferroviária que abastecia o interior da Inglaterra [3].

O francês Ferdinand Carré deu o seu grande contributo para a evolução dos equipamentos de refrigeração entre 1850 e 1859, através do estudo e desenvolvimento da primeira máquina de absorção a amoníaco e da construção de um equipamento de compressão a éter sulfúrico. Este contributo culminou com o fabrico de um sistema de refrigeração a compressão na cervejaria Velten e com o registo de uma patente de um sistema a compressão a amoníaco [52] [54].

Em 1853 o professor Alexander Twining também construiu uma máquina de compressão de vapor, estabelecendo posteriormente uma fábrica de produção de gelo [54].

Em 1855 surge outro tipo de sistema de produção artificial de gelo: um sistema baseado no princípio de absorção, descoberto em 1824 pelo físico e químico Michael Faraday.

Cerca de um ano depois, James Harrison desenvolveu um equipamento, onde aplicou o princípio da refrigeração por compressão mecânica. Ao longo do século XIX foram muitas as tentativas de desenvolvimento e aperfeiçoamento dos sistemas de refrigeração, utilizando diversos fluídos frigoríficos [3] [52].

Charles Tellier, detentor do título *Père du Froid* foi um dos grandes impulsionadores da utilização do frio industrial na conservação de produtos perecíveis. Publicou *Le Frigorifique*, onde demonstrou a concepção teórica do frio, revelando ensaios realizados durante a conservação de alimentos. Em 1860 desenvolveu uma máquina de compressão de amoníaco. Cerca de treze anos depois, Tellier realizou as primeiras experiências sobre refrigeração sistemática [3].

Em 1866, o professor Thaddeus Lowe desenvolveu um equipamento de refrigeração que usava dióxido de carbono como fluído frigorífico. As máquinas de compressão a dióxido de carbono ganharam muita importância devido à não toxicidade do CO₂ e à segurança com que era possível manusear estes equipamentos [51][52].

O professor Carl Linde projectou um sistema de éter metílico, em 1874, financiado por fabricantes de cerveja. Dois anos mais tarde criou um compressor frigorífico a amoníaco [3].

Em 1875 o físico Pictet concebeu uma máquina de compressão, onde usou SO₂ (ácido sulfúrico) como fluído frigorífico. Esta concepção surgiu após estudos realizados acerca da liquefacção de gases, especificamente acerca das propriedades do SO₂ [3][51].

Já no final do século houve um progresso técnico constante, no campo da refrigeração. Foram obtidas melhorias, a nível da concepção e construção de equipamentos de refrigeração e houve uma evolução bastante positiva a nível do rendimento conseguido por estes mesmos equipamentos.

Século XX

Entre o século XIX e o século XX, desenvolvimentos na área da engenharia mecânica e da termodinâmica levaram à descoberta e optimização de sistemas de absorção a vapor e de sistemas de compressão.

No início do século XX, a descoberta da electricidade impulsionou estudos e pesquisas acerca da concepção de equipamentos de produção de frio, de pequena escala [19].

O primeiro frigorífico hermético de pequena potência foi construído em 1908 pelo francês Audiffern. No ano seguinte foram conduzidos estudos sobre os mecanismos de fermentação e putrefacção da carne quando sujeitas à presença ou ausência de frio, no Laboratoire de Halles Centrales [3].

Em 1913 surgiram os primeiros equipamentos domésticos de refrigeração, constituídos por um sistema de operação manual, o que levou à potencialização do comércio de produtos perecíveis na Europa e no leste americano, devido à facilidade com que os consumidores podiam obter estes equipamentos [55].

O fabricante Kelvinator Company lançou-se no mercado dos equipamentos de refrigeração domésticos em 1918, produzindo um modelo que vendeu 67 exemplares nesse mesmo ano. Os equipamentos da Kelvinator foram pioneiros quanto ao funcionamento a electricidade [52][54].

Em 1927 o fabricante Electrolux lançou um sistema de absorção e o diagrama de Mollier foi publicado pela primeira vez em 1932 [3][19].

O inventor Clarence Birdseye, considerado o pai da indústria de alimentos congelados deu, em 1924, duas grandes contribuições para o segmento dos alimentos perecíveis: a ideia de um alimento em embalagem comercial seguir até aos consumidores e o conceito de congelação rápida.

A congelação rápida proposta por Birdseye representou uma técnica revolucionária que possibilitou a mudança de hábitos alimentares e impulsionou o comércio de alimentos perecíveis [19].

Em 1928 o fabricante General Electric apresentou o primeiro conjunto do tipo hermético. No mesmo ano, o cientista americano Thomas-Midgley e o belga A. L. Henne

descobriram um fluído frigorígeno isento de toxicidade: os CFC's (clorofluorcarbonetos), solução adoptada durante cerca de 50 anos. A descoberta foi conseguida através da síntese de diclorofluormetano, que foi posteriormente comercializado pela Dupont, sob o nome comercial *Fréon* 12. No entanto, em 1974, pesquisas realizadas revelaram o contributo dos CFC's na destruição da camada de ozono. Assim, no ano seguinte 46 países assinaram o Protocolo de Montreal, onde eram estabelecidas metas para a diminuição da utilização de CFC's. Consequentemente, a década de 90 foi marcada pela pesquisa de fluídos frigorígenos alternativos tendo-se encontrado duas soluções: O isobutano (R600a) e os HFC's (hidrofluorcarbonetos) [3] [51] [52].

Deu-se, assim, início à era em que o frio permitia preservar alimentos perecíveis de forma segura, mantendo as suas características nutritivas, aspecto e sabor.

Com o desenvolvimento da indústria de produção de frio, actualmente grande parte dos países desenvolvidos dispõe de uma grande variedade de alimentos com qualidade durante todo o ano, sem depender da sazonalidade com que estes são cultivados, pescados ou abatidos.

2.2.2. Abordagem Histórica a Nível Nacional

A utilização do frio para conservação de alimentos perecíveis em Portugal e a adopção de equipamentos que viriam a revolucionar a indústria do frio, acabou por ser transversal ao que foi descrito para o mundo em geral. No entanto, factores sociais e políticos levaram a que esta tecnologia fosse tardiamente introduzida no nosso país.

A construção da Real Fábrica de gelo de Montejunto, no final do século XVI representou o marco da conservação de alimentos através do frio, em Portugal. A sua privilegiada localização permitia a obtenção de gelo através do armazenamento de água nos tanques rasos que se podem visualizar na Figura 2 [56].



Figura 2 - Tanques rasos de armazenamento de água da Real Fábrica de Montejunto [56]

Ao amanhecer, o gelo era partido e armazenado em silos, sendo transportado no Verão desde a corte real até aos comerciantes. Como isolante, era utilizada palha e serapilheira e o meio de transporte utilizado eram os carros de bois [56].

Na década de 1930 houve a consciencialização da necessidade de introduzir o frio industrial como sector económico no desenvolvimento do país. Assim, o frio industrial entrou em Portugal em 1934 com a resolução da crise dos bacalhoeiros, durante o regime do Estado Novo. Verificava-se uma grande dependência externa para o consumo de bacalhau, alimento que representava um papel indispensável na alimentação das classes sociais menos favorecidas, pelo que a urgência em apostar na indústria do frio se tornou imperativa [57][58].

A criação da comissão reguladora do comércio de Bacalhau levou ao abastecimento de peixe através dos métodos de conservação pelo frio. Para esta comissão foi pensada uma rede de grandes entrepostos frigoríficos de armazenamento junto à costa, com o objectivo de centralizar e desenvolver o comércio grossista de bacalhau refrigerado [57] [59].

No IIº encontro da Ordem dos Engenheiros, em 1948, o Engenheiro Manuel Bacelar defendeu a necessidade de existência de uma rede de frigorífica que permitiria alimentar melhor a população, evitar desperdícios e acabar com a dieta sazonal [59].

Porto, Lisboa, Aveiro e Figueira da Foz foram as localizações escolhidas para a construção dos entrepostos frigoríficos. De fundamento científico inspirado nos exemplos mais modernos da Europa e Estados Unidos, pretendia-se com estas construções o supra referido armazenamento do bacalhau, mas também de frutas frescas, hortaliças, cereais, peixe, carne e batata.

As exigências técnicas e a específica aplicação dos entrepostos, careciam de um projecto técnico que assegurasse o seu correcto funcionamento. Para tal, a Comissão Reguladora do Comércio do Bacalhau entregou o projecto à Sociedade de Engenharia Michaelis de Vasconcelos que, após visitas a armazéns frigoríficos com sistemas de produção mecânica de frio e atendendo às evoluções tecnológicas deste sector na Alemanha, optou pelos equipamentos fabricados pela Rheinmetal-Bonsig [57].

A capacidade dos armazéns frigoríficos do Porto e de Lisboa foi testada durante a segunda guerra mundial. O pós-guerra levou o país, muito lentamente, para uma sociedade de consumo e o problema de abastecimento de bens alimentares levou ao sectorizado desenvolvimento do frio industrial em Portugal, com um elevado défice a nível de equipamentos adequados [57] [59].

A partir dos anos 50 foi montada a cadeia portuária frigorífica de pescas, onde a relevância recaía sobre a doca de Pedrouços e a rede frigorífica de pescas que assegurava a armazenagem e distribuição do pescado no interior do país.

Ambas eram formadas por três segmentos: a rede de centros principais, a rede de centros secundários e a rede de distribuição.

O primeiro segmento compreendia os portos de maior descarga de pescado, nomeadamente Lisboa e Matosinhos.

O segundo segmento constituía uma segunda linha destinada a reduzir as distâncias bem como os tempos e custos de transporte. Os seus principais centros eram Coimbra, Montemor-o-Novo e Olhão.

Por fim, o terceiro segmento englobava uma extensa rede de distribuição por todos os centros de consumo [59].

A Comissão Nacional do Frio surgiu nos anos 60 e procedeu ao primeiro esboço de uma rede nacional de frio, onde o objectivo passava por aproveitar os planos rodoviários, ferroviários e a rede nacional de matadouros.

Em 1969 a rede de frio e pescas atingiu o desenvolvimento ilustrado na Figura 3.

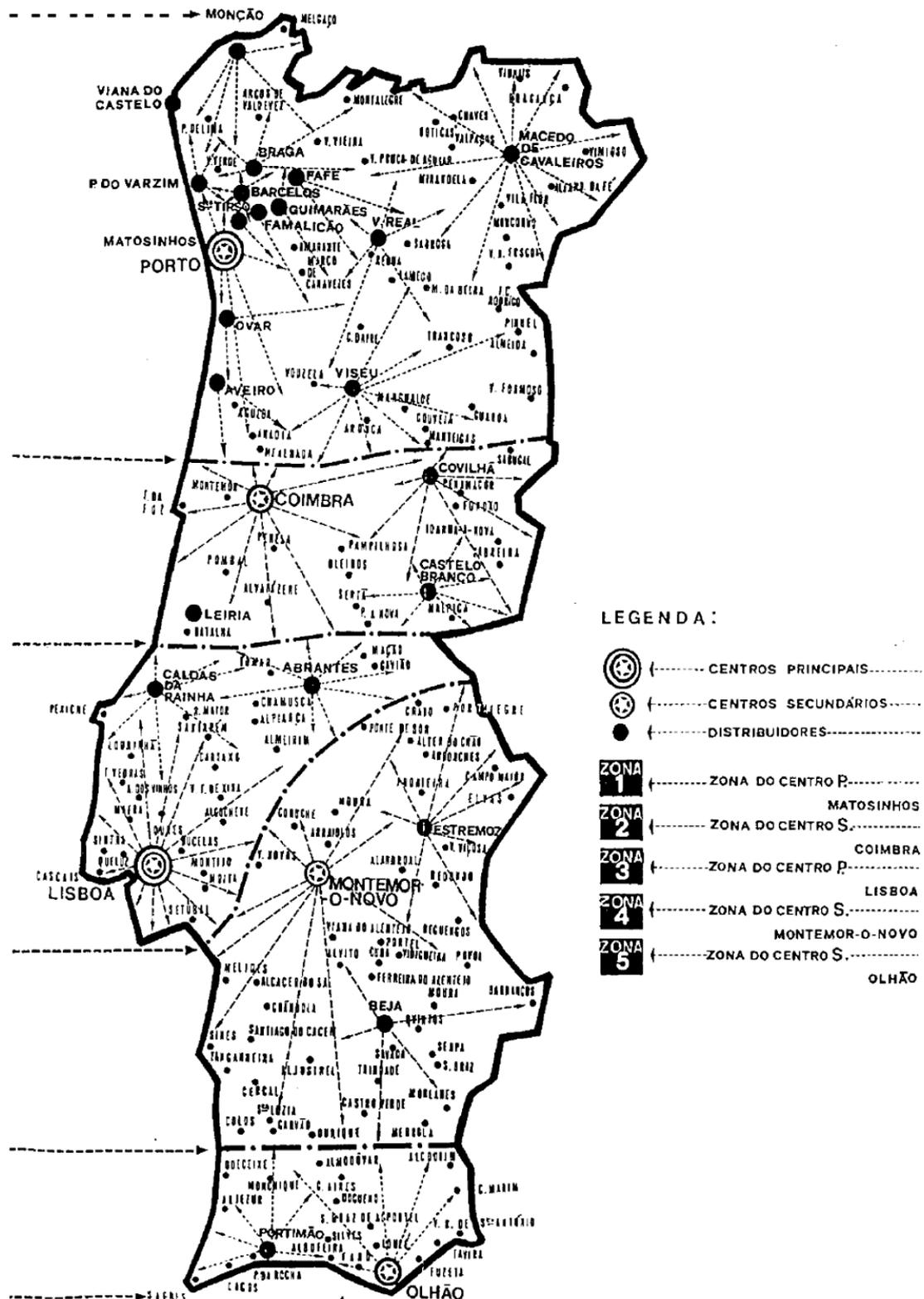


Figura 3 – Rede de Frio e Pescas de 1969: Armazenagem e distribuição [59]

Existe um registo, datado de 1970 com a capacidade da rede de frio, por localização, no continente e províncias ultramarinas, representado na Tabela 1.

Tabela 1 – Capacidade e localização das sub-redes da rede de frio de pescas em 1970 [59]

	Câmaras frigoríficas		Congelação	Gelo
	Número	Capacidade (m ³)	Produção em 24 horas/tonelada	Produção em 24 horas/tonelada
I. Rede básica				
Matosinhos	45	64 000	160	100
Lisboa	29	27 218	78	400
II. Rede portuária complementar				
Viana do Castelo	1	42	–	–
Aveiro	4	108	–	20
Olhão	7	275	1	3
Vila Real de Santo António	3	980	7	15
III. Rede interior				
Macedo de Cavaleiros	1	20	–	0,3
Vila Real	1	20	–	–
Coimbra	3	609	–	0,5
Estremoz	2	121	–	–
Montemor-o-Novo	2	260	–	–
IV. Rede subsidiária				
Monção	1	100	–	–
Braga	1	30	–	–
Guimarães	1	20	–	–
Barcelos	1	50	–	–
Fafe	1	30	–	–
Vila Nova de Famalicão	2	150	–	–
Macedo de Cavaleiros	1	60	–	–
Peso da Régua	1	60	–	–
Porto	3	170	–	–
Póvoa de Varzim	1	45	–	–
Santo Tirso	1	21	–	–
Ovar	1	60	–	–
Viseu	1	210	–	–
Covilhã	1	4	–	–
Leiria	1	4	–	–
Caldas da Rainha	1	2	–	–
Beja	1	6	–	–
V. Rede ultramarina				
Angola (Moçâmedes)	14	9 600	30	100
<i>Total</i>	132	104 275	276	638,8

Em 1971 foi assinado o diploma em que se definia uma política integrada de frio, por Dias Rosa e Marcelo Caetano. No DL n° 273/71 de 29 de Maio definem-se os princípios da estrutura de uma política de matadouros industriais e o planeamento da rede de infra estruturas, com apoio dos circuitos de distribuição dos produtos congelados.

Em 1975, a Comissão Nacional do Frio foi substituída pelo Serviço do Frio, organismo com bases pouco sólidas, constituído sob uma conjectura desfavorável política e financeiramente.

Para colmatar a ineficiência do Serviço do Frio, foi criado o Instituto Nacional do Frio em 1977. Este retomou o conceito de rede nacional de frio esboçado pela Comissão Nacional do Frio.

Em 1982 o Instituto Nacional do Frio, juntamente com outros institutos e organizações, fundiu-se, levando à criação de um organismo que é hoje conhecido como ASAE (Autoridade de Segurança Alimentar e Económica).

A implementação da Rede de Frio, pelo governo, pretendia cessar a dieta sazonal, impulsionar a industrialização de sectores de transformação na produção agro-pecuária e pesca, bem como aumentar o rendimento da exploração destas actividades e combater a irregularidade da oferta de géneros alimentares no território nacional [59].

3. Fundamentos Termodinâmicos. Sistemas de Refrigeração. Fluidos Frigorígenos. Componentes dos Sistemas de Refrigeração.

3.1. Conceitos Básicos da Termodinâmica

A ciência termodinâmica estabelece os conceitos que explicam os fenômenos físicos de transferência de energia térmica, identifica os elementos físicos, as propriedades e as leis que descrevem os fenômenos térmicos.

A maior parte dos sistemas de refrigeração utilizam os estados de fase das substâncias no estado líquido ou gasoso para caracterizar o seu funcionamento [52].

- **Lei Zero da Termodinâmica**

A lei zero da termodinâmica postula que se três sistemas se apresentam isolados de qualquer universo externo e ainda se dois sistemas consecutivos estiverem em equilíbrio térmico com o terceiro, então os dois sistemas consecutivos estarão em equilíbrio térmico entre si.

Verifica-se o fenômeno de equilíbrio térmico pois, em situação de contacto entre sistemas com a mesma massa, a temperatura do sistema mais frio aumenta e a temperatura do sistema mais quente diminuí.

A energia térmica absorvida pelos sistemas depende das características físicas, tais como o material componente. A energia térmica Q necessária para variar a temperatura T de um corpo define-se pela equação I [60][61]:

$$Q = C \Delta T \quad (I)$$

E que C representa a capacidade calorífica e é calculada através do produto entre uma constante de proporcionalidade definida pelo calor específico e a massa do corpo.

A equação I só é válida enquanto o corpo não muda de fase. O calor necessário para a transição de fase depende da quantidade de massa envolvida e o parâmetro que define essa escala denomina-se calor latente (equação II) [60]:

$$Q = Lm \quad (II)$$

Onde L representa o calor de fusão e m a massa do corpo.

- **1ª Lei da Termodinâmica**

A 1ª lei da termodinâmica, vulgarmente conhecida como lei da conservação de energia, postula que “a variação da energia interna de um sistema termodinâmico fechado é igual á soma da energia térmica fornecida ao sistema e do trabalho realizado no sistema.”

Aqui, surge o conceito de energia interna, representada por U , e o conceito de entalpia, representada por H .

Na teoria cinética dos gases, a energia interna de um gás ideal é explicitada em função da sua temperatura.

A entalpia descreve a soma entre a energia interna de uma substância e a energia associada ao conjunto sistema- vizinhança, pois o sistema ocupa um volume V , quando submetido a pressão constante P , como se pode verificar na equação III [60][61].

$$H = U + PV \quad \text{(III)}$$

Esta é uma propriedade considerada como fundamental nos sistemas de refrigeração uma vez que nestes sistemas ocorrem processos isobáricos reversíveis.

Num processo reversível, sem atrito, a variação de entalpia é igual à quantidade de calor que é transferida (equação IV) [60]:

$$dH = dU + dPV + PdV \quad \text{(IV)}$$

Como se trata de um processo isobárico e considerando que a definição de energia interna, obtém-se a equação V:

$$dH = dU + PdV = dQ \quad \text{(V)}$$

Um processo com entalpia constante define-se como isentálpico [60].

- **2ª Lei da Termodinâmica**

A 2ª lei da termodinâmica estabelece o conceito de entropia. Apesar de ser uma propriedade fundamental da termodinâmica, não tem muito relevo nos sistemas de refrigeração e está associada a uma grandeza de desordem interna da substância.

Esta lei postula que “a entropia total de qualquer sistema isolado termodinamicamente tende a aumentar até atingir um valor máximo”, o que nos leva a duas consequências enunciadas por Clausius e Kelvin.

Enunciado de Clausius – “É impossível construir um dispositivo que opere, segundo um ciclo, e que não produza outros efeitos, além da transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente.”

Enunciado de Kelvin – “É impossível construir um dispositivo que opere num ciclo termodinâmico e que não produza outros efeitos além de remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho” [62].

Assim, de acordo com a equação VI, quando uma quantidade de calor é adicionada a uma substância à temperatura T, a entropia da substância muda [60]:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (\text{VI})$$

E quando uma quantidade de calor é removido, a entropia diminuí, de acordo com a equação VII.

$$\Delta Q = T(S_1 - S_2) \quad (\text{VII})$$

Um processo com entropia constante define-se como isentrópico, o que equivale a afirmar que uma transformação adiabática reversível é uma transformação isentrópica [60].

3.2. Sistemas de Refrigeração

Os sistemas de refrigeração têm como objectivo produzir e manter, num espaço ou corpo, uma temperatura inferior à do meio ambiente. Estes sistemas representam uma das principais áreas de aplicação da termodinâmica.

Um sistema de refrigeração é representado por um conjunto de equipamentos que operam de forma integrada, com o propósito de transferir energia na forma de calor, de um corpo frio para um corpo quente, através da aplicação de trabalho exterior [61].

O princípio de funcionamento de uma máquina frigorífica baseia-se na diminuição da pressão e temperatura do fluído frigorigéneo de forma a que se realize uma transferência de calor com o espaço ou corpo que se pretende arrefecer [62].

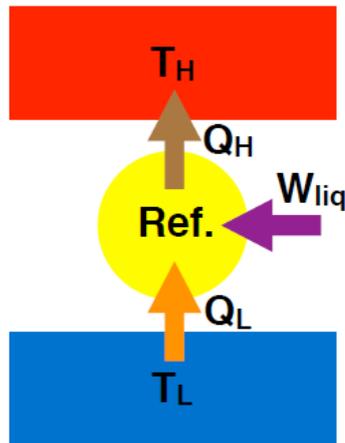


Figura 4 - Diagrama de Funcionamento de uma Máquina Frigorífica [63]

O ciclo frigorífico não é mais do que um ciclo termodinâmico que constitui o modelo matemático que define o funcionamento das máquinas frigoríficas e é realizado em sentido contrário ao de uma máquina térmica [61].

A Figura 4 ilustra as transferências de energia no funcionamento de uma máquina frigorífica. A carga térmica Q_L é removida da fonte fria T_L . Simultaneamente verifica-se a rejeição da carga térmica Q_H para a fonte quente que se encontra a uma temperatura T_H . Estes processos de transferência de calor são possíveis devido à potência mecânica que é fornecida à máquina, W_{liq} [62].

Os ciclos de refrigeração mais comuns são os ciclos de compressão de vapor, os ciclos de absorção de vapor e os ciclos de gás. Existem outros sistemas que são muito dispendiosos e apresentam uma reduzida capacidade de refrigeração e por isso são pouco utilizados.

3.2.1. Ciclo de Compressão de Vapor

Os sistemas de compressão de vapor são os mais utilizados nas instalações industriais de processamento e conservação de alimentos [52].

Num sistema de refrigeração por compressão de vapor simples, como o ilustrado na Figura 5, ocorrem quatro processos termodinâmicos fundamentais: evaporação, compressão, condensação e expansão.

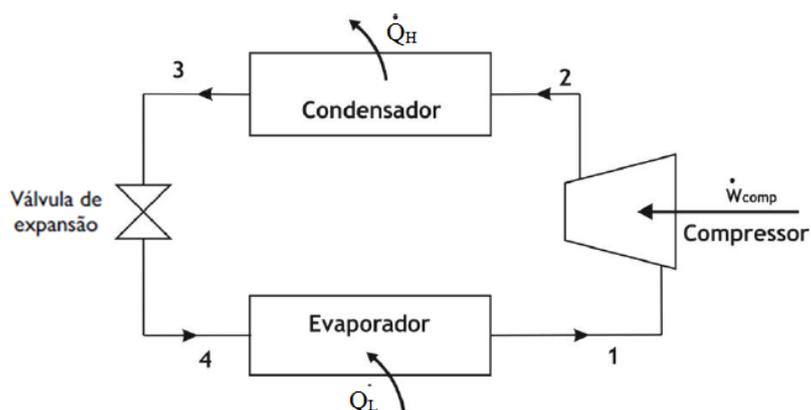


Figura 5 – Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor

Adaptado [52]

O ciclo teórico de refrigeração por compressão a vapor assemelha-se ao ciclo de Carnot, pois este é um ciclo reversível ideal em que a máquina frigorífica é o mais eficiente possível entre dois níveis de temperatura.

No entanto, dada a especificidade do ciclo prático de refrigeração por compressão a vapor, adaptou-se um ciclo teórico que opera nas mesmas condições do ciclo real, tornando mais acessível a sua comparação.

A Figura 6 ilustra o esquema simples de um sistema de refrigeração por compressão de vapor e o seu respectivo ciclo teórico construído sobre um diagrama de Mollier, no plano p,h.

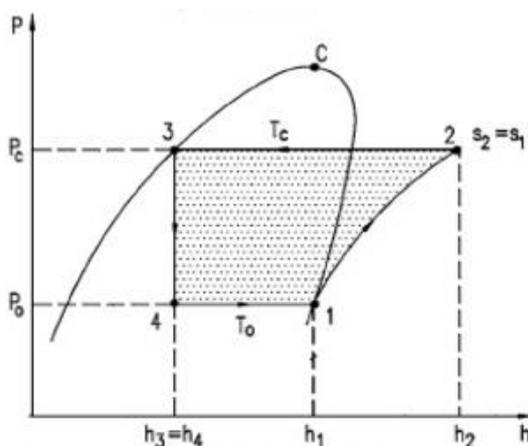


Figura 6 – Ciclo Teórico de Refrigeração por Compressão de Vapor [64]

Os processos considerados são os seguintes:

- **Compressão (1-2):** O fluido refrigerante entra no compressor no estado de vapor saturado, onde é comprimido, da pressão de evaporação (P_0) até à pressão de condensação (P_c). Nesta fase, o vapor saturado apresenta as condições necessárias de temperatura e pressão para ser condensado através de água ou ar. No ciclo

teórico, a compressão é considerada adiabática reversível, ou seja, isentrópica, desprezando-se as perdas.

A potência de compressão (\dot{W}_c) é totalmente transferida para o fluido refrigerante e pode ser quantificada pelo produto entre o seu caudal (\dot{m}) e a variação de entalpia no compressor (h_1 e h_2), expressando-se pela equação VIII [7][52].

$$\dot{W}_c = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \quad \text{(VIII)}$$

- **Condensação (2-3):** O vapor sobreaquecido segue para o condensador onde é arrefecido e condensado atingindo o estado líquido saturado, ocorrendo a perda de calor sensível para a envolvente e de calor latente por condensação. Neste processo a pressão é constante, pelo que a condensação é isobárica e ocorre uma diminuição da entalpia.

A capacidade de rejeição de calor (\dot{Q}_H) pode ser quantificada pelo produto entre o caudal do fluido refrigerante e a variação de entalpia no condensador (h_2 e h_3), expressando-se através da equação IX [7][52].

$$\dot{Q}_H = \dot{m} \times (h_2 - h_3) \quad \text{IX}$$

- **Expansão (3-4):** O fluido refrigerante segue para o dispositivo de expansão onde é submetido a uma queda brusca de pressão e temperatura, passando a coexistir nos estados líquido e gasoso.

A expansão é irreversível e isentálpica ($h_3=h_4$), desde a pressão de condensação (P_c) até à pressão de evaporação (P_0), desprezando-se as variações de energia potencial e cinética [7][52].

- **Evaporação (4-1):** O fluido refrigerante que se encontra numa mistura predominantemente líquida é conduzido pelas serpentinas do evaporador, onde absorve o calor do meio a ser refrigerado e, num processo de aquecimento isobárico, evapora e causa o efeito frigorífico pretendido. O gás refrigerante torna a entrar no compressor, completando o ciclo termodinâmico ideal.

A capacidade de refrigeração (\dot{Q}_L) exprime-se através da equação X [7][52].

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \times (h_1 - h_4) \quad \text{(X)}$$

O parâmetro de eficiência utilizado para os sistemas de refrigeração, COP (Coeficiente de Performance), é um parâmetro importante na avaliação das instalações frigoríficas. Pode quantificar-se através do quociente entre a capacidade de refrigeração conseguida pelo evaporador e a potência de compressão, exprimindo-se através da equação XI [52].

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_C} \quad (XI)$$

Existem factores de ordem técnica e económica que impedem a reprodução fiel do ciclo ideal de refrigeração.

No ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor despreza-se a perda de pressão no sistema que ocorre devido ao atrito, a irreversibilidade nos fenómenos de compressão e expansão e ainda o facto de o fluido frigorigéneo não ter o comportamento de um gás ideal na fase de vapor.

As principais diferenças entre o ciclo teórico e o ciclo prático são ilustradas pela figura 7.

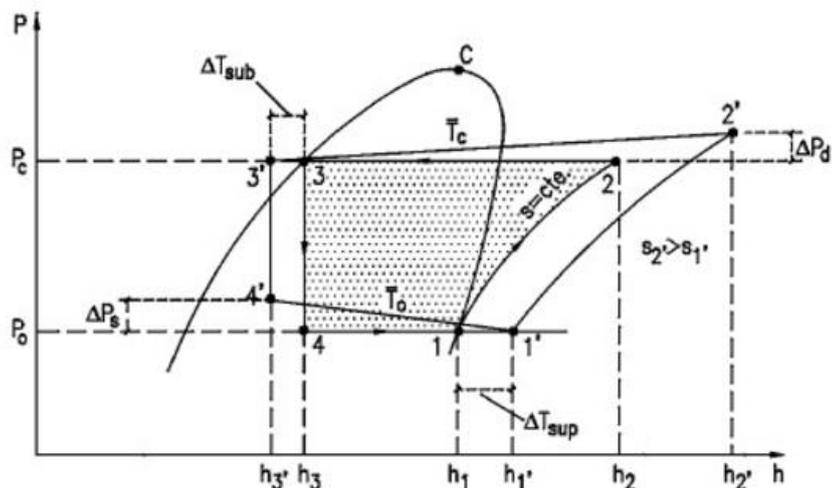


Figura 7– Diferenças entre o Ciclo Teórico e o Ciclo Prático de Refrigeração por Compressão de Vapor [64]

Genericamente, as principais diferenças são:

No ciclo prático, as condições em que o fluido frigorigéneo entra no compressor não são muito precisas. Para garantir que o fluido é admitido no compressor no estado de vapor, aplica-se a técnica de sobreaquecimento (ΔT_{sup}).

O sobreaquecimento impede a ocorrência de fenómenos de cavitação e consequentemente conduz a uma melhoria do rendimento.

Na Figura 7 observa-se o aumento da linha que une 4'-1', em comparação com a linha que une 4-1, o que provoca ganhos de calor e o aumento da queda de pressão causada pelo atrito que existe no escoamento de fluido frigorígeno pelas paredes dos equipamentos (ΔP_s).

Devido ao efeito da viscosidade e do atrito, existe um aumento significativo da entropia, sendo este um processo politrópico ($s_2 > s_1$) e de transferência de calor para o meio.

À saída do condensador, o fluido frigorígeno deverá encontrar-se no estado de líquido saturado. No entanto existem perdas de pressão nas tubagens do condensador (ΔP_d), o que não garante que o processo de condensação seja completo. De forma a garantir que todo o fluido chega ao dispositivo de expansão no estado líquido é aplicada a técnica de subarrefecimento (ΔT_{sub}).

A aplicação do subarrefecimento permite que o fluido frigorígeno entre no evaporador com uma entalpia inferior e consiga assim absorver uma maior quantidade de calor do meio a refrigerar, o que leva ao aumento do efeito frigorífico. Desta situação resulta a diminuição da potência eléctrica utilizada para a mesma carga de refrigeração, a estabilização da temperatura de refrigeração e uma redução inicial de custos [52].

3.2.2. Ciclo de Absorção de Vapor

O princípio de funcionamento do ciclo de absorção de vapor baseia-se na capacidade que determinados líquidos ou soluções têm em absorver o vapor de determinados fluidos frigorígenos.

Habitualmente, o ciclo de absorção de vapor é adoptado na indústria alimentar, química e petroquímica e centrais de trigeriação, onde existe uma elevada produção e desperdício de calor, dado que o efeito de refrigeração é conseguido através da introdução de energia térmica.

O ciclo de refrigeração por absorção de vapor é constituído por um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador, tal como o ciclo de compressão de vapor. Estes dois sistemas diferem no componente compressor que, no caso da absorção, é substituído por uma bomba, um gerador e um absorvedor, tal como é ilustrado na figura 8.

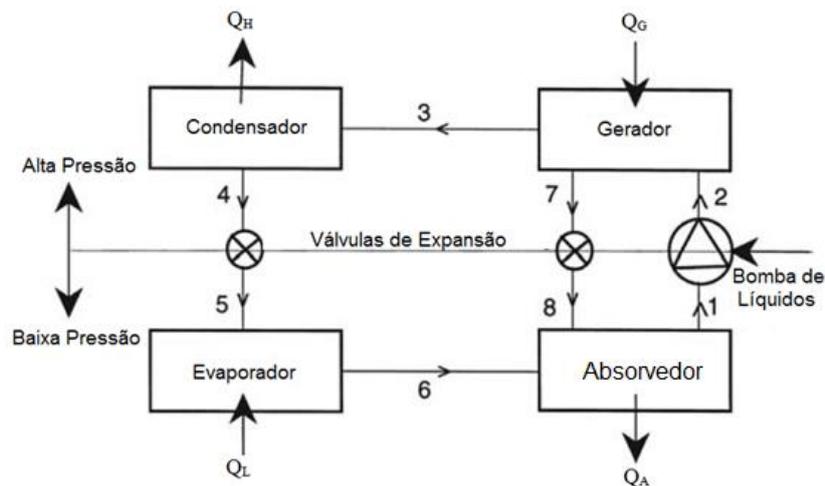


Figura 8 – Ciclo de Refrigeração por Absorção de Vapor

Adaptado [52]

No absorvedor, o fluido frigorígeno a baixa pressão é absorvido pelo absorvente, com transferência de calor para o meio (\dot{Q}_A), formando-se uma solução saturada.

Através de uma bomba de líquidos, a solução saturada é bombeada a uma pressão mais elevada para o gerador.

Ao chegar ao gerador, ocorre a separação dos fluídos, que se encontram a alta pressão. O fluido frigorígeno vaporiza-se mais rapidamente por ser mais volátil e por efeito da energia térmica (\dot{Q}_G). O absorvente retorna ao absorvedor através de uma válvula de expansão.

Através do diferencial de pressão, o fluido frigorígeno que se encontra na fase de vapor, circula até ao condensador onde é condensado, ocorrendo transferência de calor para o meio (\dot{Q}_H).

O fluido frigorígeno, que se encontra pressurizado e no estado líquido segue para a válvula de expansão onde sofre uma redução brusca de pressão, tendo como consequência a diminuição da temperatura e uma evaporação parcial.

Por fim, no evaporador, o fluido frigorígeno absorve calor do meio a refrigerar (\dot{Q}_L) e vaporiza-se totalmente, estando assim em condições de voltar ao absorvedor e recomeçar o ciclo.

A eficiência do processo está directamente relacionada com a afinidade química entre os fluídos intervenientes, frigorígeno e absorvente.

O COP dos sistemas de refrigeração por absorção de vapor determina-se através do quociente entre a capacidade de refrigeração conseguida pelo evaporador e a potência térmica consumida no gerador, exprimindo-se através da equação XII:

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_G} \quad (\text{XII})$$

O sistema de refrigeração por absorção de vapor mais comum é aquele em que se utiliza amoníaco como fluido frigorífero e água como absorvente [51][52].

3.2.3. Ciclo de Gás

O ciclo de refrigeração a gás tem a peculiaridade de operar com um fluido frigorífero no estado gasoso, que é comprimido e expandido sem que ocorram mudanças de fase.

Apresenta uma configuração semelhante à dos ciclos de compressão de vapor e de absorção de vapor, no entanto o evaporador e o condensador são substituídos por dois permutadores de calor de gás quente para gás frio, visto que o fluido não muda de fase, e a válvula de expansão é substituída por um expansor, isto é, uma turbina de expansão.

O fluido frigorífero mais utilizado é o ar.

Apesar da utilização deste fluido se ter tornado obsoleta devido aos custos elevados de operação e baixos coeficientes de performance, foi necessário voltar a utilizá-lo em aplicações que requerem sistemas leves com grande capacidade de refrigeração, tais como os aviões com cabines pressurizadas [52].

A utilização de componentes simples e o facto de poderem incorporar a regeneração, tornaram os sistemas de refrigeração a gás muito desejáveis em aplicações criogénicas e de liquefacção de gases.

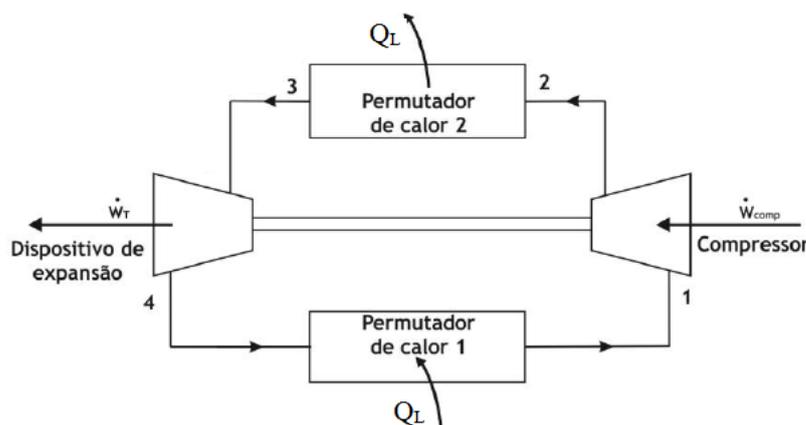


Figura 9 – Ciclo de Refrigeração a Gás

Adaptado [52]

A Figura 9 ilustra um ciclo básico de refrigeração a gás. Na admissão ao compressor (ponto 1), o gás é comprimido isentropicamente, resultando no aumento da pressão e temperatura e diminuição do volume do mesmo.

De seguida, o gás comprimido chega ao permutador de calor 2 onde rejeita calor e é diminuída a sua temperatura num processo isobárico. No expansor, o gás é expandido num processo isentrópico, durante o qual trabalho é removido do sistema.

No ponto 4 o gás encontra-se a uma temperatura inferior à temperatura ambiente, para que o permutador de calor 1 tenha a capacidade de absorver o calor do meio a refrigerar. Esta transferência de calor dá-se segundo um processo isobárico [51][52].

No ciclo de gás, o efeito de refrigeração é igual ao produto entre o calor específico do gás e o aumento de temperatura no permutador 1. Assim, em comparação com o ciclo de compressão de vapor e com o ciclo de absorção de vapor, para a mesma carga de arrefecimento, o ciclo de refrigeração a gás necessita de um caudal mássico superior.

Este é um ciclo menos eficiente, uma vez que trabalha com base no ciclo de Brayton invertido e, como tal, o fluido não recebe nem rejeita calor a uma temperatura constante [52][61].

3.3. Fluídos Frigoríficos

Os fluídos frigoríficos são substâncias utilizadas como veículos térmicos na realização dos ciclos de refrigeração e têm um papel fundamental dado que as suas características influenciam o funcionamento de todos os equipamentos da instalação [10].

Os sistemas de refrigeração industrial baseiam-se, em grande parte, na capacidade que estas substâncias têm em absorver uma grande quantidade de calor quando passam do estado líquido para o estado gasoso.

A exigência das diversas aplicações existentes e as grandes diferenças entre as condições operacionais levam a que ainda não se tenha encontrado o fluido frigorífico ideal, no entanto, como estes são cruciais em sistemas de refrigeração, define-se como adequado o fluido cujas propriedades satisfazem as condições e exigências de determinada aplicação.

Em traços gerais, um bom fluido frigorífico deve caracterizar-se por: temperatura de evaporação baixa, caudal volúmico (por unidade de capacidade do sistema) baixo, pressão de evaporação inferior à pressão atmosférica, entalpia de evaporação elevada, ODP (*ozone depletion*) e PAG (potencial de aquecimento global) baixos, COP elevado, boa condutividade térmica, não ter odor e toxicidade, estabilidade química elevada, não ser inflamável nem explosivo, não ser corrosivo nem reactivo mas compatível com óleos lubrificantes e não adquirir propriedades ácidas em contacto com água ou ar [52].

Durante largos anos os sistemas de refrigeração utilizaram CFC's, BFC's (brómiofluorcarbonetos) e HCFC's (hidroclorofluorcarbonetos), no entanto as fugas destes fluídos contribuíram largamente para a deterioração da camada de ozono e conseqüentemente para o aquecimento global.

Perante este cenário, em 1986 foi assinado o Protocolo de Montreal pela União Europeia, Estados Unidos e outros 23 estados, visando o término da produção e utilização CFC's, BFC's e HCFC's.

Como alternativa foram desenvolvidos os HFC's, fluídos frigorigéneos que contêm hidrogénio, fluor e carbono.

Após o protocolo de Montreal, o NH₃ (amoníaco) e o CO₂ passaram a ser considerados importantes opções nas aplicações de refrigeração industrial [65].

Em 1997 foi assinado o Protocolo de Quioto, no entanto não foram definidas as acções que visavam atingir o seu propósito: reduzir a utilização de gases que provocam efeito estufa. A aprovação formal do protocolo de Quioto, pela comunidade europeia, ocorreu em 2002, onde se estabeleceu a meta de reduzir as emissões de gases com efeito estufa em 8% [66].

Os fluídos frigorigéneos podem dividir-se em seis grandes grupos: Os CFC's, os HCFC's, os HFC's, os HC's (hidrocarbonetos), os compostos inorgânicos e as misturas.

○ **CFC's**

Consistem na combinação de derivados voláteis de metano e etano com elementos halogenados, como o cloro e o flúor.

Foram amplamente utilizados em aplicações industriais devido ao facto de as suas características irem de encontro às características desejáveis num bom fluido frigorigéneo.

No entanto, verificou-se que a sua estabilidade química permite a difusão para a atmosfera, onde ocorrem uma série de reacções que levam à destruição da camada de ozono. Por esta razão tornaram-se os primeiros fluídos frigorigéneos proibidos pela legislação internacional.

São exemplos de CFC's o tricloromonofluormetano (R-11), o diclorodifluormetano (R-12) e o clorotrifluormetano (R-13) [67].

○ **HCFC's**

São moléculas compostas por carbono, cloro, flúor e hidrogénio. Foram desenvolvidos com o intuito de substituir os CFC's. Porém, apesar de apresentarem menos estabilidade que os CFC's e conseqüentemente provocarem danos menores na camada de

ozono, contém átomos de cloro na sua composição química o que leva a que o seu efeito sobre o ozono não seja nulo.

São considerados fluídos frigorigêneos transitórios e foram estabelecidas normas para a sua descontinuação gradual.

Os HCFC's mais utilizados são o clorodifluorometano (R-22) e o R-141b [67][68].

○ **HFC's**

São o grupo de fluídos frigorigêneos mais comum, onde as suas moléculas são constituídas por carbono, fluor e hidrogénio.

Estes compostos não participam no processo de destruição da camada de ozono e têm sido amplamente utilizados como substitutos dos CFC's e dos HCFC's. No entanto a maioria dos HFC's possui um grande PAG, representando assim uma ameaça para o ambiente. Crê-se que à medida que a legislação se tornar mais exigente e restritiva, a sua utilização tenderá a ser reduzida. O HFC mais comum é o tetrafluoretano (R-134a) [68].

○ **HC's**

Os hidrocarbonetos são compostos constituídos por carbono e hidrogénio. São altamente inflamáveis, pouco tóxicos, não participam no processo de destruição da camada de ozono e têm um impacto diminuto no PAG.

O metano (R-50), o etano (R-170), o propano (R-290), o n-butano (R-600) e o isobutano (R-600a) são os hidrocarbonetos mais comuns na indústria da refrigeração [69].

○ **Compostos Inorgânicos**

O potencial nulo de destruição da camada de ozono e de PAG e uma boa compatibilidade com os materiais elastómeros presentes nos sistemas de refrigeração levou a que determinados compostos inorgânicos fossem vistos como excelentes alternativas aos fluídos frigorigêneos supramencionados [67].

Neste grupo encontra-se o amoníaco (R-717), o dióxido de carbono (R-744), a água (R-718) e o ar (R-719).

De entre todos estes compostos, o amoníaco destaca-se como aquele que adquiriu maior importância para aplicação na indústria da refrigeração, apresentando propriedades termofísicas e de transferência de energia térmica de muito interesse [69].

O R-717 é amplamente utilizado como fluido frigorigéneo em sistemas industriais, especificamente na refrigeração de alimentos. Apresenta algumas desvantagens, como ser inflamável, tóxico e corrosivo para o cobre e latão, no entanto tem uma elevada capacidade

térmica, apresentando o maior efeito de arrefecimento entre os principais fluidos frigorigêneos [68].

O R-744 requer a aplicação de elevadas pressões e conseqüentemente elevados consumos de energia para a sua compressão, necessitando para o efeito a utilização de compressores específicos.

O R-719 tem um COP baixo devido à sua reduzida massa específica, apresentando assim pequenas quantidades de transferência de energia térmica. Este fluido é aplicado fundamentalmente no condicionamento de ar de aviões e na congelação rápida de alimentos, em fábricas de produção de frio [69].

○ **Misturas**

A mistura de fluídos concede a oportunidade de ajustar as propriedades do fluido resultante, de acordo com os parâmetros mais adequados para determinada aplicação. Estas misturas são energeticamente mais eficientes, apresentam um menor impacto ambiental e são considerados a quarta geração de fluídos frigorigêneos [69].

Neste grupo inserem-se as misturas azeotrópicas e as misturas não azeotrópicas, vulgarmente conhecidas por *blends*.

As misturas azeotrópicas consistem na associação de duas substâncias de diferentes propriedades, com o comportamento de uma só. Não é possível isolar os componentes de uma mistura azeotrópica através do processo de destilação.

As misturas azeotrópicas mais utilizadas são o R-502, constituído por 48.8% de R-22 e 51.2% de R-115, e o R-507c constituído por 50% de R-125 e 50% de R-143a.

As misturas não azeotrópicas são constituídas por múltiplos componentes, com diferentes temperaturas de evaporação. Durante o ciclo de refrigeração alteram a sua composição durante os processos de condensação e de evaporação. Um dos *blends* mais comuns é o R-404a, composto por uma mistura de 44% de R-125, 4% de R-134a e 52% de R-143a [67][69].

Para além da designação dos fluidos frigorigêneos pela sua composição, existe uma nomenclatura que permite identificar em que grupo alguns fluídos se inserem. É utilizada a série 400 para misturas não azeotrópicas, 500 para misturas azeotrópicas, 600 para hidrocarbonetos e 700 para compostos inorgânicos.

3.3.1. Os Fluídos Frigorígenos na Indústria Nacional

Com a crescente preocupação ambiental, foi criado o projecto InovEnergy (Eficiência Energética no Sector Agro-industrial), que permite caracterizar unidades e indústrias utilizadoras de frio, desenvolvendo soluções que promovam a melhoria da sua eficiência energética.

No âmbito do projecto InovEnergy foi realizado um levantamento dos fluídos frigorígenos predominantes nos sistemas de refrigeração de indústrias nacionais, através de inquéritos realizados a mais de duzentas empresas, distribuídas por seis fileiras.

O Gráfico 3 ilustra os resultados do inquérito realizado em 2014,

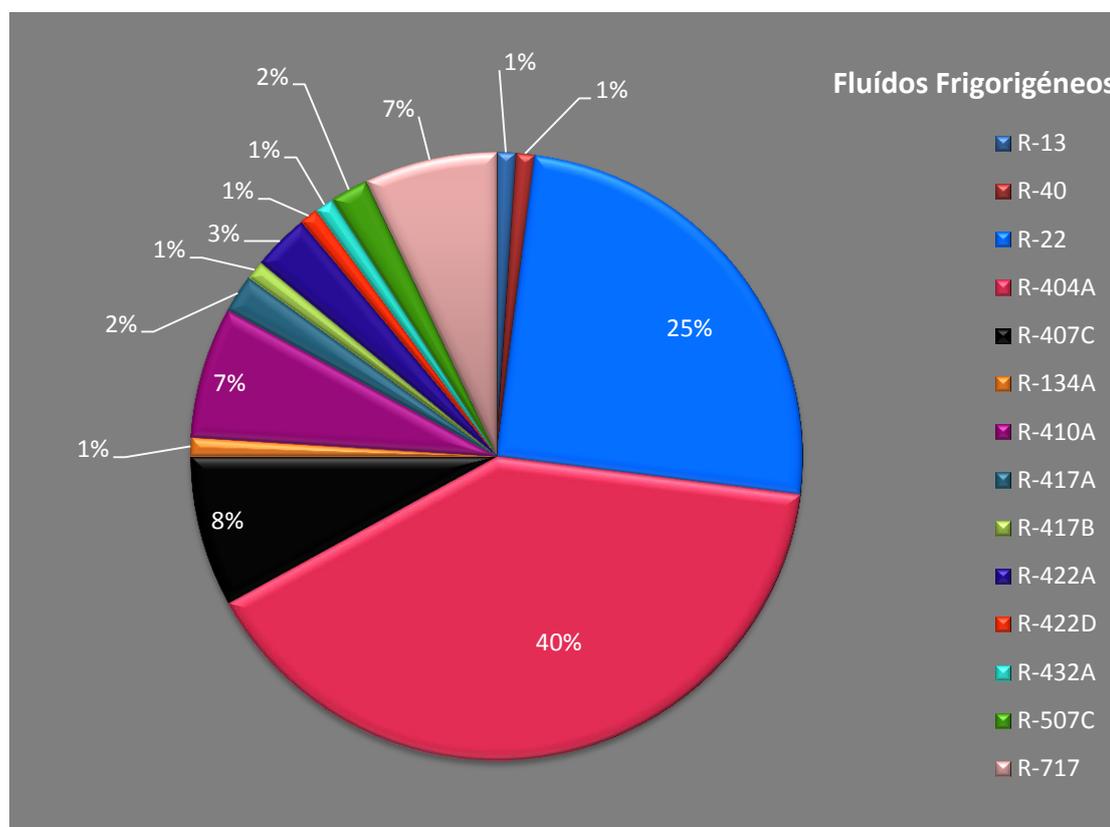


Gráfico 3 – Fluídos Frigorígenos utilizados na Agroindústria Nacional em 2014

Adaptado [70]

Verifica-se uma notória predominância do fluido R-404A com uns expressivos 40%, seguindo-se o R-22, fluido em progressiva substituição devido aos prejudiciais impactos ambientais que provoca.

A terceira posição é ocupada pelo R-407C com 8%, seguido pelo R-717 e pelo R-410a, ambos com 7%

Os fluídos com menos expressão na agro-indústria nacional são o R-13, o R-40, o R-134A, o R-417B, R-422D e o R-432A com apenas 1%.

Desagregando o levantamento dos fluídos frigoríficos por fileiras, obtiveram-se os resultados ilustrados pelo Gráfico 4.

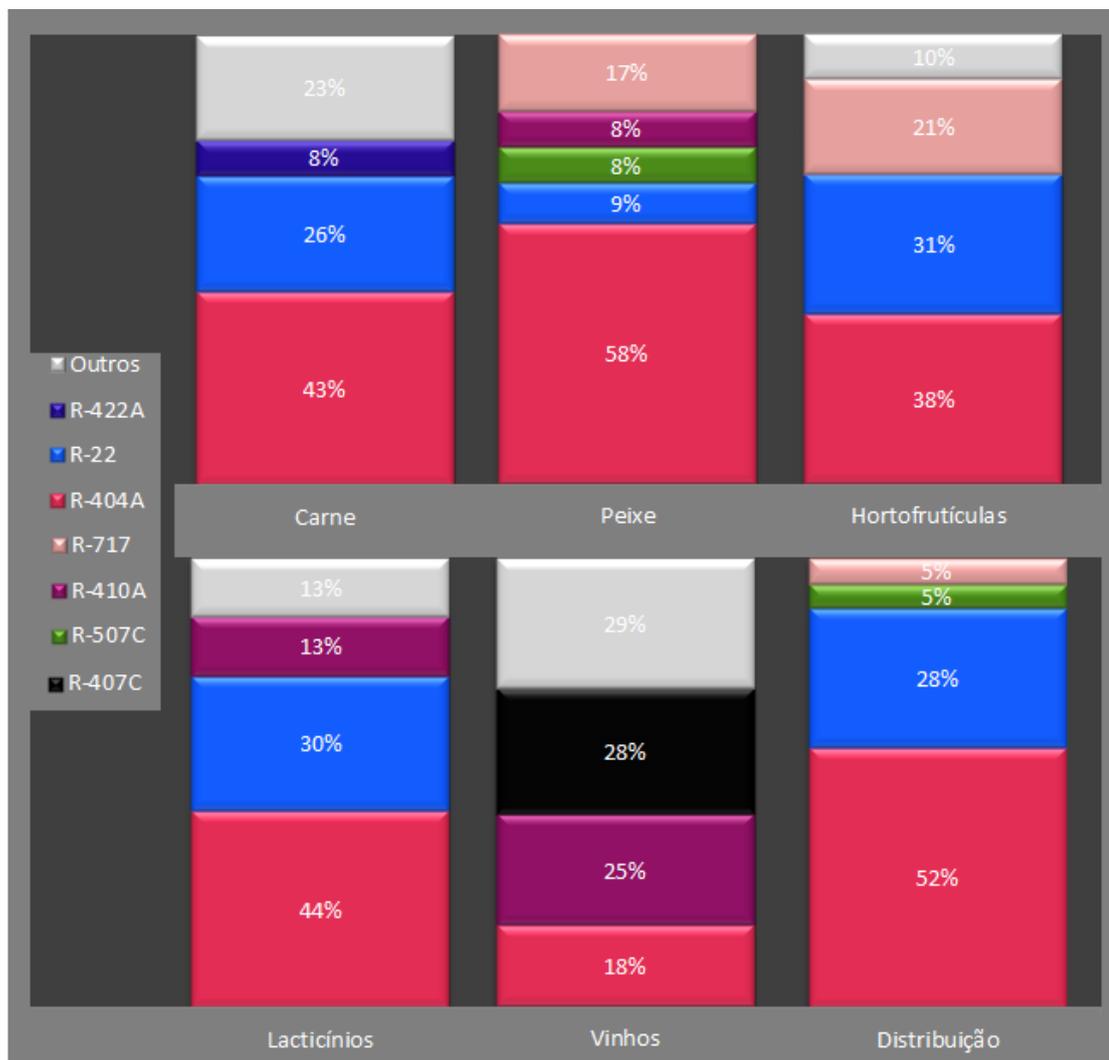


Gráfico 4 – Fluídos Frigoríficos utilizados por Fileira

Adaptado [70]

Constata-se a efectiva predominância do R-404A em todas as fileiras. O R-22 também detém uma percentagem bastante significativa em todas as fileiras, à excepção da fileira dos vinhos.

Esta fileira utiliza essencialmente R-407C e R-410A.

3.4. Componentes dos Sistemas de Refrigeração

Como os sistemas de refrigeração por compressão de vapor são os mais utilizados nas aplicações industriais, a análise dos principais elementos é referente a este tipo de sistema. Um esquema básico de um sistema de refrigeração por compressão de vapor é

composto por quatro elementos fundamentais: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador.

São utilizados ainda equipamentos complementares e acessórios com a finalidade de aumentar a eficiência e protecção do sistema, bem como promover o funcionamento autónomo de uma instalação frigorífica.

Dentro dos equipamentos complementares e acessórios destacam-se os seguintes:

- **Tubagens** - permitem a circulação do fluido frigorígeno através dos diversos componentes do sistema;
- **Acumulador** - tem a função de reter o excesso da mistura óleo-fluido mantendo no sistema uma taxa de mistura que não prejudique o funcionamento do compressor;
- **Separador de óleo** - permite a separação do óleo dissolvido no gás a alta pressão;
- **Depósito de líquido** - armazena o líquido condensado e alimenta o evaporador com o mesmo;
- **Filtros** - são responsáveis pelo ajustamento do teor de humidade e remoção de ácidos e sujidade;
- **Visores de líquido** - permitem o controlo do nível de fluido frigorígeno nas tubagens, o teor de humidade relativa e a taxa de retorno de óleo ao compressor;
- **Válvulas seccionadoras e de segurança** - promovem o corte e seccionamento do circuito de refrigeração [71].

Para uma operação eficiente do sistema de refrigeração é essencial que exista uma correcta correspondência entre todos os componentes e para tal há que analisar e considerar determinados factores tais como o tipo de sistema, a sua eficiência e manutenção, o equilíbrio dos componentes perante variações de carga, a variação da afinidade do óleo mediante variações bruscas de temperatura, o controlo da formação de gelo e a selecção do fluido frigorígeno [51][52].

3.4.1. Compressor

O compressor é responsável por fornecer um diferencial de pressão para que o fluido frigorígeno circule no sistema e evapore a uma temperatura inferior à temperatura de condensação, retirando calor de uma fonte fria para uma fonte quente.

É o componente mecanicamente mais complexo no sistema de compressão a vapor, e é também o que consome mais energia [7].

Existem cinco tipos de compressores utilizados em refrigeração: os compressores alternativos, os compressores de parafuso, os compressores de palhetas, os compressores centrífugos e os compressores do tipo *Scroll* [11].

Os compressores alternativos podem apresentar-se com concepções distintas e de acordo com a sua geometria classificam-se como herméticos, semi-herméticos ou abertos como é ilustrado na Figura 10. Os compressores do tipo aberto são projectados para operar com amoníaco ou HFC's. São portanto os mais requeridos a nível industrial pois permitem o acoplamento de motores de elevada potência e o seu accionamento é feito externamente através de um motor térmico ou eléctrico, visto que o eixo de accionamento atravessa a carcaça [72].

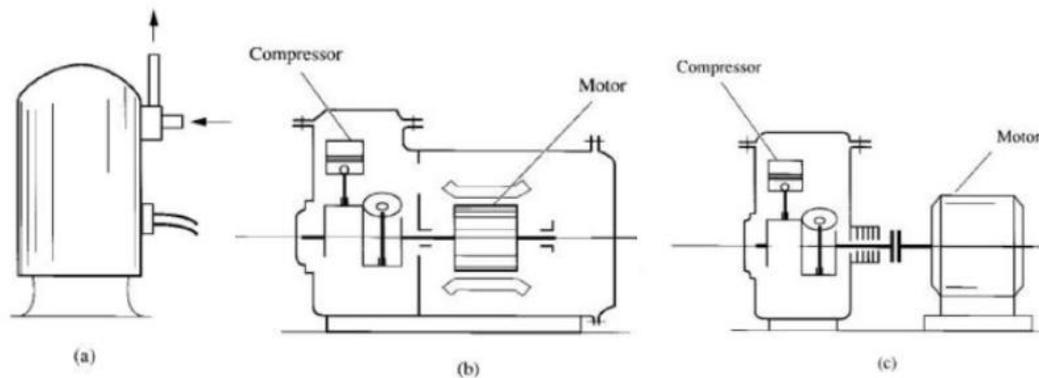


Figura 10 – (a) Compressor hermético; (b) Compressor semi-hermético; (c) Compressor aberto [73]

De acordo com as características de compressão, estes componentes podem classificar-se como compressores de deslocamento positivo ou volumétricos e compressores dinâmicos ou de fluxo.

Os compressores de deslocamento positivo aumentam a pressão do vapor do fluido refrigerante através da redução do volume interno de uma câmara de compressão, por aplicação de uma força mecânica. Dentro desta classificação encontram-se os compressores alternativos, os compressores de parafusos, os compressores de palhetas e os compressores do tipo *Scroll*.

Nos compressores dinâmicos o aumento de pressão ocorre devido à conversão da pressão dinâmica em pressão estática. Dentro desta classificação encontram-se os compressores centrífugos [11][68].

As grandezas mais importantes no desempenho dos compressores são a potência e a capacidade de refrigeração. A escolha do tipo de compressor baseia-se essencialmente no tipo de instalação, na temperatura de vaporização e no fluido refrigerante [72].

- **Compressor Alternativo**

O compressor alternativo é o mais utilizado nos sistemas de refrigeração comercial e detém capacidades desde 1 kW a 700 kW.

A compressão do gás realiza-se dentro de uma câmara de volume variável, através de um pistão, onde as válvulas de sucção e de descarga bombeiam o fluido frigorífero. Quando a válvula de sucção fecha, o pistão começa a comprimir o fluido frigorífero, ocorrendo de seguida a abertura da válvula de descarga. A admissão e a expansão do vapor são controladas por válvulas que se encontram no compressor de forma a provocarem a compressão [11].

Estes compressores têm a peculiaridade de manter um pequeno volume morto no topo do cilindro após a compressão, o que faz com que a pressão no interior do cilindro não tenha uma redução abrupta quando o pistão realiza o movimento descendente [72].

- **Compressor de Parafuso**

Os compressores de parafuso dividem-se entre parafuso simples e parafuso duplo, sendo este último mais utilizado por apresentar uma eficiência isentrópica superior.

Possui dois rotores acoplados, montados em chumaceiras para fixar as suas posições dentro da câmara [5].

O rotor macho acciona o rotor fêmea que se encontra alojado numa carcaça estacionária. O fluido frigorífero entra pela parte superior de uma das extremidades e sai pela parte inferior. Quando o espaço entre as engrenagens passa pela entrada, a cavidade é preenchida pelo fluido frigorífero, levando a que este se mova e circule pela carcaça do compressor até encontrar uma engrenagem do rotor macho que começa a encaixar-se na cavidade do rotor fêmea, reduzindo o volume da cavidade e comprimindo o gás. Ao atingir o orifício de saída ocorre a descarga [72].

Os compressores de parafuso utilizam injeção de óleo na câmara de compressão, para arrefecimento, vedação e lubrificação [5].

- **Compressor de Palhetas**

A classificação dos compressores de palhetas divide-se em compressor de palhetas simples e compressor de palhetas múltiplas.

No compressor de palhetas simples, a linha do centro do eixo de accionamento coincide com o cilindro, no entanto é excêntrica em relação ao rotor para que estes dois componentes permaneçam em contacto no processo de rotação. Uma palheta simples accionada por mola divide as câmaras de aspiração e de descarga.

No compressor de palhetas múltiplas, o rotor gira em torno do eixo e possui duas ou mais palhetas que permanecem em contacto com a superfície do cilindro por acção da força centrífuga [5][73].

- **Compressor Centrífugo**

O rotor gira a grande velocidade dentro da carcaça e pressiona o vapor contra a sua parede externa, através da força centrífuga, fazendo com que este se mova a alta velocidade. Seguidamente o gás perde velocidade e expande.

Quando o gás se encontra sob elevada pressão, entra na sucção de um segundo rotor, repetindo-se o processo o que leva a que este adquira uma pressão ainda mais elevada. Este processo denomina-se andar de compressão.

As soluções aplicadas a nível industrial podem ter até quatro andares de compressão [5][11].

- **Compressor do tipo *Scroll***

O compressor do tipo *Scroll* possui duas peças em espiral, encaixadas face a face. A espiral superior é fixa e tem uma abertura para a saída do gás. A espiral inferior é móvel e é accionada por um motor com eixo excêntrico.

A sucção do gás ocorre na extremidade do conjunto de espirais e a descarga ocorre através do orifício da espiral fixa [73].

3.4.2. Condensador

O condensador é a interface entre o sistema de refrigeração e o meio para o qual o calor é transferido. O calor é absorvido pelo evaporador e deslocado para o condensador através do compressor [7].

A capacidade de transferência de calor é a característica mais importante para a selecção do equipamento.

Existem três tipos de condensadores: arrefecidos a ar, arrefecidos a água e evaporativos [7].

- **Condensador Arrefecido a Ar**

O condensador arrefecido a ar apresenta-se com uma configuração típica de um permutador de calor de tubo e alhetas [5].

O vapor a alta pressão, proveniente do compressor, entra no colector que alimenta os circuitos individuais de troca de calor da serpentina. O fluido frigorigéneo sofre uma redução elevada de temperatura e começa a liquefazer à medida que o calor é rejeitado para o exterior. O fluido frigorigéneo, no estado de líquido subarrefecido, sai pela parte inferior do condensador. A superfície exterior do condensador é optimizada com a adição

de alhetas. As alhetas aumentam o processo de transferência de calor, por aumentarem a área de contacto da superfície frontal.

Os condensadores arrefecidos a ar podem ser do tipo natural ou forçado e apresentam como principal vantagem a fácil instalação [68][73].

- **Condensador Arrefecido a Água**

O condensador arrefecido a água utiliza, normalmente, água proveniente de torres de refrigeração.

Habitualmente são utilizados em sistemas de maior dimensão. A sua instalação é um pouco mais complexa pois é necessário criar um circuito de água [5].

Os condensadores arrefecidos a água mais comercializados são os de tubo duplo, os de carcaça e serpentina (*Shell and Coil*), os de carcaça e tubo (*Shell and Tube*) e os de placas.

Nos condensadores de tubo duplo, o tubo onde circula a água é colocado dentro de um tubo de diâmetro superior e o fluido frigorífero circula em contracorrente no espaço anelar.

Os condensadores de carcaça e serpentina são constituídos por tubos enrolados em forma de serpentina e montados numa carcaça fechada. A água fria circula no interior dos tubos e o fluido frigorífero escoia pela carcaça [7].

Os condensadores de carcaça e tubo são constituídos por uma carcaça cilíndrica, onde estão instalados tubos de cobre horizontais e paralelos. A água circula no interior do feixe de tubos e o fluido frigorífero em seu redor, dentro da carcaça.

Os condensadores de placas são constituídos por placas inox, montadas paralelamente e separadas por uma curta distância. A água fria e o fluido frigorífero circulam entre os espaços alternados formados pelas placas [68][73].

- **Condensador Evaporativo**

Os condensadores evaporativos são formados por um sistema tipo torre de arrefecimento que combina as funções de um condensador a ar e de uma torre de arrefecimento a água, no interior do qual são instalados tubos por onde escoia o fluido frigorífero, como ilustra a Figura 11.

No topo, possuem injectores que pulverizam a água sobre os tubos onde circula o fluido frigorífero, em contracorrente com o ar [73].

O vapor sobreaquecido entra no colector e é distribuído pelos tubos do permutador de calor que estão dispostos em configuração de serpentina. À medida que o vapor se

desloca no interior dos tubos, rejeita calor para o meio e liquefaz. O fluido frigorífero, no estado de líquido saturado, é recolhido à saída do permutador através de um colector de líquido. Seguidamente um tubo de drenagem conduz o líquido condensado para o depósito de líquido de alta pressão [52].

Estes condensadores possuem ventiladores que movimentam o ar no seu interior, transportando o calor para longe do equipamento e são o tipo de condensador mais vulgar em instalações frigoríficas de grandes dimensões [7].

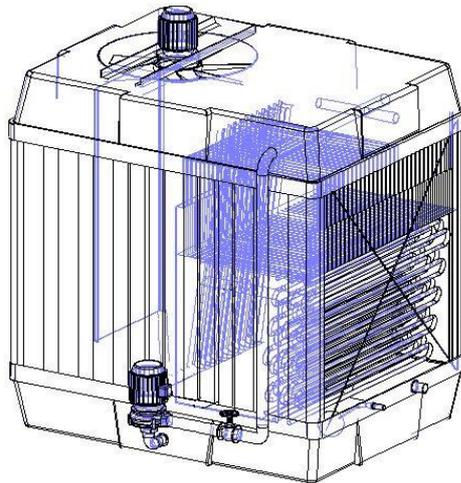


Figura 11 – Ilustração de um Compressor Evaporativo [74]

3.4.3. Evaporador

O evaporador é um permutador de calor que transfere o calor do sistema para o fluido frigorífero, que posteriormente é comprimido e rejeita calor no condensador.

A circulação pode ser natural ou forçada e funciona a partir de um tanque auxiliar, regressando o caudal ao mesmo tanque que tem a função de separar as fases líquida para o evaporador e vapor para o compressor.

As características dos evaporadores, são normalmente apresentadas em função da temperatura do espaço a refrigerar e da temperatura de evaporação.

De acordo com o tipo de alimentação, os evaporadores podem ser de dois tipos: evaporadores inundados e evaporadores secos.

- **Evaporador Inundado**

O evaporador inundado é disposto com um separador de líquido localizado no topo da serpentina, para que o interior do evaporador se mantenha inundado com o fluido frigorífero, como se ilustra na Figura 12 [7].

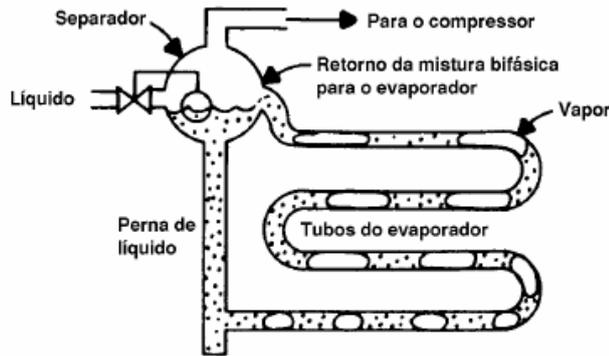


Figura 12 – Esquema de um Evaporador Inundado [7]

Estes evaporadores detêm elevados coeficientes de transferência de calor pelo facto de existir líquido em contacto com toda a superfície dos tubos [75].

O controlo do caudal é feito por uma válvula que é accionada pelo grau de sobreaquecimento do vapor à saída do evaporador. A diferença entre a temperatura do espaço a refrigerar e a temperatura de evaporação deve ser superior ao valor da regulação, de forma a permitir que seja atingido o sobreaquecimento [7].

Nos sistemas inundados não é possível a evaporação completa do fluido frigorífero, uma vez que o calor recebido do meio é inferior ao calor latente que o líquido presente no evaporador consegue absorver, o que leva a que o fluido frigorífero mantenha o seu estado praticamente líquido ao longo do circuito interno do evaporador.

A sua aplicação foca-se essencialmente em sistemas frigoríficos que utilizam amoníaco como fluido frigorífero [75].

○ **Evaporador Seco**

Nos evaporadores secos o fluido frigorífero entra no evaporador de forma intermitente através de uma válvula de expansão, sendo totalmente vaporizado e sobreaquecido de forma a ter essencialmente líquido na entrada do evaporador e vapor à saída do mesmo.

A taxa de vaporização no interior do evaporador é uma função da carga térmica exigida.

Nestes sistemas o calor é recebido directamente do ar do sistema a refrigerar, que está em contacto com a superfície exterior do evaporador.

A temperaturas de evaporação reduzidas, o superaquecimento do fluido frigorífero à saída do evaporador impõe severas restrições na capacidade e na eficiência da serpentina.

A sua aplicação é essencialmente em instalações de capacidade reduzida, que operam com fluidos frigoríficos halogenados [7][75].

3.4.4. Dispositivo de expansão

O dispositivo de expansão tem o objectivo de regular o caudal de fluido frigorífico e impor uma perda de carga maior ou menor ao sistema, para que a partir dela se inicie a evaporação [7].

Existem vários tipos de dispositivos de expansão, tais como as válvulas de expansão a pressão constante, as válvulas de expansão termostática, as válvulas electrónicas de expansão e os tubos capilares [7].

○ Válvulas de Expansão a Pressão Constante

As válvulas de expansão a pressão constante mantêm a pressão constante à entrada do evaporador. A pressão constante característica da válvula resulta da interacção entre a pressão do fluido frigorífico no evaporador e a pressão de um componente da válvula, a mola (figura 13) [51].

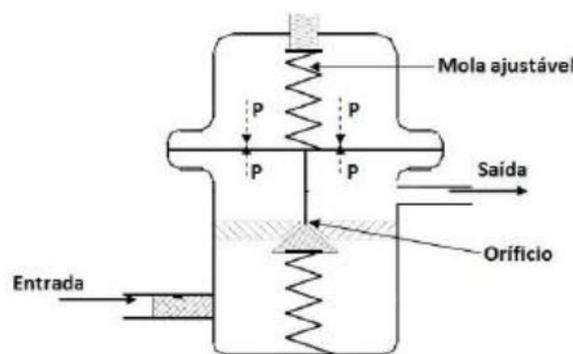


Figura 13– Válvula de Expansão a Pressão constante [51]

○ Válvulas de Expansão Termostática

Nas válvulas de expansão termostática, o controlo do caudal de fluido frigorífico que entra no evaporador é feito pela temperatura do gás de sucção sobreaquecido. A força necessária para o seu accionamento é oriunda do sobreaquecimento do fluido frigorífico no estado gasoso que se encontra no evaporador. Devido à sua elevada eficiência são os dispositivos de expansão mais utilizados em sistemas de refrigeração com evaporadores secos [76].

Na Figura 14 estão ilustrados os elementos constituintes de uma válvula termostática.

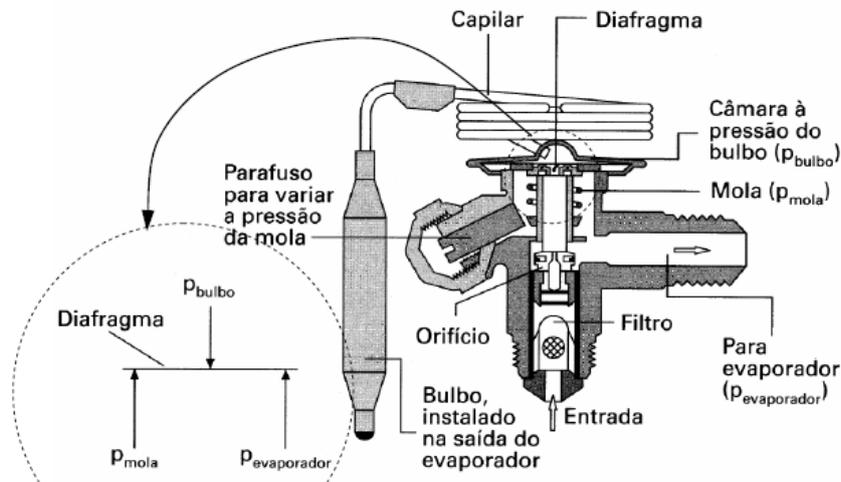


Figura 14 – Válvula Termostática de Expansão Adaptado [76]

- **Válvulas electrónicas de Expansão**

As válvulas electrónicas de expansão funcionam independentemente da direcção do caudal, uma vez que o seu controlo é independente da pressão do fluido frigoriféneo. São válvulas com a capacidade de promover um controle mais preciso e eficiente de caudal.

Utilizam um termístor para detectar a presença de fluido frigoriféneo à saída do evaporador. Na ausência de líquido, a temperatura do termístor aumenta, a resistência eléctrica diminui e a válvula é aberta permitindo a passagem de um caudal maior [7][73].

- **Tubos capilares**

Os tubos capilares regulam o caudal do fluido frigoriféneo, baseados no principio de que o fluido no estado líquido passará pelo tubo capilar mais facilmente do que o fluido no estado gasoso.

Na passagem pelo tubo capilar, a pressão do fluido frigoriféneo é reduzida devido ao atrito e à sua velocidade.

Para obter as condições desejadas num tubo capilar, fazem-se combinações entre calibre e comprimento [73][75].

4. Caso de Estudo – Parte I: Unidade Industrial

Metalomecânica Dirigida à Produção de Equipamentos de Frio Industrial

4.1. A Centauro Portugal SGPS

A empresa foi fundada em 1978 com a constituição e registo da Empresa Castanheira Henriques & C^a Lda. [77]

Desde 1980 que concebe e produz soluções e equipamentos para AVAC&R (Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração) tendo em 1983 exportado os primeiros produtos para o Reino Unido.

A necessidade de expansão e especialização a nível de produção levou à formação da Centauro Portugal SGPS em 1992, constituída pela Castanheira Henriques & C^a Lda (frio comercial), a Centauro Industrial (frio industrial) e a Brisa Nova (departamento comercial).

A Centauro Portugal SGPS é, portanto, um grupo de empresas sediadas em Castelo Branco, com instalações distribuídas por quatro edifícios num total de 38.500m² de área coberta (Figura 15). A filial Brisa Nova tem as suas instalações em Lisboa, desempenhando actualmente funções de suporte técnico, serviço pós venda e apoio logístico à distribuição dos produtos.



Figura 15 - Sede da Centauro Portugal SGPS [77]

O desenvolvimento industrial foi suportado pela certificação do Sistema de Garantia da Qualidade ISO 9002 em 1993.

Em 1997 a Centauro obteve a certificação *Eurovent* para evaporadores de expansão directa e para condensadores. O âmbito da certificação destes permutadores de calor permitiu aferir e validar o *software* de cálculo de permutadores, projectos de construção, projectos de motoventiladores e documentação técnica.

Actualmente o Sistema de Gestão da Qualidade ISO 9001-2008 está certificada pela APCER (Associação Portuguesa de Certificação) e é uma das ferramentas ao serviço do desenvolvimento sustentado das actividades da empresa, desde 1995.

A filosofia da empresa assenta em princípios próprios tais como a durabilidade dos equipamentos, a utilização das tecnologias mais recentes e fiáveis, a redução do impacto ambiental e eficiência energética tanto a nível de produção como a nível do funcionamento dos produtos, a fiabilidade nas condições reais de funcionamento e o bom compromisso entre a qualidade, desempenho e preço.

4.1.1. Estrutura Organizacional Grupo Centauro Portugal SGPS

A estrutura organizacional para empresas de grande dimensão é o elemento fundamental para manter o foco nos objectivos, depois de definida a missão, a visão e os valores que servem de base para a implementação das suas estratégias de mercado.

Na Centauro, a estrutura organizacional foi delineada de acordo com os objectivos e estratégias estabelecidas, pois é de conhecimento geral que uma estrutura bem definida é uma ferramenta básica para alcançar os objectivos da empresa e é um instrumento fundamental para a concretização do processo organizacional que se pode considerar uma das chaves do sucesso.

Actualmente as instalações do grupo Centauro Portugal SGPS encontram-se a funcionar como serviços centrais, acolhendo a administração do grupo e centralizando os serviços de qualidade, financeiros, comerciais, técnicos e de produção de todas as empresas do grupo.

O conselho de administração é presidido pelo Sr. José Henriques e tem como vogais a Sr.^a D. Elvira Henriques e o Eng.^o António Grajeia.

A vice-presidência para a qualidade é assegurada pelo Eng.^o António Granjeia e a direcção de qualidade está a cargo da Eng.^a Manuela Soares.

A Sr.^a D. Elvira Henriques é também responsável pela direcção financeira tendo como adjunta a Sr.^a D. Filomena Antunes.

A direcção comercial está sob a alçada do Sr. José Henriques, que tem como adjuntos o Sr. António Soares e o Sr. Aníbal Antunes.

A direcção técnica é da responsabilidade do Eng.^o António Granjeia e tem como chefes de serviço o Eng.^o José Lopes e a Eng.^a Manuela Soares.

Por fim, a direcção de produção é assegurada pelo Sr. António Soares.

No organigrama da Figura 16 pode visualizar-se a estrutura organizacional do grupo, de forma hierárquica.

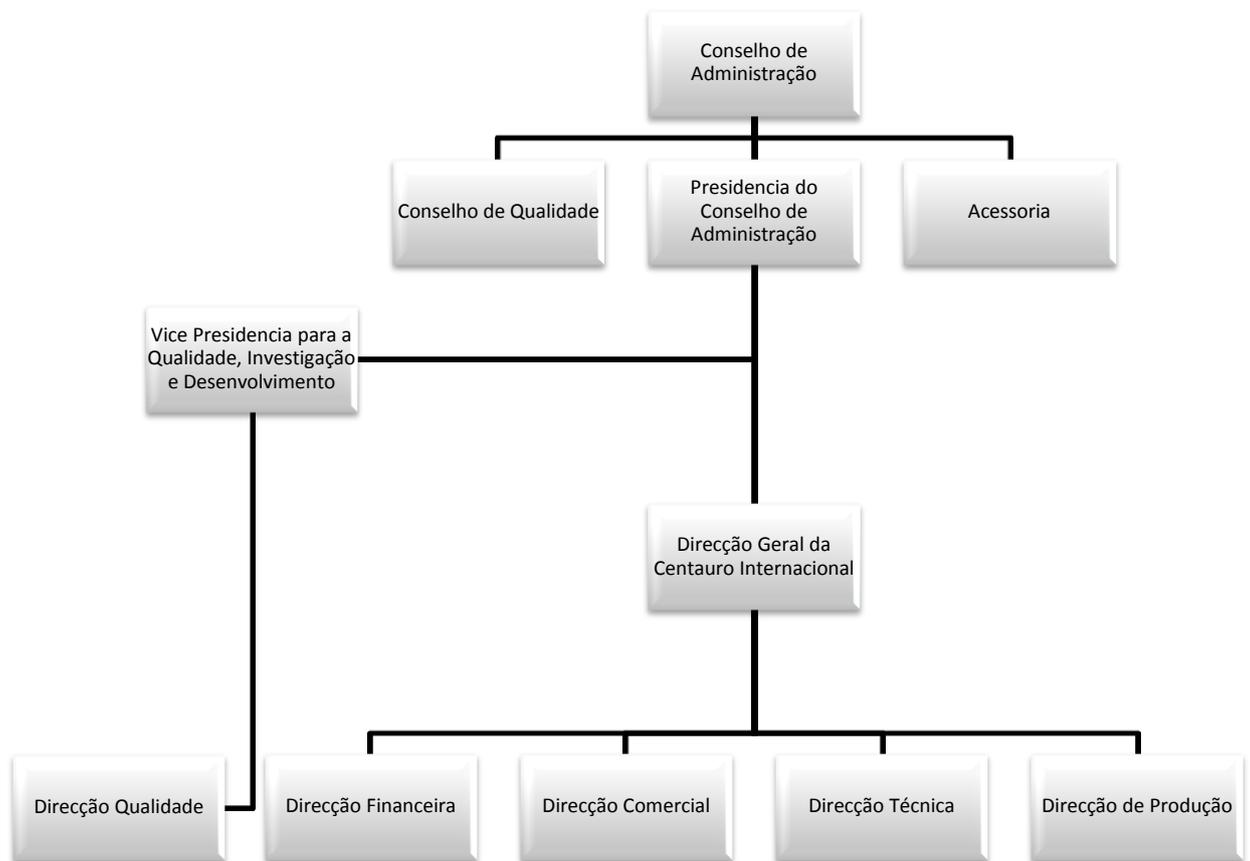


Figura 16- Organigrama geral do grupo Centauro

4.2. Produtos de Arranque

A sobrevivência inicial da Centauro deveu-se à fabricação de máquinas de gelo. A venda destes equipamentos e os apoios e incentivos, concedidos na época à criação de novas empresas, permitiram o investimento em maquinaria.

Foram compradas as primeiras duas prensas para o fabrico de tubos de 15.14 mm e para tubos 3/8", o que permitiu dar início ao fabrico condensadores e evaporadores da gama comercial.

Também incluídas nos produtos de arranque estão as cortinas de ar, como a exemplificada na Figura 17.

Foram lançadas as séries CC602, CC902 e CC1202, distintas entre si pelo comprimento e potência de consumo, com um diâmetro de ventilação de 90 mm e com uma velocidade de ar de 7.7 m.seg⁻¹.

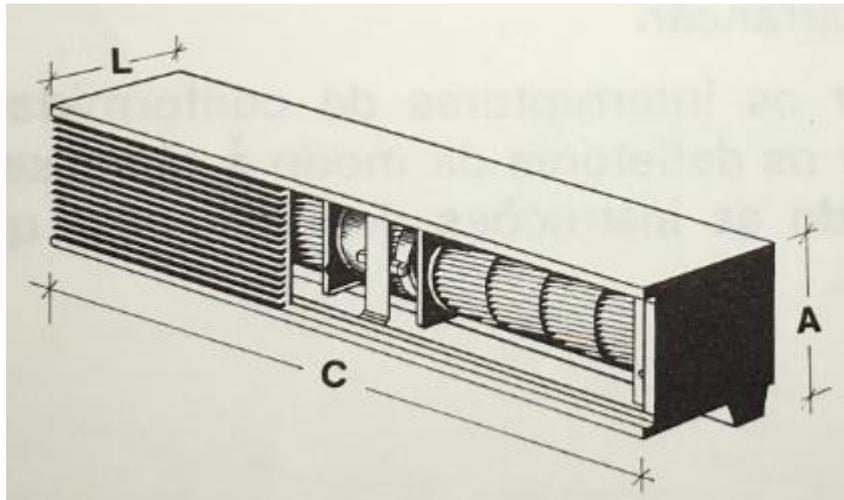


Figura 17 - Geometria das primeiras cortinas de ar fabricadas pela Centauro

A construção das turbinas era feita de materiais não corrosivos, pelo que as cortinas de ar podiam exercer a função de exaustor em diversos ambientes, como escritórios, cozinhas ou laboratórios.

Em 1984 foram lançados os primeiros catálogos de evaporadores cúbicos, estáticos e de armário, de aplicação industrial e comercial. Na época, os ventiladores usados eram da ELCO e da EFACEC, sendo que as pás destes eram fabricadas e calibradas na Centauro.

A tipologia dos evaporadores cúbicos, ilustrada na Figura 18, era de tubo de cobre expandido 5/8", alheta sem colarinho, com estanagem do bloco alhetado.

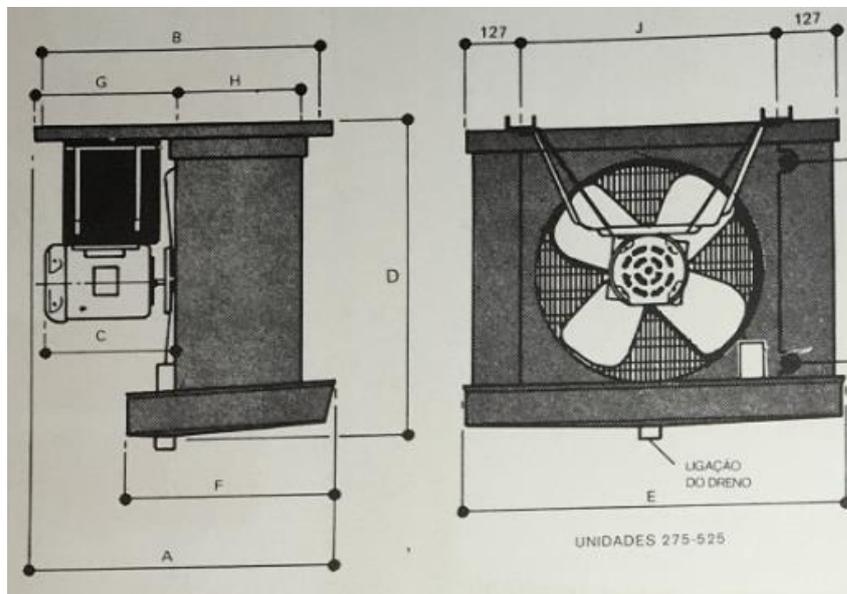


Figura 18 - Tipologia dos Evaporadores cúbicos apresentados no catálogo de lançamento

Os evaporadores estáticos apresentados na mesma época eram de execução similar ao bloco alhetado dos evaporadores cúbicos e eram projectados para operar com gases *freon*, em camaras frigorificas até -40°C . As alhetas eram de alumínio, de 0.46 mm e os tubos de cobre não tinham costura e eram previamente tratados e expandidos num hidráulico de alta eficiência.

A descongelação dos evaporadores cúbicos e dos evaporadores estáticos era efectuada através de resistências especiais.

Para cobrir o nicho de mercado, seguiu-se o lançamento dos permutadores de calor de expansão directa do tipo *Shell and Tube*, da gama ZAB. A sua constituição era feita de tubos de cobre no interior e carcaça em tubos de aço.

Com uma capacidade máxima de ar de 470Ls^{-1} , a gama ZAB admitia uma pressão máxima de 1370 kPa e uma temperatura máxima de 210°C.

A Figura 19 ilustra a tipologia dos equipamentos apresentados no catálogo *Shell and Tube*.

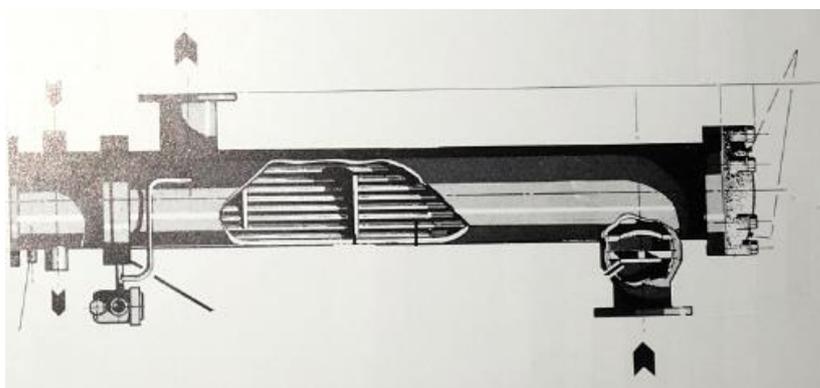


Figura 19 - *Shell and Tube* apresentado no catálogo de lançamento

Em 1985 foi lançado o catálogo das BSU (*Big Standart Units*) para tuneis de congelação, com tubos 5/8", motores especiais da EFACEC e ventiladores da VIC.

Em 1988 produziram-se os primeiros grupos de condensação, com compressores abertos, do tipo *slow runner*, da Bitzer.

Pela mesma altura, produziu-se uma central a 0°C de temperatura de evaporação para arrefecimento dos circuitos de salas climatizadas a baixa temperatura, uma central a -10°C/-13°C de temperatura de evaporação para refrigerados e uma central a -27°C/-30°C de temperatura de evaporação para congelados.

A Figura 20 ilustra os grupos de condensação a ar, lançados nos primeiros catálogos da Centauro.



Figura 20 - Grupos de Condensação a ar de lançamento: Modelos CBS, CMM/CML e aplicações especiais, respectivamente

Seguiu-se um avanço muito lento e dificultado pelos concorrentes, fabricantes e fornecedores de compressores.

Após as dificuldades sentidas, deu-se início à fabricação de pequenas centrais com condensador incorporado, denominadas por centrais PACK. Posteriormente vieram as centrais industriais, com compressores de parafuso, *piston* ou *scroll*, condensador com ou sem capota, com ou sem quadro eléctrico e sem *chiller*, as centrais RACK.

Em acto contínuo seguiu-se o fabrico de centrais RACK dotadas de *chillers*. Começou por usar-se *chillers* fabricados na Centauro, os STAX e os S&T. No entanto por questões de especialização da produção passaram a ser utilizados os *chillers* da gama S&T, do fabricante da CIAT e *chillers* da gama PHE (permutadores de placas) do fabricante SWEP.

Em 1992 surgiu a série de equipamentos que utilizava o amoníaco como fluído frigorífero, e em 2001 a Centauro apresentou uma família de produtos que continha tubos de inox e alhetas de alumínio, denominada por SAHE.

O grupo de produtos da família SAHE veio contribuir para a redução dos custos de instalação, uma vez que as características construtivas dos permutadores de calor desta gama permitiam reduzir em cerca de 40% o peso dos evaporadores, o que não obrigava à utilização de estruturas metálicas para suspensão destes equipamentos, nos espaços refrigerados.

Esta gama introduziu novas geometrias de alhetas, um novo *design* de equipamentos de baixo perfil e um novo desenho de blindagem.

A geração Quíron nasceu na área da refrigeração como uma aposta na melhoria da eficiência energética e na redução do impacto ambiental. Foi adoptada pela Centauro por volta de 2012.

4.3. Tipologia dos Equipamentos Produzidos e Tecnologias

A essência do *métier* da Centauro passa pela produção de:

- Permutadores de calor do tipo tubo alhetado, com alheta contínua, especiais sob medida ou *standard*, em pequenas ou médias séries;
- Permutadores com alheta circular, em espiral, para aplicação em aquecimento de vapor;
- Permutadores do tipo radiadores, denominados microcanal com construção total em alumínio;
- Permutadores de tubo sem alheta para arrefecimento de ar e para arrefecimento/aquecimento de líquidos (*Shell and Tube/Shell and Receiver*).

4.3.1. Estrutura dos Produtos

Todos os produtos Centauro estão agrupados em famílias:

- ✓ CAHE – Permutador de tubo de cobre e alhetas de alumínio;
- ✓ SAHE – Permutadores de tubo inox e alhetas de alumínio;
- ✓ FAHE – Permutadores de tubo e alhetas de alumínio;
- ✓ VACP – Produtos de valor acrescentado

Em cada família existem os grupos de produtos indicados na Tabela 2:

Tabela 2 - Famílias e Grupos de produtos Centauro

Família de Produtos	Grupo de Produtos
CAHE SAHE FAHE	Evaporadores
	Condensadores
	Frigodifusores
	Arrefecedores secos
	Permutadores de tubo alhetado
	Permutadores sem alhetas tipo serpentina
VACP	Centrais frigoríficas (<i>Rack</i>)
	Unidades de condensação
	Permutadores de placas para recuperação de calor
	Conduas têxteis para distribuição de ar
	Equipamentos para bombas de calor integrados nos VACP
	Equipamentos para sistemas de congelação
	Soluções de ventilação com comutação electrónica
	Soluções com conversor de frequência
	Soluções especiais para secagem de ar
	Soluções para acumulação de gelo
Soluções para arrefecimento de água, para <i>hydrocooler</i>	

4.3.2. Tipologia dos Evaporadores

As gamas de evaporadores Centauro incluem tubos protegidos por blindagem, inseridos em alhetas com ventiladores montados na mesma. Adicionalmente são também equipados com vários componentes na versão *standard* ou por componentes opcionais. A versão *standard* contempla um tabuleiro de esgoto basculante ou amovível, ventiladores em compartimentos individuais, várias opções para a ligação de tubos de fluido frigorífero e deflector no lado da saída de ar, de acordo com o modelo.

Quanto às soluções construtivas, os evaporadores podem ser cúbicos e em cunha com uma bateria de frio, ou de duplo fluxo com duas baterias de frio (Figura 21).

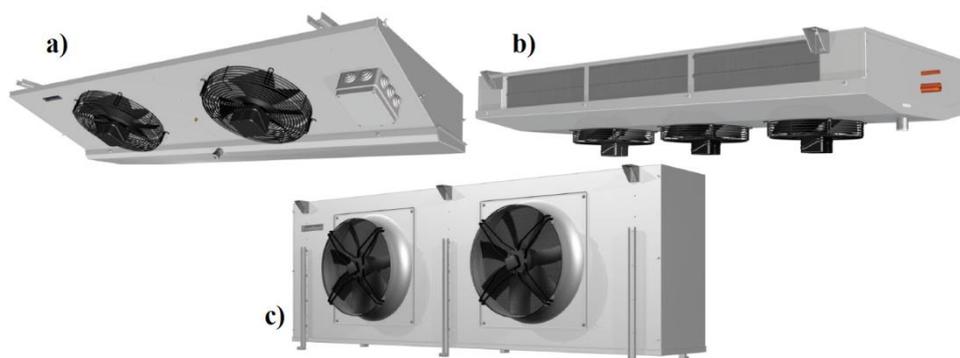


Figura 21 – a) Evaporador em Cunha; b) Evaporador Cúbico; c) Evaporador de Duplo Fluxo

No anexo II.A encontra-se o esquema construtivo dos evaporadores Centauro e no anexo II.B pode consultar-se o seu princípio de funcionamento.

➤ **Bloco Alhetado**

O bloco alhetado dos evaporadores Centauro é constituído por alhetas de alumínio onduladas, atravessadas por tubos de cobre, curvas em cobre, um distribuidor do tipo Venturi e uma válvula Schrader na saída. O fluido frigorígeno é direccionado através do tubo de cobre, onde evapora. Para evitar uma excessiva queda de pressão, o fluido é distribuído através do distribuidor Venturi para um certo numero de circuitos.

Contém capilares ligados a tubos por reduções sónicas para optimização da capilaridade durante a brasagem.

A pressão de serviço é de 28 bar e a pressão de teste de fugas é realizada a 31 ± 1 bar.

➤ **Moto-Ventiladores**

Os moto-ventiladores têm execução especial do tipo rotor externo, com a excepção dos evaporadores de túnel, que têm rotor interno.

Possuem protecção térmica e os motores são de classe F ou B.

As grelhas contêm um tratamento especial e existe cablagem à caixa de ligações.

Os evaporadores em cunha são equipados com motores AC monofásicos (230V/1~/50Hz) com uma só velocidade. Acima de uma certa capacidade os evaporadores cúbicos e de duplo fluxo usam motores AC trifásicos (400V/3~/50Hz) com duas velocidades (Y/ Δ).

A utilização da comutação Y/ Δ permite aos motores trifásicos rodarem a duas velocidades.

Algumas gamas de evaporadores (cunha e cúbicos) estão equipados com motores de poupança de energia ESM/EC como opção. Os motores ESM têm duas velocidades (η_{\min} e η_{\max}). Os motores EC têm controlo total de velocidade.

Quanto ao número de ventiladores, estes podem ser entre um e cinco e são constituídos por um motor de accionamento com caixa de terminais eléctricos, pás e grelhas.

Os ventiladores dos evaporadores em cunha e dos evaporadores cúbicos são ligados às caixas eléctricas no interior do equipamento. Os ventiladores dos evaporadores de duplo fluxo têm os ventiladores ligados a caixas eléctricas externas.

➤ **Blindagem**

A blindagem dos evaporadores é totalmente executada em alumínio. Os ventiladores são do tipo aspirante ou premente e são instalados em compartimentos individuais.

No caso dos evaporadores prementes o ar entra pelo lado dos ventiladores e é enviado através do bloco alhetado para o exterior. As alhetas funcionam como serpentinas permitindo uma distribuição de ar homogénea. Os evaporadores prementes possuem um deflector que permite que o ar seja direccionado para o tecto onde se mistura com o ar a temperaturas mais elevadas. O ar entra pelo lado do bloco alhetado e sai pelo lado dos ventiladores, o que proporciona maiores velocidades de ar.

De acordo com o modelo podem conter um tabuleiro de esgoto intermédio e um tabuleiro de esgoto principal, um ou dois tabuleiros de esgoto principal ou um tabuleiro de esgoto intermédio e um tabuleiro de esgoto principal.

➤ **Descongelção**

A formação de gelo em evaporadores alhetados ocorre sempre que a temperatura superficial das alhetas é inferior a 0°C e a temperatura do ar à saída do mesmo se aproxima desta.

A acumulação de gelo nas alhetas reduz a transferência de calor entre o fluido frigorífero primário e o fluido frigorífero secundário.

Para tal, é necessário que seja efectuado periodicamente o processo de descongelção.

A descongelção dos evaporadores Centauro pode ser realizada através de ar, de água, de gás quente ou através de resistências eléctricas.

Neste último método, as resistências eléctricas são constituídas por aço inox, ligadas a uma caixa de ligações de 230V/1~/50Hz ou 400V/3~/50Hz.

No anexo II.C encontram-se os desenhos esquemáticos dos diversos tipos de descongelação, fornecidos pela Centauro.

Segue-se a Tabela 3 que resume as principais características dos evaporadores Centauro.

Tabela 3 – Características dos Principais Evaporadores Centauro

Tipo Evaporadores	Modelo	Geometria Alhetas	Espaçamento Alhetas (mm)	Ø Ventiladores	Potência (kW)	Desenho (Anexos)
Cúbicos	MT	1/2 ′′	4.2	300, 350,	3.33 – 72.31	Anexo II.D
	DD		7.0	400, 450, 500	2.38 – 53.17	
	BXN	3/8 ′′	4.3	250, 300	1.57 – 9.91	
	BXL		6.3		1.21 – 7.64	
Cúbicos Industriais	MTA	5/8 ′′	4.2	500, 560, 710, 800	14.96 – 189.61	Anexo II.E
	MTB		6.3		14.11 – 151.45	
	DDC		7.9		11.33 – 43.53	
	DDL		10.0		9.57 – 84.61	
	DXL		12.0		8.44 – 77.12	
Duplo Fluxo	CBK	1/2 ′′	3.2 – 4.2	300, 400, 450, 500	2.60 – 68.50	Anexo II.F
	CBN		4.2		3.16 – 92.60	
	CBL		7.0		2.36 – 66.04	
	DF		4.2	200, 230, 254	0.44 – 5.31	Anexo II.G
	DFL		6.3		0.33 – 4.23	
Cunha (Baixo Perfil)	RWK	3/8 ′′	4.2	300	1.55 – 7.61	Anexo II.H
	BWK		6.3		1.24 – 6.12	
	TA		4.2	172, 200, 230	0.31 – 3.39	Anexo II.I
	TAL		6.3		0.29 – 2.61	
Redondos	ERK	3/8 ′′	3.2 – 4.2	300, 400, 450, 500	1.42 – 17.04	Anexo II.J
	ERN		4.2 – 6.3	200, 230, 300, 400	0.18 – 5.62	
Túnel	BSU ⁽¹⁾	5/8 ′′	7.9 x 15.8 10.08 x 20.0	700, 800	19.31 – 156.88	Anexo II.K

⁽¹⁾ Dentro do modelo BSU existem as variantes BSUP (com bateria vertical e montagem no solo), BSUW (com execução em cunha), BSUD (com execução de duplo fluxo), BSUH (com bateria horizontal).

➤ **Acessórios e Componentes Opcionais**

Dentro dos componentes e acessórios opcionais, de acordo com o cliente e com o projecto em causa, pode existir alhetas em alumínio revestidas a *gold epoxy*, bateria pintada a pó seco, blindagem e tubos em aço inox, resistência de golas, bateria de controlo de humidade, porta de acesso ao ventilador basculante, ligações de fluido frigoriférico no interior viradas para cima, adaptador de condutas, pleno de aspiração, manga têxtil e *streamer*.

A bateria de controlo de humidade tem a função de reaquecer o ar e baixar a humidade relativa do mesmo. Fica posicionada na saída de ar, a jusante da bateria de frio. O ar é arrefecido até uma temperatura inferior à pretendida e seguidamente aquecido até à temperatura ambiente desejada. A bateria de controlo de humidade pode ser eléctrica, a gás quente ou a água quente.

A resistência de gola, como a da Figura 22, impede que a água solidifique o bocal do ventilador, depois da descongelação da bateria, impedindo o gelo de bloquear as pás do ventilador. É usada em arrefecimento em baixas temperaturas, na ordem dos -15°C com direcção de ar horizontal.



Figura 22 – Resistência de Gola

O adaptador de conduta, exemplificado na Figura 23, está disponível para evaporadores cúbicos do tipo aspirante e é recomendado onde a distribuição suave e uniforme do ar é vital.



Figura 23 – Adaptador de Conduta

O *streamer*, ilustrado na Figura 24, aumenta consideravelmente a projecção de ar e apenas está disponível para evaporadores cúbicos do tipo aspirante.



Figura 24 – Streamer

A versão *standard* dos evaporadores Centauro destina-se exclusivamente à refrigeração por compressão, com utilização de fluidos frigorigéneos do grupo dois, aqueles que refrigeram substâncias pela absorção do seu calor sensível (fluidos frigorigéneos simples, misturas zeotrópicas, misturas azeotrópicas e compostos inorgânicos).

Cada um dos componentes do evaporador é pré-montado na forma de uma blindagem estável. A blindagem é executada em chapa lisa ou protegida por *epoxy*. Um terminal de ligação à terra é fornecido para a ligação do evaporador à terra depois da instalação no local de funcionamento.

4.3.3. Tipologia dos Condensadores

A versão *standard* dos condensadores Centauro destina-se exclusivamente à refrigeração por compressão. Garante a troca de energia térmica entre o ar ambiente e os fluidos frigorigéneos do grupo 2 (refrigerantes simples, misturas zeotrópicas, misturas azeotrópicas e compostos inorgânicos).

As gamas de condensadores centauro incluem tubos protegidos por blindagem e inseridos em alhetas com ventiladores montados nas mesmas. Adicionalmente os condensadores são equipados com vários componentes na versão *standard*, tais como:

- ✓ Pés de suporte fornecidos em separado (gama ACH) ou suportes em U já montados e ajustáveis em altura;
- ✓ Suportes em forma de U, pré-montados, ajustáveis em altura (Gamas ACH e ACI com mais de 4 ventiladores, ACP, ACPD e ACJ);

No anexo III.A encontra-se o esquema construtivo dos evaporadores Centauro e no anexo III.B pode consultar-se o seu princípio de funcionamento.

➤ **Bloco Alhetado**

O bloco alhetado é constituído por tubos de cobre sem costura, alhetas em alumínio com superfícies e bordas onduladas., curvas e tubagem de cobre. Para evitar uma excessiva queda de pressão, o fluido frigorífero é distribuído através de um colector para um certo número de circuitos.

Os colectores são também de cobre e estão fixos à blindagem.

A concepção dos circuitos é feita de forma a que a bateria funcione na horizontal e na vertical.

A pressão de serviço é de 28 bar e a pressão de teste de fugas é realizada a 31 ± 1 bar.

➤ **Moto-ventiladores**

Os motoventiladores são do tipo rotor externo, disponíveis em versão de corrente alternada (AC) e em corrente eléctrica contínua (EC). Têm protecção térmica externa e são de classe F ou B.

Os ventiladores estão instalados em compartimentos individuais, com uma geometria de 1 a 6 ventiladores com construção em uma fileira ou 2,4,6,8,10 ou 12 ventiladores com construção em duas fileiras, axiais com rotor externo, pás do ventilador e grelhas.

Os condensadores Centauro da gama ACM são equipados com motores AC monofásicos (230V/1~/50Hz) com uma só velocidade e protecção térmica interna ou trifásicos (400V/3~/50Hz).

Nos condensadores da gama ACH a maioria dos modelos estão disponíveis com motores AC monofásicos (230V/1~/50Hz) com uma velocidade e protecção térmica interna e em alternativa com motores trifásicos (400V/3~/50Hz) com duas velocidades (Y/ Δ) e protecção térmica externa. A utilização da comutação Y/ Δ permite aos motores trifásicos rodarem a duas velocidades.

➤ **Blindagem**

A blindagem dos condensadores Centauro consiste numa blindagem resistente à intempérie feita em alumínio liso ou chapa galvanizada pintada a *epoxy*.

Podem ter um painel de ventilação com ou sem gola. Também está disponível a construção em V, que permite uma menor ocupação de espaço.

A Tabela 4 resume as características principais dos condensadores Centauro.

Tabela 4 – Características dos Condensadores Centauro

Modelo	Geometria Alhetas	Espaçamento Alhetas (mm)	Ø Ventiladores	Potência (kW)	Desenho (Anexos)
ACP	1/2 ‘‘	2.1	800	45 – 329	Anexo III.C
ACPD		2.1		133 – 658	
ACI	1/2 ‘‘	2.1	630	26 – 279	Anexo III.D
ACH	1/2 ‘‘	2.1	500	10.4 – 109.6	Anexo III.E
AC	5/16 ‘‘	2.1	154, 172, 200, 230, 254, 300, 315, 350, 400, 450, 500	0.17 – 6.73	Anexo III.F
ACM	3/8 ‘‘	2.1		3.47 – 52.20	
ACJ	1/2 ‘‘	2.1	910	72 – 400	Anexo III.G
VAC	1/2 ‘‘	2.1	910	70 – 517	Anexo III.H
VACD		2.1		131 - 938	

➤ Acessórios e Componentes Opcionais

Para além dos acessórios e componentes opcionais enunciados nos evaporadores, os condensadores Centauro podem ainda conter um interruptor de serviço, apoios antivibráticos, motores de comutação electrónica e variador de velocidade.

O interruptor de serviço, ilustrado na Figura 25, é pré ligado para cada ventilador ou grupo de ventiladores. É colocado na blindagem e tem a função de ligar e desligar o ventilador quando são necessários trabalhos de manutenção.

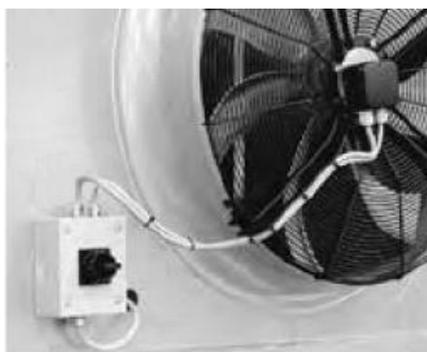


Figura 25 – Interruptor de serviço

Os apoios antivibráticos minimizam a propagação de vibrações e ruídos à estrutura, no entanto não têm a capacidade de os eliminar por completo. Devem ser alinhados tal como se indica na Figura 26.

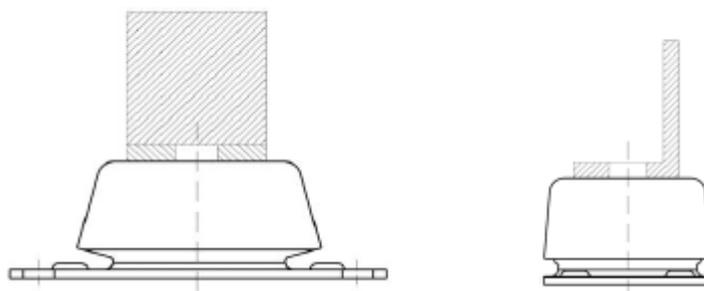


Figura 26 – Alinhamento dos Apoios Antivibráticos

Os motores de comutação electrónica possuem um sistema electrónico integrado e apresentam várias vantagens face aos motores AC de três fases, tais como: maior eficiência e a necessidade de utilizar pouca cablagem para a ligação na rede AC.

O variador de velocidade é controlado por variações de pressão e de temperatura. Este dispositivo converte a frequência da rede para outra frequência e assim controla a velocidade do motor proporcionalmente à frequência.

4.3.4. Novas Tecnologias Adoptadas

○ Geração *Quíron*

Os vectores de força da geração *QUIRON* estão presentes em todos os novos produtos Centauro. A adopção da geração *QUIRON* levou à utilização de matérias-primas de primeira qualidade, duráveis e com um elevado potencial de reciclagem, utilização de ventiladores de elevada eficiência, utilização de tubos de cobre sem costura em detrimento do tubo soldado, recurso a novos índices de corrugação das alhetas em detrimento da utilização de alhetas rasgadas, utilização de diferentes geometrias tubo/alheta em função da aplicação, opção pelo cálculo de permutadores com baixa perda de carga no circuito primário, utilização de permutadores alhetados menos profundos de forma a reduzir a potência absorvida pelos ventiladores e utilização de brasagem testada, actualizada e certificada.

Para além da alteração nos materiais e nos processos construtivos, a geração *Quíron* caracteriza-se por:

- Construção compacta e suportada por uma estrutura metálica que protege a bateria e na qual se podem aplicar motoventiladores;

- Grandes caudais de ar com elevado valor de pressão estática disponível;
 - Redução do volume interno e da carga do refrigerante;
 - Equipamentos com eficiência de permuta de calor optimizada;
 - Melhoria da eficiência energética dos equipamentos;
 - Redução do potencial de risco de fugas no circuito do fluido frigorífero.
- **Expansão Directa para *Chillers***

O frio industrial sempre se baseou no amoníaco bombado ou inundado. Nos últimos anos a expansão directa para *chillers* com pequenas quantidades de amoníaco tem vindo a surgir, bem como a expansão directa em camaras mesmo com temperaturas de evaporação inferiores a -15°C/-17°C.

Existe uma outra via que passa por *chillers* de expansão directa a amoníaco, com baixo conteúdo de fluído frigorífero (45 Kg de R717 para 500 kW), com capota e meios de protecção para eventuais fugas, que alimenta os sistemas refrigerados com glicol.

Para grandes capacidades, estão a usar-se *chillers* de amoníaco inundados, que arrefecem o glicol e condensam o R717 a baixa temperatura, em sistema bombado.

Para a construção de recipientes sob pressão e permutadores, os novos fluídos frigoríferos e as suas especificações trouxeram grandes desafios aos fabricantes. Foram criadas ligas de cobre com ferro para evitar a migração para o tubo inox.

○ **ErP**

No que respeita ao *eco-design*, ErP, eficiência energética e baixos níveis de ruído, as novas normas e *standards* de consumo tornaram-se bastante mais exigentes, o que levou a uma adaptação gradual da Centauro.

No caso dos ventiladores que provocam circulação forçada através dos permutadores, em 2000 o desafio passou a ser a ErP 2013 e a ErP 2015 que apontavam para níveis de eficiência mínimos difíceis de atingir. Em 2004 começou a ser promovida a comutação electrónica em motoventiladores para refrigeração, os conhecidos EC.

A Centauro foi o primeiro cliente líder de mercado nesta tecnologia a aceitar o desafio de aplicar os EC, num projecto à escala real.

A ErP aponta para níveis de eficiência tão elevados que se perspectiva que em 2020 70% dos motoventiladores sejam da tecnologia EC.

A tecnologia EC trouxe uma nova gama de condensadores em V, com ventiladores radiais e evaporadores DX a R744 para bombas de calor. (Anexo IV.A)

- **Equipamentos de Controlo**

Os equipamentos de controlo das instalações também foram alvo de progressos, nos quais a electrónica assumiu a sua posição (transdutores de pressão, sondas de temperatura e humidade, caudalímetros, autómatos e válvulas de expansão electrónica por impulsos).

4.3.5. Lançamento de Produtos Inovadores

A Centauro tem no mercado uma vasta gama de produtos para diversas aplicações. As soluções mais inovadoras passam pelos seguintes equipamentos:

- Evaporadores TFC, uma solução específica para câmaras de fruta e vegetais não embalados, com redução das *rows* de tubos que são atravessados pelo ar. A gama TFC disponibiliza pressão estática extra nos ventiladores na ordem dos 50 Pa.

Nesta gama são disponibilizadas duas alternativas: a aspirante e a premente. A diferença passa fundamentalmente pelo fluxo de ar que na primeira alternativa é mais turbulento enquanto que na segunda alternativa é mais laminado (Anexo IV.B);

- Evaporadores cúbicos para amoníaco (SAHE) MTI/DDI/DLI/DXI, com espaçamento entre alhetas de 7/8", representam uma solução *standard* com ventilação aspirante bateria e com um número reduzido de *rows* em profundidade, no sentido do ar.

Estes evaporadores possuem um tabuleiro de esgoto otimizado e recorrem a ventiladores de rotor externo de elevada eficiência. São uma solução específica para câmaras de produtos de origem animal (Anexo IV.C);

- Abatedor da gama BSUD, que representa uma solução construtiva do tipo duplo fluxo vertical, com tubos horizontais para optimização do escoamento do fluido frigorígeno e do óleo, e minimização das perdas de carga nos circuitos da bateria de frio. Contém ventilação premente sobre a bateria e blindagem em inox (Anexo IV.D);

- Condensadores ACR, alternativos à ventilação centrífuga ACC, que apresentam maior eficiência energética (Anexo IV.E);

- Evaporadores MBX/DBX para aplicação em camaras frigoríficas ate 40m² (Anexo IV.F);

Recentemente a Centauro brindou o mercado com os seguintes produtos:

- Central em cascata para temperaturas extremamente reduzidas (+12°C/-70°C);
- Centrais para arrefecimento de ar a R717, R744 subcritica e R744 transcritica;
- *Gás Coolers* para arrefecimento adiabático de ar com alheta seca;
- Unidades compactas de condensação *Night Star*.

Os folhetos de apresentação destes novos produtos encontram-se no anexo IV.G.

No sítio da internet www.centauro.pt, a empresa disponibiliza todos os dados técnicos dos equipamentos referidos, bem como catálogos com todo o universo de produtos que fabrica.

4.4. Processos Produtivos

A transparência dos processos produtivos, utilizados pelos fabricantes, reforça os elos de confiança para com os consumidores. A Centauro valoriza a honestidade e a clareza, categorizando os seus clientes como parceiros, e neste âmbito possui um manual de processos bastante elucidativo acerca dos métodos de fabrico, que envia aos seus clientes ou potenciais clientes.

No anexo V encontram-se os diagramas de produção de permutadores de calor de tubos de cobre, permutadores de calor de tubos inox e grupos de condensação, publicados no manual de processos da empresa.

4.4.1. Permutador de Calor do tipo tubo alhetado (alheta contínua)

- **Alhetas**

As alhetas são produzidas através de uma ferramenta de estampagem progressiva, que transforma as bobines de alumínio em alhetas, de acordo com as especificações do projecto.

As alhetas produzidas pela Centauro, para permutadores de calor de tubos de cobre, podem ter as seguintes tipologias:

- Tubo de 7.95 mm (5/16'') – 25.4 x 22 mm escalonada;
- Tubo de 9.52 mm (3/8'') – 25.4 x 22 mm escalonada e 31.75 x 27.5 mm escalonada;

- Tubo de 12.7 mm (1/2'') – 38.1 x 32.9 mm escalonada;
- Tubo de 15.14 mm (5/8'') – 49.3 x 31.5 mm escalonada, 60.0 x 32.9 mm escalonada e 60.0 x 51.96 mm escalonada.

Por outro lado, se as alhetas se destinarem a permutadores de calor de tubos inox, assumem a seguintes tipologias;

- Tubo de 15.14 mm (5/8'') - 60.0 x 32.8 mm escalonada; e 60.0 x 51.96 mm escalonada;
- Tubo de 22.22 mm (7/8'') – 65.43 x 56.64 mm escalonada.

O material em rolo para a produção das alhetas (*fins stock*) é instalado no desenrolador da prensa e puxado até à ferramenta progressiva que de acordo com o comprimento da alheta pode ter diferentes números de estações de transformação, desde a folha lisa até a alheta com colarinhos.

Inicialmente produziam-se alhetas em blocos através da estampagem tipo molde de uma prensa excêntrica.

A ferramenta progressiva trouxe a possibilidade de fabricar alhetas contínuas e está equipada com:

- Punções para a produção dos colarinhos das alhetas e para os furos das resistências;
- Dispositivos para prensarem a superfície da alheta, que pode ser lisa ou ondulada sem rasgos (dente de serra, *sine wave*), ou com rasgos (persiana, *rised tab*);
- Ferramenta para configuração do bordo de ataque e fuga da alheta, que pode ser liso ou ondulado (*rippled edges*);
- Moldes progressivos instalados em prensas excêntricas modernas, com controlo electrónico.

A Figura 27 ilustra o processo de fabricação de alhetas na Centauro.



Figura 27 - Processo de alhetamento

- **Tubos**

Os tubos para os permutadores alhetados são fornecidos em bobinas *level wound coils* (LWC) que alimentam dois tipos de máquinas.

A primeira operação é calibrar a ovalização e provocar uma ligeira extrusão para endurecer o tubo macio da bobina.

Posteriormente e de forma automática, os tubos são transformados em tubos direitos ou em *hairpins* (tubos em U).

Após a produção, os tubos são lavados e secos em automático para remover algumas limalhas resultantes do processo de fabrico.

- **Formação do Bloco Alhetado**

Após a fabricação das alhetas e dos tubos procede-se à formação do bloco alhetado.

Inicialmente é feita a entubagem da bateria na qual os tubos são introduzidos nas alhetas sobre uma mesa de montagem de favos.

Segue-se uma das mais importantes operações no processo de fabrico: a expansão dos tubos aos colarinhos das alhetas, cuja qualidade irá contribuir de uma forma bastante significativa nas propriedades de transferência de calor entre o tubo e a alheta do permutador.

Existem diversos métodos para realizar o procedimento de expansão, tais como:

- Por pressão hidroestática, que representa um método mais económico e é pouco recomendado;
- Através de balas impulsionadas por óleo a alta pressão, método pouco utilizado;
- Por expansão mecânica seca, em contínuo, por *pulling* ou *pushing*. É um método progressivo que garante a não redução das paredes do tubo, uma vez que estes reduzem substancialmente em comprimento durante o processo.

A expansão mecânica seca, em contínuo é a opção das empresas mais modernas, tais como a Centauro. Para realizar este procedimento a Centauro dispõe de:

- *Flexpanders* de controle manual, de dois tubos por ciclo, que expandem até seis metros de tubo alhetado (para cobre e inox);
- *Flexpanders* multi tubos, de quatro a doze tubos por ciclo, com controlo CNC (comando numérico computacional), que expandem até nove metros de tubo alhetado;

- Torres de expansão verticais, com capacidade máxima de duzentos tubos por ciclo, que expandem até dois metros de tubo alhetado (para cobre);

A Figura 28 ilustra o processo de expansão dos blocos alhetados, realizado na Centauro.

Após a expansão é feito o desengorduramento do bloco alhetado, uma vez que é usado óleo mineral na estampagem das alhetas.



Figura 28 - Expansão dos blocos alhetados

- **Fecho do circuito primário (feixe de tubos)**

De acordo com o projecto em curso e com os cálculos efectuados, os tubos são interligados, formando o número adequado de circuitos que garantam uma boa transferência de calor, retorno do óleo e sobreaquecimento, entre outros parâmetros característicos do tipo de escoamento.

A interligação faz-se através de soldadura e esta pode realizar-se por dois métodos distintos:

- Brasagem ou soldadura por capilaridade, aplicada quando o fluído primário não é o amoníaco, tipicamente utilizada em tubos de cobre.

Por opção, a Centauro só utiliza o método de brasagem em tubos de inox quando especificado pelo cliente, uma vez que nos casos em que o amoníaco é o fluido secundário, as eventuais fugas destroem a brasagem e quando é solicitada a utilização de inox, por norma, é porque o cliente enfrenta problemas de corrosão e a brasagem seria o método mais desadequado.

- Soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) manual para inox;

Na Figura 29 pode observar-se o processo de brasagem e soldadura de baterias na Centauro.



Figura 29 - Brasagem e soldadura de baterias

- **Produção de Colectores**

Os colectores fazem a ligação entre os circuitos, de acordo com o projecto do permutador.

Existem dois tipos de colectores: em caixa (usados em sistemas de compressão ou absorção de vapor e grandes permutadores) e em tubo de cobre ou inox.

A produção de colectores realiza-se em quatro fases:

- Corte à dimensão pretendida, por serra ou por laser de fibra;
- Fecho dos topos em cobre, por *spinner* de alta velocidade (que realiza o referido fecho por fricção e força centrífuga). Os fechos podem ser do tipo copado ou do tipo plano. Acima de DN65 utilizam-se fundos de compra e é, portanto, necessário brasá-los aos colectores;
- Produção dos *tilts* que podem ser cilíndricos para furos com gola, cortados em automático ou cilíndricos com anel para furos sem gola;
- Furação dos colectores para colocação dos *tilts* – a furação pode ser realizada através de broca com colarinho repuxado ou com laser sem colarinho.

A furação e brasagem dos colectores é feita de acordo com os procedimentos de cálculo da EN 13445-3.

- **Produção de distribuidores**

Os distribuidores são do tipo *Venturi* e produzidos a partir de vara de latão ou inox.

São colocados num torno especial para fazer a espinha cónica com multifuros de saída e um furo de entrada. Posteriormente, o tronco cilíndrico é desbastado nouro torno

(com controle manual ou CNC de acordo com as quantidades por modelo), para obtenção da forma cônica.

Paralelamente são produzidos *tilts dx* especiais, em conformidade com os requisitos norma holandesa STEK e adoptados pela Centauro há mais de 25 anos.

Os requisitos da norma STEK estão relacionados com as boas práticas de engenharia no que à brasagem por capilaridade diz respeito. Assim, a Centauro garante que a brasagem dos capilares aos *tilts dx* e destes aos tubos dos permutadores é efectuada sob condições técnicas e operacionais que asseguram a existência de zonas paralelas com tolerância entre si e a linha com a brasagem por capilaridade.

Posteriormente os capilares que fazem a interligação entre o distribuidor e os *tilts dx*, se forem de cobre são brasados ao distribuidor de latão, em máquina especial controlada por infravermelhos ou então são soldados por TIG ao distribuidor inox, se forem deste mesmo material.

○ **Produção de Blindagem (Casing)**

De forma a reduzir a pegada de CO₂, a Centauro optou pela aquisição de alumínio, chapa galvanizada e zinco em bobinas, que são colocadas numa desenroladora e cortadora que corta estes materiais à medida para minimizar o desperdício após o *nesting* de aproveitamento de chapa.

A menos que o projecto em curso justifique a compra de bobines com uma medida específica, a um *service center*, a chapa é comprada em balotes de dimensão *standard*.

Também no âmbito da contribuição para a redução da pegada de CO₂, mais de 80% da chapa utilizada é de alumínio por este tratar-se de um material leve, resistente à corrosão e reciclável. Produzir alumínio a partir de sucata de alumínio traduz-se numa redução de 90% de consumo de energia em relação à sua produção a partir de bauxite.

Os processos tradicionais de transformação de chapa passavam por:

- Máquina de desbobinar e cortar à medida;
- Quinadeiras e guilhotinas de alimentação manual e controlo CNC;
- Máquina de corte de cantos;
- Máquina de configuração de abas em tabuleiros;
- Prensa hidráulica para estampagem de 250 toneladas;
- Prensas excêntricas para estampagem e corte.

Actualmente, os processos modernos para transformação da chapa passam pelos seguintes equipamentos:

- Punçadora Trumpf 200 para pequenos trabalhos;

- Centro de maquinação automático da chapa composto por armazém vertical automático com robot de movimentação e alimentação de chapa;
- Punçadora industrial com ligação ao robot, modelo 5000;
- Punçadora industrial combinada a um laser e com ligação ao robot, modelo 6000;
- Robot de quinagem com quinadeira dedicada e interligada, para dobragem e fabrico de peças especiais;
- Paneladora de ultima geração, sem hidráulica, totalmente eléctrica (Figura 30);



Figura 30 - Paneladora Prima Power

- Máquina de corte a laser especial, que corta latão, cobre, alumínio, aço e inox em chapa (armazém automático) e em tubo (armazém semiautomático), visível na Figura 31;



Figura 31 - Máquina de corte a laser para corte e furação de chapa e tubo

- Máquina de soldadura automática dos cantos, por TIG.

Por fim é feita a aplicação dos elementos de fixação dos mais variados tipos, desde o cravamento aos berbequins pneumáticos ou eléctricos.

- **Serralharia**

As instalações da Centauro dispõem de um pavilhão para os procedimentos de serralharia pesada, que se encontra equipado com duas calandras especiais e outros equipamentos de corte, assemblagem e soldadura.

- **Pintura**

Para realizar o processo de pintura, a Centauro dispõe de:

- Linha automática de decapagem por granalha de aço industrial, para a decapagem a metal branco das estruturas de ferro;
- Cabina de decapagem por granalha de aço manual para limpeza a metal branco dos colectores e fundos copados a aço;
- Linha de pintura líquida para retoques e cores especiais de acabamentos ou peças que não entram na linha de pintura electrostática, com estufas de cura;
- Linha de pintura a pó electrostática com robots, ciclones e cabina de pintura para mudança de cor em quinze minutos (Figura 32);



Figura 32 - Instalação de pintura electrostática a pó

- Tuneis de desgorduramento e preparação superficial da chapa, lavagem, secagem e cura a +170°C/+200° através de queimadores de gás de última geração preparados para peças com comprimento até sete metros.

Na Figura 33 pode visualizar-se o túnel de lavagem, o túnel de secagem e o forno existentes nas instalações da Centauro.



Figura 33 - Túnel de Lavagem; Túnel de Secagem; Forno

4.4.2. Grupos de Condensação

Os grupos de condensação são fabricados numa secção própria para o efeito, que recebe os componentes de outras áreas da fábrica.

Nesta secção é feito o *assembly* puro, com muito pouca maquinação. Está equipada com máquinas de dobrar os tubos de cobre com diâmetro nominal até 50, tem uma instalação de detecção de fugas e um armazém com peças e condensadores e dispõe ainda de meios modernos de brasagem.

A Figura 34 ilustra um grupo de condensação Centauro.



Figura 34 - Grupo de condensação Centauro com quadro eléctrico

4.4.3. Centrais Frigoríficas

Tal como nos grupos de condensação, também o fabrico de centrais é feito em secção própria, excepto o chassis que é feito na serralharia.

Nesta secção é feito o *assembly* puro, recorrendo a pouca maquinação. Está equipada com máquinas de dobrar os tubos de cobre industriais com diâmetro nominal até 65 e os tubos de aço até diâmetro nominal 125, o que minimiza os processos de brasagem e soldadura.

Tem uma instalação de detecção de fugas, um armazém de peças, e uma área dedicada ao isolamento das tubagens.

Tanto os grupos de condensação, como as centrais, são considerados produtos de valor acrescentado.

4.5. Materiais

○ Alhetas - Fins Stock

O material em rolo para a fabricação de alhetas (alumínio) tem as seguintes características:

- *Mill finished*;
- Sem *coating* ou *pré coated*;
- *Epoxy* com ou sem protecção UV (ultra-violeta);

○ Tubos

Os tubos dos permutadores de calor podem ser construídos em diversos materiais, de acordo com as opções que a Centauro privilegia, com o fluido frigorigéneo e com as especificações do cliente.

- Cobre – Pode ter paredes lisas interiores (*smooth tube*) ou alhetas interiores. Com alhetas interiores existem as opções de tubo soldado em contínuo piramidal (*crossed fin*) e tubo com alhetas *grooved*, sem costura. Por razões de segurança e de opção em linha com os parâmetros de qualidade, a Centauro apenas utiliza o tubo de alhetas *grooved*. Estes tubos são aplicados em permutadores de calor de alta eficiência e reduzido volume interno. O cobre é adquirido essencialmente à Techtube da Kabemmetal;
- Inox – Normalmente é utilizado o 316 L, que é *standard* na Centauro ou o 304L que é fornecido em alternativa;
- Alumínio - Em liga especial, usado fundamentalmente para aplicações a amoníaco, no entanto a entrar em desuso.
- Outras ligas especiais, tais como o titânio, para aplicações especiais.

○ Blindagem dos Equipamentos

O material para a blindagem dos equipamentos é o alumínio, que é comprado em bobinas. Em termos de composição, são adquiridas três tipos de ligas que seguem a norma alemã DIN EN 573-3:

- Liga 5005, H14, referência Centauro ALI (alumínio liso inox);
- Liga 8006-0, referência Centauro ALBC (alumínio lacado branco Centauro);
- Liga 3003, H24

As tolerâncias dimensionais dos três tipos de ligas estão de acordo com as especificações da EN 485-2.

As características mecânicas das ligas 5005 e 3003 seguem as recomendações enunciadas na EN 485-2 e as características mecânicas da liga 8006-0 seguem as recomendações da TSN 328.

As bobinas de alumínio também são caracterizadas por determinados parâmetros, tais como:

- Largura: 1500mm;
- Centro em cartão, excepto na espessura de 2.0 mm;
- Interior do rolo com 500 mm no mínimo e exterior com 880 mm no máximo;
- Peso máximo: 2000 Kg
- Rolo com estiva vertical sobre estrado de madeira com barrotes e sílica gel no interior;
- Uma cinta metálica a proteger o alumínio e duas contas metálicas a fixar o estrado ao topo;
- Envolvimento em Plástico.

4.6. Exportação, Competitividade e Concorrência Externa

4.6.1. Exportação

Tal como referido anteriormente, a empresa deu início à exportação dos seus produtos, nos primeiros anos de existência enquanto ainda era detentora do nome Castanheira Henriques e C^a Lda.

Actualmente, num contexto de crise económica e financeira internacional, o comportamento das exportações portuguesas ganha uma importância acrescida enquanto determinante do crescimento económico.

O comportamento das exportações está dependente da capacidade que as empresas têm em aumentar a sua produção e colocá-la nos mercados internacionais a preços competitivos.

Para o grupo Centauro a exportação para os mercados do centro / norte da Europa sempre funcionou como motor de desenvolvimento, de forma a encontrar novos mercados e novas aplicações dos seus produtos, o que resulta na necessidade de acompanhar, em termos técnicos e tecnológicos, o que de melhor se faz nesses mercados. Actualmente exporta com regularidade para Reino Unido, Holanda, Alemanha, Espanha, América do Sul (Venezuela e Colombia), África (Angola e Moçambique) e Magreb (Argélia, Marrocos e Tunisia), como ilustra a Figura 35.

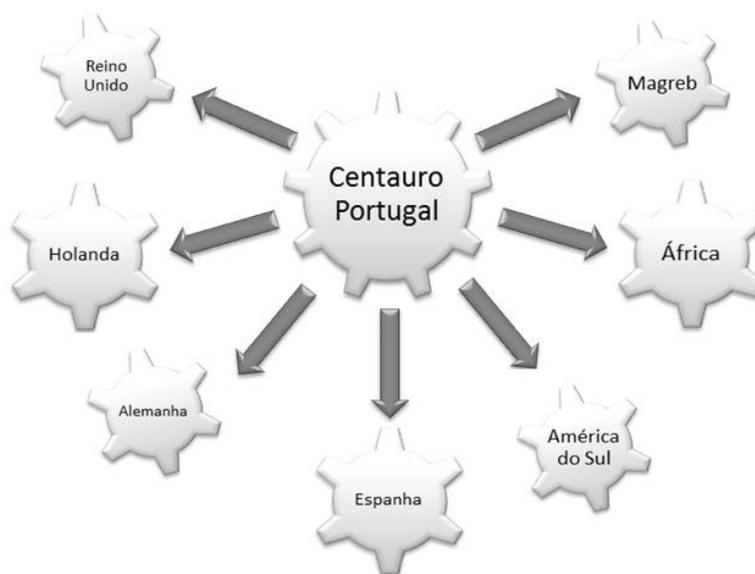


Figura 35 - Mercados de Exportação

O desenvolvimento técnico e tecnológico da Centauro é sustentado pelo desenvolvimento de parcerias vencedoras com fornecedores e clientes e, quando necessário, com centros de competência nacionais e estrangeiros. Esta forma de “trabalhar em equipa” permite à empresa estar presente de modo activo em diversas frentes, com soluções técnicas das mais evoluídas e inovadoras a nível do sector de Refrigeração e AVAC.

No anexo VI pode visualizar-se o panfleto publicitário de 2016, onde constam os fornecedores da Centauro e mercados de exportação.

4.6.2. Competitividade

Existe uma grande oferta de produtos similares, com características muito próximas e certificações idênticas, o que torna o sector de AVAC&R um mercado muito competitivo.

Num contexto geral, é visível a presença de produtos oriundos da Ásia (especialmente acessórios), Turquia e Europa (acessórios, equipamentos eléctricos e equipamentos térmicos de circulação de fluidos).

Dos Estados Unidos têm vindo a surgir, cada vez com mais frequência, os equipamentos térmicos e do Oriente as unidades de ar condicionado.

Para fazer face à elevada competitividade do sector, a estratégia da Centauro passa por:

- Ter tecnologia própria e produtos de série;
- Ter um Sistema de Garantia de Qualidade eficiente e certificado;
- Desenvolver actividades de investigação e desenvolvimento tecnológico, com soluções ensaiadas e aprovadas;
- Fornecer o rigoroso apoio pré e pós-venda;
- Seleccionar parceiros comerciais pela sua capacidade técnica e experiência de mercado.

Face à retracção económica, a empresa fez esforços no sentido de potenciar vectores que permitem o ganho de nichos de mercado e novos clientes.

Assim, as acções tomadas pela Centauro passaram por:

- Lançar novas gamas de equipamentos para frio industrial e patentear internacionalmente um novo conceito de evaporador para climatização industrial de baixa temperatura;
- Apostar na exportação para o centro e norte da Europa, bem como para o mercado espanhol;
- Investir em processos de produção mais modernos;
- Criar parceiros comerciais e uma rede comercial de forma a encurtar a distância entre o fabricante e o instalador;

A Centauro apostou em nivelar por cima, pelo que a partir de Castelo Branco fornece directamente os grandes instaladores e grandes fabricantes e via rede comercial fornece os pequenos/médios instaladores e fabricantes.

Em análise está a possibilidade de investir numa nova unidade industrial em Espanha.

4.6.3. Concorrência Externa

No mercado, a concorrência aumenta a competitividade levando benefícios aos compradores. Por outro lado, também contribui para o desenvolvimento do mercado, o que leva à necessidade de novas soluções, melhoria dos processos de fabrico, investigação, desenvolvimento e inovação.

A análise dos concorrentes mais significativos é um excelente indicador das condições futuras da indústria e o conhecimento dos seus movimentos e capacidade de reacção a eventuais alterações de mercado, são factores a ter em conta.

Torna-se assim evidente a necessidade de observação permanente da concorrência, para que uma empresa consiga obter alguma vantagem competitiva e manter-se na linha da frente do sector.

Assim, os principais concorrentes da Centauro, na área de fabricação de permutadores de calor, são:

- Carrier/Profroid/Fincoil/Linde/Electrolux (Estados Unidos da América e França)
- Grupo Luvata; Luve Contardo e CROCCO (Itália)
- Grupo Alfa Laval – Helpman THOR (Suécia)
- Heatcraft – FRIGA BOHN e Morgana
- Thermokey (Itália/Espanha/Portugal)
- Garcia Câmara, EXKAL, KID, FRIMETAL e KOBOL (Espanha)
- Grupo Kelvion, Thermofin, Roller e Cabrero (Alemanha)
- Coolers and Condensers e TTCoil (Reino Unido)

No que toca à área de fabricação de grupos de condensação e centrais, a concorrência divide-se em dois segmentos. No primeiro segmento estão os fornecedores de compressores da Centauro (que são paralelamente fornecedores e concorrentes), entre os quais:

- BITZER (Alemanha);
- Frascold e Dorin (Itália);
- Danfoss (Dinamarca/China/Índia)
- Copeland (Bélgica/República Checa)
- GEA-Bock (Alemanha)

No segundo segmento estão as empresas que são somente concorrentes, tais como:

- Carrier/Profroid/Linde (Estados Unidos da América/França)
- Daikin-Zanotti (Japão/Itália/Espanha)
- GEA (Alemanha)
- Advansor (Dinamarca)
- Bicol e Rivacold (Itália)
- Samifi (França)
- Compactos Frigoríficos, KID e Intercom (Espanha)

5. Caso de Estudo – Parte II: Testes de Controlo de Qualidade e Certificação. Investigação e Desenvolvimento

5.1. Controlo de Qualidade

O plano de qualidade do grupo Centauro Portugal resulta da avaliação da operacionalidade do Sistema de Gestão de Qualidade, no sentido da definição das acções distribuídas, tendo como base os objectivos, indicadores e metas estabelecidas para cada um dos processos.

Os objectivos da qualidade são estabelecidos anualmente em Conselho de Qualidade, mediante a análise de relatórios das auditorias e dos indicadores de qualidade existentes.

Para assegurar um bom funcionamento e comunicação entre os diversos departamentos, a direcção de qualidade encontra-se estruturada hierarquicamente, como ilustra a Figura 36.

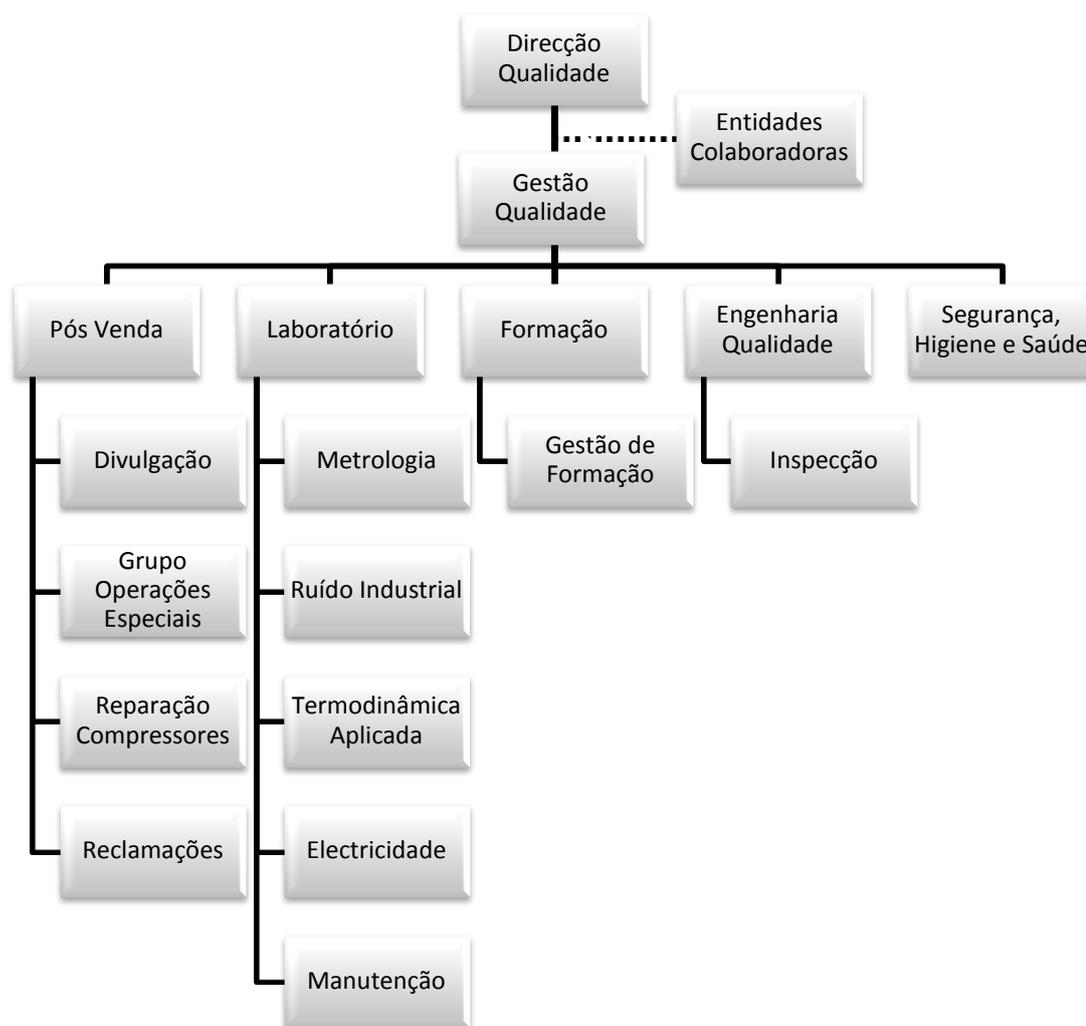


Figura 36 - Organograma da Direcção de Qualidade

No âmbito do controlo de qualidade, são realizados ensaios e testes na recepção das matérias-primas, durante o processo de fabrico e na inspecção final dos equipamentos.

5.1.1. Na Recepção de Matérias-primas

Na fase de homologação são feitos ensaios de aptidão ao uso e compatibilidade com as máquinas da Centauro.

✓ Alumínio

A amostragem é baseada nas normas MIL STD 105E, segundo o nível I de inspecção-geral e pode ser feita segundo três critérios: reduzida, normal e rigorosa.

São realizados testes de dobragem, quinagem e desempenho da pré-lacagem na dobragem da chapa versus espessura da mesma.

O alumínio é lacado até à espessura de 2 mm e deve admitir a dobragem nos eixos paralelos e perpendicular ao eixo da bobina, sem aparecimento de rugosidade denominada casca de laranja.

Para além do desempenho do material, são controlados outros parâmetros, tais como a embalagem (inspecção visual), o certificado do fabricante, o peso e os diâmetros interno e externo da bobina.

No anexo VII encontram-se as folhas de preenchimento obrigatório, aquando a recepção do alumínio e realização dos testes.

- ✓ *Fins stock* para alhetamento – Verificação do comportamento do material nos moldes de produção de alhetas (altura da gola *versus* espessura, superfície das alhetas e respectivos bordos de ataque e fuga);
- ✓ Tubagem de Cobre ou Inox – Testes de dobragem, expansão, soldadura ou *burst test*;
- ✓ Motoventiladores e resistências – Testes de segurança eléctrica, aptidão de uso, desempenho e ruído;
- ✓ Elementos de fixação – Conformidade aos requisitos especificados e análise da qualidade dos materiais.

5.1.2. No Processo de Fabrico

De acordo com os procedimentos constantes no Manual de Qualidade da empresa, os testes efectuados durante a produção visam garantir, via auto controle, a conformidade do produto às especificações contratadas com o cliente.

- Alhetas

Após a fabricação das alhetas, os controlos principais passam por:

- Verificação da qualidade de expansão: colarinhos rebentados, superfície das alhetas e respectivos bordos;
- Contagem do número de *rows*, número de tubos e colarinhos por *row*;
- Medição do espaçamento entre colarinhos.

- Após o fecho do circuito primário

- Teste de estanqueidade que pode ser do tipo pneumático ou hidroestático. No tipo pneumático com azoto ou ar seco (5 a 10 ppm no máximo) até 60 bar, o teste é realizado por imersão em tanque de água, com ou sem agitação. No tipo hidroestático, até 320 bar, é realizado em *gás coolers* ou para testes de rebentamento, para suporte ao processo de melhoria e certificação de fabrico. Quando o teste do tipo hidroestático é realizado apenas como teste de pressão, se a aplicação se destinar ao uso de fluidos frigorigéneos com escoamento bifásico, o circuito tem que ser esvaziado e seco em estufa a elevadas temperaturas, estando este sempre ligado a bombas de vácuo e circuito de azoto. A secagem é feita por ciclos alternados de vácuo profundo e sopragem de azoto, até se obter valores de 5 a 10 ppm de humidade no seu interior.

- Ensaios destrutivos, realizados em instalações especiais, por amostragem aleatória de material soldado.

Para além dos testes referidos, podem ainda ser retiradas peças dos equipamentos para controlo metrológico ou outro tipo de controlo.

Os testes de estanqueidade são feitos a 100% dos permutadores produzidos, quer seja para pequenas unidades de arrefecimento de circuitos eléctricos ou para grandes condensadores e evaporadores.

5.1.3. Inspeção Final

Na inspeção final são realizados diversos testes aos equipamentos que atribuem a conformidade ou não conformidade destes. Com os testes de inspeção final conformes ao especificado é emitido um protocolo de inspeção final que funciona como veículo de entrada dos equipamentos nos armazéns de produto acabado.

- Testes de segurança eléctrica conforme a directiva de baixa tensão e a directiva de máquinas;
- Conformidade às fichas de produto, com medição e registo escrito das cotas controladas e da conformidade dos componentes ou detalhe de execução;

- Testes metrológicos realizados por um técnico especializado, nos quais são geridas as calibrações internas dos equipamentos. Os equipamentos de referência são enviados para laboratórios externos acreditados, tais como ISQ (Instituto de Soldadura e Qualidade), LIQ (Laboratório Industrial de Qualidade), TAP (Transportes Aéreos de Portugal) e LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil). Para dar suporte à calibração interna, para além dos equipamentos calibrados externamente e que servem de referência após análise metrológica, a Centauro dispõe ainda de diversos equipamentos de apoio tais como caixa de blocos padrão, consolas de medição, calibres, entre outros;
- Testes de pintura efectuados através equipamento para registo automático de parâmetros de pintura, medidores de espessura de recobrimento para metais ferrosos e não ferrosos, medidores de aderência e de dobragem. Quando necessário, a empresa recorre ainda a testes de nevoeiro salino ou testes específicos para determinadas aplicações;
- Testes em Laboratório, tais como:
 - Teste calorimétrico, realizado com um calorímetro construído e explorado pela empresa. A par da capacidade, são ainda desenvolvidos testes de desempenho e aptidão de uso, num intervalo de temperaturas de -70°C a $+70^{\circ}\text{C}$;
 - *Test bench* para painéis adiabáticos entre $+20^{\circ}\text{C}$ e $+40^{\circ}\text{C}$ e com humidades relativas de 20% a 90%. O *test bench* também permite comparar o desempenho das várias geometrias de alhetas;
 - *Close loop* para teste de permutadores em reparação;
 - Teste de ruído realizado com sonómetro e medidor de vibrações, realizado por operadores formados e homologados para o seu uso;
 - Teste termográfico realizado por técnicos formados e homologados para o efeito;
 - Visualização do fluxo de ar nos equipamentos e nos espaços sob temperatura dirigida, realizada através de máquina de fumos;
- Outros testes acordados com os clientes que podem passar por testes de funcionamento dos equipamentos à escala real ou reduzida em laboratório.

A concepção e desempenho dos permutadores é testada com fluidos frigoríficos sintéticos simples ou misturas zeotrópicas ou azeotrópicas e refrigerantes naturais.

A Figura 37 resume o planeamento do controlo de qualidade realizado pela empresa.

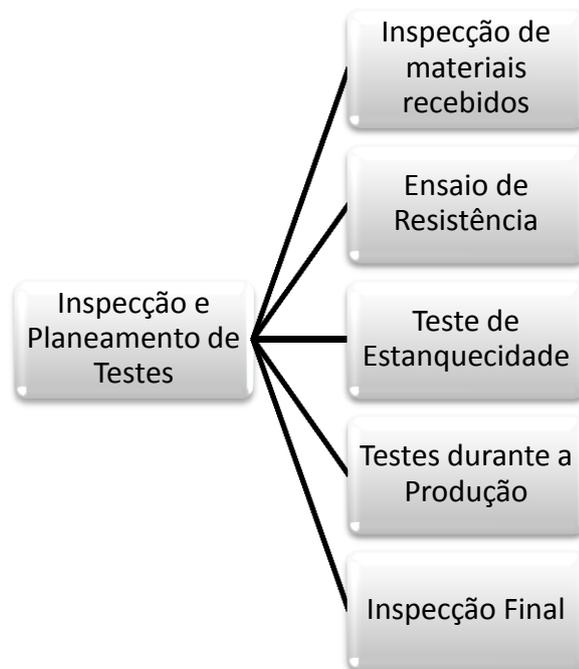


Figura 37 - Planeamento do controlo de qualidade realizado pela Centauro

5.2. Certificação

A fabricação de permutadores de calor é suportada pelo Sistema de Avaliação de Qualidade Centauro, certificada pelo IQNET/APCER, de acordo com a ISO 9001:2008, com certificado nº PT.1993/CEP.106. Para além disso, a Centauro conta ainda com a certificação de outras entidades:

- ISQ – Certificação de colectores, soldaduras e permutadores a amoníaco;
- Certificação SASO (*Saudi Arabian Standards Organisation*), validações e avaliações em laboratórios externos conceituados em várias TUV (*Technischer Uberwachungs-Verein*);
- Sistema de Gestão de Qualidade Centauro que assenta num conjunto de documentos, ordenado estruturalmente, como se pode ver na Figura 38.

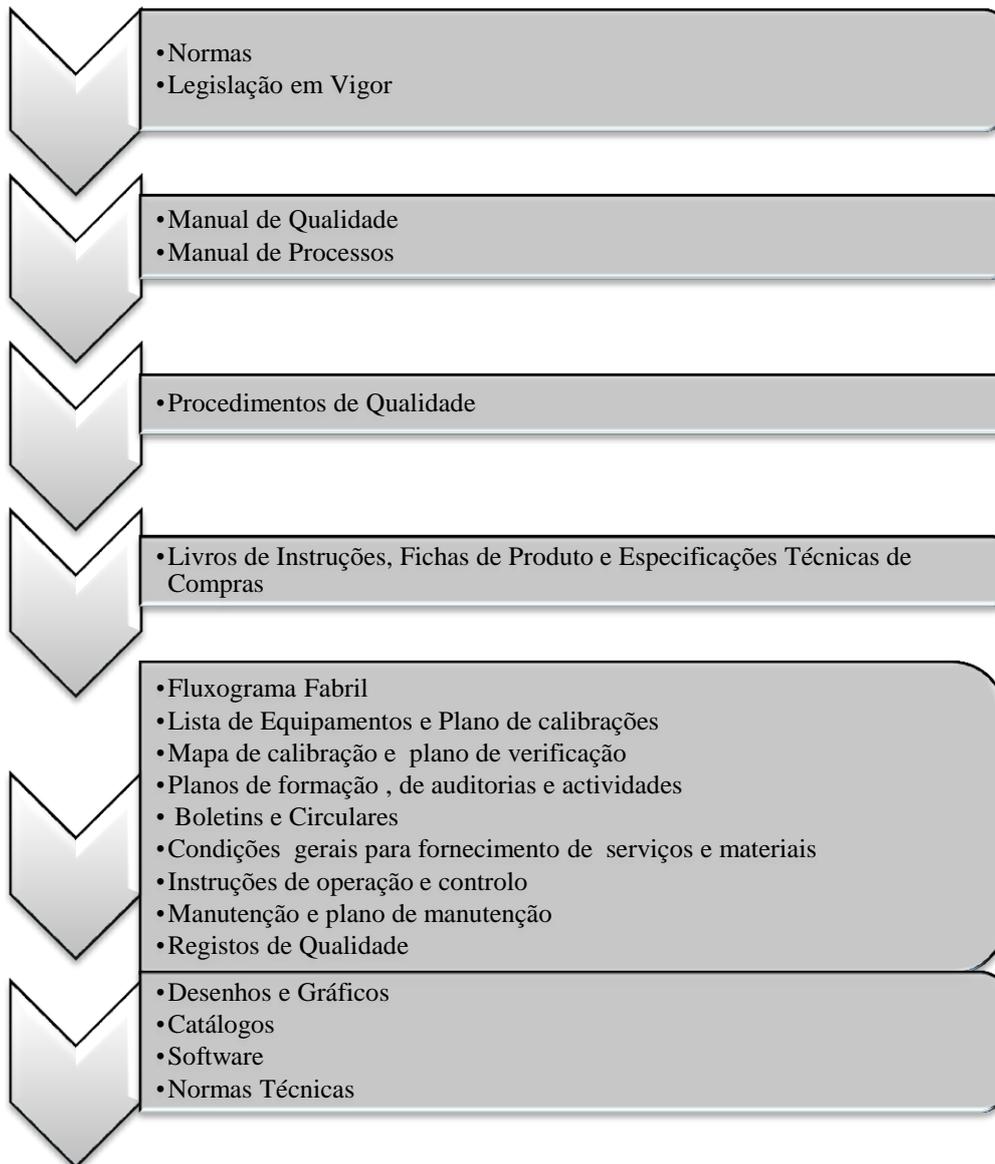


Figura 38 - Estrutura resumida de documentos na Centauro

Parcerias com estabelecimentos de ensino, nomeadamente *Delft* na Holanda, Universidade Politécnica da Catalunha, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco e pontualmente Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra e Instituto Pedro Nunes.

A construção e execução de projectos é ainda apoiada por requisitos dos seguintes documentos:

- Directiva 97/23/CE, relativa a equipamentos de pressão;
- Directiva 2006/42/CE – Directiva de máquinas;
- Directiva 2006/95/CE, relativa a equipamentos eléctricos de baixa tensão;
- Normas harmonizadas aplicadas:
 - EN 378:2008 - Normas de segurança para sistemas de refrigeração;

- EN 378-1 - Requisitos básicos, definições, classificação e critérios de selecção para sistemas de refrigeração;
- EN 378-2 - Construção, concepção, testes e identificação dos sistemas de refrigeração;
- EN 287-1 – Testes e qualificação de soldadores;
- EN 288-3 – Especificações e qualificação dos processos de soldadura;
- EN 571-1 – Testes não destrutivos;
- EN 1289 – Testes não destrutivos sobre juntas soldadas e níveis de aceitação;
- EN 10204 – Certificados de Inspeção;
- EN 10271-7: Tubos de aço inox;
- EN 12735-1 e 12735-2 – Cobre e ligas de cobre: Tubos para sistemas de canalização (parte 1) e especificações das ligas de aço (parte 2);
- EN 12133 – Brasagem, aprovação do método.
- EN 13134 – Brasagem, aprovação de procedimentos;
- EN 13445-3 – Design dos receptores de pressão;
- EN 13445-5 – Ensaio e Inspeção de recipientes de pressão;
- EN 13480-3 e 13480-4 – Projecto de tubagem metálica industrial e fabrico e instalação de tubagem metálica industrial, respectivamente;
- EN 14276-1 e 14276-2 – Equipamentos sob pressão para refrigeração: receptores e tubagem.

5.3. Investigação e Desenvolvimento

A I&D (investigação e desenvolvimento) representam actividades que formam um conjunto de fases que permitem a descoberta de novos conhecimentos e a sua aplicação no surgimento de novos produtos.

No contexto actual, em que se presencia um mercado extremamente competitivo, a I&D é uma mais valia para fazer face ao futuro.

Independentemente do âmbito, todas as investigações têm como objectivos a procura de conclusões e o contributo para a melhoria de algo.

5.3.1. I&D na Centauro

O conteúdo tecnológico associado aos processos produtivos representa uma das características que permite aumentar o desenvolvimento da actividade industrial.

A existência de novas tecnologias permite a descoberta de novos produtos e serviços de maior qualidade bem como a optimização dos processos produtivos.

A necessidade de acompanhar, em termos técnicos e tecnológicos a inovação observada nos mercados de exportação, levou à criação de um laboratório I&D na Centauro.

O laboratório de I&D e testes foi criado em 1988, sendo os seus equipamentos certificados por entidades certificadores e laboratórios independentes.

Na Figura 39 podem ver-se as instalações laboratoriais da Centauro.



Figura 39 – Instalações Laboratoriais da Centauro

O laboratório I&D da Centauro é dotado de aparelhos fundamentais a qualquer processo de investigação científica e tecnológica e de aparelhos específicos, como os que se enunciam seguidamente:

- Calorímetro de parede dupla;
- Anel de teste para permutadores de calor;
- Banco de ensaios para sistemas DFAC e permutadores de calor;
- Equipamento para ensaios termográficos;
- Central em cascata para temperaturas de evaporação de -82°C ;
- Sistemas de produção de frio por expansão directa;
- Sistemas de descongelação (por ar, eléctrico, por gás quente, híbrido, por água e por alternância de permutadores);
- Sistemas de aquisição, registo e transmissão de dados (temperatura, pressão, humidade relativa, caudais, velocidade) e controlo de proximidade;
- Centrack (Caldeira e *Chiller*);
- Analisadores de corrente;
- Gerador de 60 Hz.
- Equipamento portátil para auditorias e investigação no terreno.

Para além das soluções Centauro e das tecnologias mencionadas no capítulo anterior, fruto da vertente de investigação e desenvolvimento da empresa, existem projectos em curso, a saber:

- ✓ Modularização das gamas existentes.
- ✓ Nova geração de condensadores EVO/EVOD.
- ✓ Centrais para CO₂/R744 subcríticos e transcíticos.
- ✓ Centrais para amoníaco / R717.
- ✓ Sistemas para -75°C para Biotecnologia;
- ✓ Tuneis de congelação pré-fabricados para Angola.
- ✓ *Gás coolers* e condensadores adiabáticos para amoníaco (R717), CO₂ (R744).
- ✓ Aplicação tecnologia EC (motores eléctricos) em baixa temperatura até -40°C.
- ✓ Nova geração de permutadores para propano.
- ✓ Recuperação de energia em instalações frigoríficas com medidas activas e passivas.
- ✓ Alargamento da utilização da água (R718) enquanto refrigerante de futuro.
- ✓ Desenvolvimento de soluções electrónicas de controlo, monitorização e registo com acesso controlado a nível de acompanhamento frigorífico.

5.3.2. I&D em Portugal

Portugal não se encontra na linha da frente no que toca à investigação e desenvolvimento do sector da refrigeração. A escassez de investimentos e infra-estruturas para o efeito, a actual crise económica e a supremacia do norte da Europa são as principais causas apontadas.

No entanto, cada vez mais são unidos esforços para contrariar a tendência, por parte de diversas entidades.

Os fabricantes de equipamentos, pela necessidade de acompanhar o desenvolvimento tecnológico e lançar no mercado produtos competitivos, as entidades certificadas (Fundação para a Ciência e Tecnologia, o Instituto de Soldadura e Qualidade, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Laboratório de Tecnologia e Metrologia de Vácuo, ADAI, entre outros), os programas de financiamento (como Programa Específico de Desenvolvimento da Industria Portuguesa) e os estabelecimentos de ensino superior (através de unidades de I&D a eles associadas) são os principais responsáveis pelas investigações no sector, desenvolvidas ao longo dos últimos anos.

A pesquisa científica também tem dedicado esforços para melhorias relacionadas com a problemática energética em sistemas de refrigeração, tais como a avaliação de consumos de energia dos equipamentos e indicadores de eco-eficiência.

Na última década, grande parte do desenvolvimento e inovação dos sistemas de refrigeração tem sido consolidado com a utilização de sistemas electrónicos para controlar e otimizar o seu funcionamento.

Dentro deste contexto e porque há que valorizar o que é nosso apresentam-se, no Anexo VIII, os trabalhos de investigação mais recentes e relevantes nas diversas vertentes da refrigeração, efectuados em território nacional e publicados perante a comunidade científica [78] a [97].

6. Conclusões e Perspectivas Futuras

A refrigeração compreende a remoção de calor de um meio, através da redução da temperatura, mantendo-se essa condição por meios mecânicos ou naturais. As suas principais aplicações são a viabilização de processos, processamento e conservação de produtos e climatização para conforto térmico.

Por sua vez, o frio industrial não é mais do que refrigeração aplicada em larga escala, com especial presença na indústria, nomeadamente em unidades fabris de processamento e conservação de alimentos e em instalações frigoríficas de armazenamento.

A aplicação de frio industrial, aos géneros alimentares em particular, pode ocorrer por refrigeração, congelação ou ultracongelação, i.e., a aplicação de técnicas criogénicas, sendo estes métodos distintos entre si fundamentalmente pela gama de temperaturas utilizada.

Esta aplicação fundamenta-se em tecnologias de alto custo, sendo necessários elevados investimentos para garantir não só a coesão entre os elos base de um sistema de refrigeração, desde o projecto à concepção, bem como a inexistência de lacunas ao longo da cadeia de frio.

Devido a imposições políticas, o frio industrial foi tardiamente introduzido em Portugal. O Estado Novo desvalorizava o desenvolvimento industrial e durante muito tempo conseguiu manter-se afastado de tudo o que envolvesse a importação de tecnologias e o conceito de inovação.

No entanto perante valores mais altos, tais como a dependência da dieta mediterrânica da sazonalidade com que determinados alimentos eram obtidos, foi implementada a Rede Nacional de Frio.

O projecto da Rede Nacional de Frio foi inspirado em instalações frigoríficas que na época já existiam na Alemanha e integrava os Planos Rodoviário e Ferroviário Nacionais e a rede de Matadouros.

A Rede Nacional de Frio era concessionada pelo estado e destinava-se essencialmente ao transporte e armazenamento de alimentos perecíveis, nomeadamente o peixe.

Após a difícil introdução do Frio Industrial em Portugal, rapidamente se conseguiu acompanhar a evolução tecnológica que já se fazia sentir em outros países da Europa e nos Estados Unidos.

Actualmente, a referida Rede Nacional de Frio integra todos os sectores que utilizam o frio industrial e a sua concessão é feita por empresas privadas.

Em território nacional começaram a surgir os primeiros fabricantes de equipamentos de refrigeração e desde logo houve a consciencialização de que esta era uma área em contante desenvolvimento e com muitas necessidades de especialização.

Actualmente existem poucos fabricantes de equipamentos de frio industrial. Em contraste abunda a vertente comercial, através de empresas de instalação e montagem que importam grande parte dos equipamentos que instalam.

No entanto, o escasso sector das indústrias metalomecânicas dirigidas à produção de equipamentos de frio industrial, no nosso país, encontra-se num patamar muito próximo dos países tecnologicamente mais desenvolvidos.

Um dos fabricantes mais conceituados em Portugal é a Centauro Portugal SGPS.

Desde a sua fundação que a Centauro tem desenvolvido diversos esforços no sentido de acompanhar as tecnologias mais recentes, quer a nível de materiais utilizados, de métodos de funcionamento dos equipamentos, como a nível dos processos de fabrico, tendo sempre em mente alguns factores tais como: fiabilidade, durabilidade, eficiência e redução do impacto ambiental.

Após a investigação realizada nesta unidade industrial, deve realçar-se toda a sua importância e contributo para o desenvolvimento do país, a diversos níveis:

- ✓ Do ponto de vista da logística interna, a Centauro é um modelo a seguir. Cada tarefa, cada processo e cada acção são executados sequencialmente e em local apropriado. Este parâmetro adquire especial importância não só num contexto de organização, mas também pelo facto de cada local estar correctamente provisionado para segurança e bem-estar dos funcionários. A título exemplar pode referir-se a zona de pintura que está equipada com a ventilação adequada de forma a que o ar não fique contaminado com os químicos presentes nas tintas.
- ✓ Do ponto de vista do aumento da taxa de empregabilidade e de formação, uma vez que a Centauro não só cria postos de trabalho como também aposta na formação e especialização dos seus trabalhadores.
- ✓ Do ponto de vista da oportunidade de integrar a engenharia portuguesa no mundo, a nível de desenvolvimento e concepção, uma vez que a empresa tem um vasto mercado de exportação;
- ✓ Do ponto de vista da protecção do ambiente promovida pela empresa, através da selecção de matérias-primas menos poluentes e da compatibilidade que existe entre

os materiais utilizados na fabricação de equipamentos e os fluidos frigorigêneos permitidos pela legislação;

- ✓ Do ponto de vista da importância que a actividade de I&D e os ensaios têm no desenvolvimento de projectos.

Na Centauro o desenvolvimento de um novo projecto ou a optimização de um projecto já existente processa-se por quatro etapas: Investigação, Desenvolvimento, Demonstração e Aplicação.

Estas quatro etapas têm dois focos em comum: a qualidade e o futuro, na medida em que são observadas as tendências do mercado e assim é possível inovar, estar sempre na vanguarda e fazer uma antecipação dos factos, o que propicia vantagens competitivas.

Num modelo teórico ideal, um fabricante de equipamentos destinados à produção de frio industrial teria autonomia e independência para fabricar todos os componentes e acessórios constituintes destes. No entanto, no caso da Centauro, este modelo não se verifica uma vez que os fornecedores de alguns componentes são também parceiros da empresa. Esta é considerada uma parceria estratégica que beneficia ambas as partes.

O resultado deste esforço reflecte-se na quantidade de anos em que a empresa opera no mercado, nos mercados de exportação e parcerias conseguidas e na sua conceituada posição no sector da refrigeração em Portugal.

A preocupação com a eficiência energética é um dos principais impulsionadores de pesquisas sobre refrigeração e sistemas de produção de frio.

Neste contexto e em resposta à redução do impacto ambiental provocado pelos processos de fabrico dos equipamentos, têm sido desenvolvidos diversos estudos com vista à melhoria dos processos produtivos e da eficiência energética do produto final.

São levadas a cabo investigações, em diversos campos, com o objectivo de futuramente possibilitarem a optimização dos processos de fabrico, bem como do funcionamento dos próprios equipamentos.

No entanto, grande parte dos estudos possuem custos elevados face à capacidade tecnológica actual, quer a nível de materiais, de isolantes com reduzida condutividade térmica, de motores de velocidade variável, da utilização de armazenamento térmico nas instalações, da avaliação da distribuição de temperatura e de ar no interior do espaço refrigerado, entre outros.

Uma das formas de contornar esta situação é a utilização de *softwares* computacionais que permitem simular e incrementar precisão nos parâmetros necessários, demonstrando os problemas existentes no processo em questão.

O panorama da investigação e desenvolvimento em Portugal começou a alterar-se com a criação do primeiro ministério dedicado à ciência e à tecnologia, que promoveu fortemente uma política que conferisse prioridade à inovação.

No entanto o país ainda releva um atraso estrutural a nível do seu desempenho inovador.

Não existe uma cultura de I&D vincada nos empresários nacionais e as falhas de mercado relegam a inovação para segundo plano.

Para vencer o referido atraso estrutural, o país deve munir-se de programas integrados de apoio à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias.

É através do investimento em ciência e tecnologia que os processos de industrialização se tornam viáveis e permitem a oferta de produtos e serviços de qualidade superior, a preços competitivos.

Perspectiva-se que no futuro exista mais financiamento e incentivos direccionados à investigação dos sistemas de produção de frio industrial, realizados em Portugal, uma vez que, após a validação dos modelos computacionais, apenas os protótipos em condições reais de funcionamento, tornam a implementação das novas soluções viável.

É também espectável que futuramente, exista uma optimização do *design* dos equipamentos de frio industrial, aliada a uma selecção de componentes de qualidade superior, com principal incidência nos moto-ventiladores e nos sistemas de descongelação dos evaporadores, uma vez que estes são os principais responsáveis pelo consumo de energia eléctrica.

Quanto à utilização de fluídos frigorigéneos, as perspectivas são que num futuro próximo, todos os fluídos potenciadores da destruição da camada de ozono e do aumento do aquecimento global sejam substituídos por fluídos frigorigéneos naturais, sem qualquer impacto sobre o ambiente.

Referências Bibliográficas

- [1] Instituto Nacional de Estatística. Estatísticas de Produção Industrial (2000-2012). Consultado a 14/12/2015. Disponível em www.ine.pt.
- [2] Eurostat, Statistical Aspects of the Energy Economy in 2009. Consultado a 19/12/2015. Disponível em <http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-statistics-in-focus/-/KS-SF-10-043>.
- [3] Santos, F. (2008). *Sebenta da Unidade Curricular Instalações Frigoríficas*. ISEL. Lisboa.
- [4] Industrial Refrigeration Handbook. (2004). *The refrigeration and freezing food*, capítulo 17. Digital Engineering Library.
- [5] Chagas, J. (2013). *Projecto e Construção de Câmaras Frigoríficas*. York Refrigeration. Contracting Division. Joinville-SC
- [6] Gaspar, P., Pitarma, R. (2003). *Avaliação das condições de transporte e exposição de produtos alimentares perecíveis conservados em frio*. Disponível em http://webx.ubi.pt/~dinis/Papers/art_clme_03.pdf.
- [7] Stoecker, W. F., Jabardo, J. M. (2002). *Refrigeração Industrial*, 2ª Edição. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo.
- [8] Pinto, J., Neves, R. (2010). *Análise de Riscos no Processamento Alimentar*. Publíndustria Edições Técnicas. Porto.
- [9] American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers – ASHRAE. (1986). *Handbook of Refrigeration Systems and Applications*. Atlanta.
- [10] Koelet, P. C. (1992). *Industrial Refrigeration – Principles, Design and Applications*. The Macmillan Press, Ltd
- [11] Dossat, R. J. (2004). *Principles of Refrigeration*, 5ª Edição. Prentice Hall.
- [12] Garbutt, J. (1997). *Essentials of Food Microbiology*. Londres, Reino Unido.
- [13] Dias, M. A. (2007). *Congelação de Alimentos em Restaurantes*, capítulo 2. Alicontrol – Tecnologia e Controlo de Alimentos, Lta.
- [14] Archer, D. L. (2004). Freezing: an underutilized food safety technology?. *International Journal of Food Microbiology*, n.º 90.
- [15] Lidon, F., Silvestre, M. (2008). *Conservação de Alimentos – Princípios e Metodologias*. Escolar Editora. Lisboa.
- [16] Jay, J. M., Loessner, M. J, Golden, D. A. (2005). *Modern Food Microbiology*, 7ª Edição. Springer. USA.

- [17] Árjarov, A., Marfénina, I., Mikulin, E. (1990). *Sistemas Criogénicos*. Editorial Mir Moscú.
- [18] Linde (2005). *Aplicações dos gases*. Consultado a 12/01/2016. Disponível em <http://www.lindegas.com.br/International/Web/Lg/BR/Likelgbr.nsf/0/A82AF7EC3F282C3106256DE800213934>.
- [19] Duminil, M. (2003). IIR Young Researches Awards: The scientists after whom these prizes are named. Brief history of their lives, Part II. *Bulletin of the IIR*. N°2003-1.
- [20] Sahin, E. et al. (2007). Ensuring Supply Chain Safety Trough Time Temperature Integrators. *The International Journal of Logistics management*. Vol 18.
- [21] Ovca, A., Jevsnik, M. (2007). Maintaining a Cold Chain from Purchase to the home and at home: Consumer Opinions. *Food Control*. n° 20.
- [22] – Decreto-Lei n.º 342/98. *Diário da República, I Série-A, N.º256*, de 5 de Novembro de 1998. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Lisboa.
- [23] – Decreto-Lei n.º152/2005. *Diário da República, I Série-A, N.º167*, de 31 de Agosto de 2005. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.
- [24] – Decreto-Lei n.º 113/2006. *Diário da República. I Série-A, N.º113*, de 12 de Junho de 2006. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Lisboa.
- [25] – Decreto-Lei n.º 147/2006. *Diário da República. I Série-A, N.º146*, de 31 de Julho de 2006. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Lisboa.
- [26] – Decreto-Lei n.º 207/2008. *Diário da República. I Série-A, N.º206*, de 23 de Outubro de 2008. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Lisboa.
- [27] – Decreto-Lei n.º67/2014. *Diário da República. I Série-A, N.º 87*, de 7 de Maio de 2014. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- [28] – Portaria n.º53/71. *Diário do Governo. I Série, N.º28*, de 3 de Fevereiro de 1971. Ministério da Economia, das Corporações e Previdência Social da Saúde e Assistência. Lisboa.
- [29] – Portaria n.º 584/2007. *Diário da República. I Série-A, N.º 89*, de 9 de Maio de 2007. Ministério das Finanças e da Administração Pública, do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, da Economia e da Inovação, da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, do Trabalho e da Solidariedade Social e da Saúde.Lisboa.
- [30] – Portaria n.º 789/2007. *Diário da República. I Série-A, N.º140*, de 23 de Julho de 2007. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento

Regional, da Economia e da Inovação, da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas e da Saúde. Lisboa.

[31] – Regulamento (CE) n.º 2037/2000 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Junho de 2000. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º L 244*. Comunidade Europeia. Bruxelas.

[32] – Regulamento (CE) n.º 178/2002 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 28 de Janeiro de 2002. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º L 31*. Comunidade Europeia. Bruxelas.

[33] – Regulamento (CE) n.º 408/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Março de 2003. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º L 62*. Comunidade Europeia. Bruxelas.

[34] – Regulamento (CE) n.º 852/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Abril de 2004. *Jornal oficial das Comunidades Europeias n.º L 139*. Comunidade Europeia. Bruxelas.

[35] – Regulamento (CE) n.º 853/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Abril de 2004. *Jornal oficial das Comunidades Europeias n.º L 226*. Comunidade Europeia. Bruxelas.

[36] – Regulamento (CE) n.º 854/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Abril de 2004. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º L 139*. Comunidade Europeia. Bruxelas.

[37] – Regulamento (CE) n.º 37/2005 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Janeiro de 2005. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º L 10*. Comunidade Europeia. Bruxelas.

[38] – Regulamento (CE) n.º 842/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de Maio de 2006. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º L 161*. Comunidade Europeia. Bruxelas.

[39] – NP 1524. (1987). *Norma Portuguesa para o transporte terrestre de produtos perecíveis*. Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Tecnologia. Lisboa.

[40] - NP EN 378. (2008). *Norma Portuguesa/Norma Europeia para Sistemas Frigoríficos e Bombas de Calor: Requisitos de Segurança e Protecção Ambiental*. Comité Europeu de Normalização. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.

[41] - NP EN 1861. (2000). *Norma Portuguesa/Norma Europeia para Sistemas Frigoríficos e Bombas de Calor: Diagramas Esquemáticos*. Comité Europeu de Normalização. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.

- [42] - EN 13313. (2010). *Norma Europeia para Sistemas Frigoríficos e Bombas de Calor: Competências do Pessoal*. Comité Europeu de Normalização. Bruxelas.
- [43] - NP EN 12178. (2005). *Norma Portuguesa/Norma Europeia para Sistemas Frigoríficos e Bombas de Calor*. Comité Europeu de Normalização. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- [44] - NP EN 14276/2. (2009). *Norma Portuguesa/Norma Europeia para Equipamentos sob Pressão para Sistemas Frigoríficos e Bombas de Calor. Parte 2: Tubagens – Requisitos Gerais*. Comité Europeu de Normalização. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- [45] - NP EN ISO 22000:2005. (2005). *Norma Portuguesa/Norma Europeia para Sistemas de Gestão da Segurança Alimentar*. Comité Europeu de Normalização. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- [46] – Comissão das Comunidades Europeias. (2000). *Livro Branco sobre a Segurança dos Alimentos*. Bruxelas.
- [47] –Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization. *Codex Alimentarius*. Disponível em <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/about-codex/en/>.
- [48] – Associação de Restauração e Similares e Portugal. (2002). *Higiene e Segurança Alimentar: Código de Boas Práticas*. ARESP. Lisboa
- [49] - Comissão de Produtos Alimentares e Segurança Alimentar da Associação Portuguesa de Empresas de Distribuição. (2007). *Código de Boas Práticas de Distribuição Alimentar*. APED. Lisboa.
- [50] – Instituto Internacional do Frio. (1976). *Guia para Armazenamento Frigorífico*. França.
- [51] – Kharagpur, E.E., *et al.* (2008). *Refrigeration & Air Conditioning*. Índia.
- [52] – Dinçer I. (2003). *Refrigeration Systems and Application*. Wiley.
- [53] – Litwak, D. (1999). *Cold as its weakest link*, Supermarket Business, nº54.
- [54] – Reif-Acherman, S.(2012). The early ice making in the nineteenth century, *International Journal of Refrigeration*. Vol 35, nº5.
- [55] – Horowitz, R. (2006). *Putting meat on the american table*. John Hopkins University Press. Baltimore, Maryland. USA.
- [56] – Câmara Municipal do Cadaval. Consultado a 15/01/2016. Disponível em: <http://www.cm-cadaval.pt/News/newsdetail.aspx?news=25df70f1-ac12-4db4-88bb-7928cb593067>

- [57] – Custódio, J. (2008). *A Bem da Nação. A tecnologia do frio industrial na conservação de alimentos. O caso dos armazéns frigoríficos de bacalhau do Porto e de Lisboa*, In *Museu do Oriente: De armazém frigorífico a espaço museológico*. Fundação Oriente. Lisboa.
- [58] – Folgado, D. (2008). *A Caixa de Frio Artificial. A Confromação de um lugar na Lisboa dos anos 40*. In *Museu do Oriente: De armazém frigorífico a espaço museológico*. Fundação Oriente. Lisboa.
- [59] – Garrido, A. (2000). *Análise Social. Políticas de abastecimento no segundo pós-guerra: A Organização das Pescas*, Vol 35, nº 156. Instituto Ciências Sociais da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- [60] - Nussenzveig H. (1986). *Curso de Física Básica – Fluídos, Oscilações e Ondas, Calor*. Editora Edgard-Blucher.
- [61] - Trindade, T. *et al.* (2005). *Compressão e Frio Industrial – Modelação e Simulação de Unidades Processuais*. ISEL. Lisboa.
- [62] – Segunda Lei da Termodinâmica. Consultado a 26-01-2016. Disponível em: http://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/segunda_lei/segunda_lei.html
- [63] – Ciclos de Refrigeração. Consultado a 26/02/2016. Disponível em http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/322606/mod_resource/content/2/12%20-%20Ciclos%20de%20refrigerac%CC%A7a%CC%83o_2015.pdf
- [64] – Refrigeração e ar condicionado. Consultado a 18/10/2015. Disponível em <http://pt.slideshare.net/mjmcreatore/apostila-ar-cond>.
- [65] – Agência Portuguesa do Ambiente – Protecção da camada de ozono. Consultado a 19/12/2015. Disponível em <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=83>
- [66] – Agência Portuguesa do Ambiente – Protocolo de Quioto. Consultado a 05/03/2016. Disponível em <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>
- [67] - Kim, et al. (2011). *A review of major chlorofluorocarbons and their halocarbon alternatives in the air, Atmospheric Environment*. Vol. 45/7. DOI:10.1016/j.atmosenv.2010.12.029.
- [68]- Dinçer, I., Kanoglu, M. (2010). *Refrigeration systems and applications*. 2ª Edição, John Wiley & Sons Ltd.
- [69] - Bolaji, B., Huan, Z. (2013). *Ozone depletion and global warming: Case for the use of natural refrigerant – a review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 18.
- [70] - Ferreira, V., Lamas, F., Cardoso, B., Gaspar, A., Ribeiro, J. (2014). *An overview of the refrigeration facilities in Portuguese agro-food industries: energy consumption and*

refrigerants, In VII Iberican and V Ibero-American Congress of Refrigeration Sciences and Technologies. CYTEF 2014. Tarragona.

[71] - Monteiro, V. (2005). *Novas Técnicas de Refrigeração Comercial em Hotelaria*. Volume I. LIDEL.

[72] - Elementos do circuito de refrigeração. Consultado a 01/02/2016. Disponível em [http://paginas](http://paginas.fe.up.pt/~ee99259/projecto/Documentos/Elementosrefrigeracao.pdf).

[.fe.up.pt/~ee99259/projecto/Documentos/Elementosrefrigeracao.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~ee99259/projecto/Documentos/Elementosrefrigeracao.pdf).

[73] – Wang, S. (2001). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*, 2nd Edition. Mc Graw-Hill.

[74] – Portal da refrigeração. Consultado a 5/01/2016. Disponível em http://www.refrigeracao.net/Topicos/o_que_e_refrigeracao.htm

[75] - Costa, E. (1982). *Refrigeração*, 3^a Edição. Editora Edgard Blucher Ltda.

[76] – Sporlan. (2001). *Thermostatic Expansion Valves*. Washington, EUA.

[77] – Centauro Portugal. Consultado a 12/06/2016. Disponível em www.centauro.pt.

[78] – Alexandre M., Ferreira A., Fonseca I.(2000). *Solubilities of some new refrigerants in water*. Department of Chemical Engineering, University of Coimbra. DOI: <http://hdl.handle.net/10316/3832>.

[79] – Nunes, J., Domingues, C., Dinho, P., Pitarma, R. (2000). *Avaliação termográfica de instalações de Refrigeração*. In Congresso Luso Moçambicano de Engenharia. Maputo. DOI: <http://hdl.handle.net/10400.11/1146>.

[80] - Dinis, C. (2012). *Captação de vapor de água em sílica gel para sistema de refrigeração a vácuo*. Dissertação de Mestrado inserida no trabalho de investigação sobre refrigeração evaporativa a vácuo. Coimbra. DOI: <http://hdl.handle.net/10316/20431>.

[81] – Neves, P., Gaspar, P., Silva, P., Nunes, J., Andrade, L. (2013). *Cool-Op: Cooling Optimization Program- Ferramenta computacional para avaliação da eficiência energética de empresas de frio industrial no sector alimentar*. In International Conference on Engineering 2013. Disponível em http://inovenergy.inovcluster.pt/media/25525/UBI_2.pdf

[82] - Alexandra,M., Freitas, S., Lamas, B., Abreu, B., Calisto, H., Martins, N., Oliveira, M. (2013). *Recent Progress in Carbon Nanotubes Research , Book 2 - Carbon Nanotubes in a Fluidic Medium: Critical Analysis*. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/51965> 2013

[83] – Brito, P., Lopes, P., Reis, P., Alves, O. (2014). *Simulation and optimization of energy consumption in cold storage chambers from the horticultural industry*. In 5th International Congress on Energy and Environmental Engineering and Managment. DOI: 10.1007/540095-014-0088-2.

- [84] – ADAI. (2014). *Tecnologias Emergentes - Projecto Elaborado no âmbito da InovEnergy*. Disponível em www.inovenergy.inovcluster.pt/media/28554/Tecnologias_Emergentes_Relatorio.pdf.
- [85] – Brites, G., Costa, J., Costa, V. (2013). *Sustainable Refrigeration based on the solar adsorption cycles*. In 2nd IIR International Conference on Sustainability and the cold chain. Paris. Disponível em http://inovenergy.inovcluster.pt/media/29412/SUSTAINABLE_REFRIGERATION_BASED_ON_THE_SOLAR_ADSORPTION_CYCLE.pdf.
- [86] – Augusto, C., Ribeiro, J., Gaspar, A. Costa, J. (2014). Low-pressure vaporization of free water – characterization of the boiling regimes. *International Journal of Thermal Sciences*, 77/19. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2013.10.006.
- [87] – Augusto, C., Costa, J., Adélio, R., Ribeiro, J. (2014). Development calibration and validation of a mathematical model for the low-pressure of the water in porous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, N.º 73. DOI: 10.1016/j.jheatmasstransfer.2014.02.012.
- [88] – Ferreira, V., Ribeiro, J., Gaspar, A., Costa, J., Oliveira, A. (2013). *Missing the Spark GAP: Feasibility study for a trigeneration system in a fish freezing industry in Portugal*. ADAI-LAETA. Disponível em www.inovenergy.inovcluster.pt/media/29409/MISSING_THE_SPARK_GAP___FREEZING_INDUSTRY_IN_PORTUGAL.PDF.
- [89] – Ferreira, V., Augusto, C., Ribeiro, J., Gaspar, A., Costa, J. (2014). *Increasing the efficiency of high temperature furnaces through a topping cycle cogeneration – a case study, energy efficiency*. DOI 10.1007/512053-014-9278-2.
- [90] – Gonçalves, P., Angrisani, G., Sasso, M., Gaspar, A., Silva, M. (2014). Exergetic analysis of a desiccant cooling system: searching for performance improvement opportunities. *International Journal of Energy Research*, N.º38. DOI <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/er.3076/>
- [91] – Ruivo, C., Vaz, D. (2015). Prediction of the heat gain of external walls: An innovative approach for full-featured excitations based on the simplified methods of Machey and Wright. *Applied Energy*, Vol. 155.
- [92] – Cabrita, A., Mendes, R., Quintela, D. (2016). Thermistor based, low velocity isothermal, air flow sensor. *IOP Publishing, Measurement Science and Technology* Vol. 27, N.º3.

- [93] – Almeida, M, Monteiro, J., Caltro, O. (2016). *Influência do clima e do caudal de ar variável em função da demanda para um sistema centralizado tudo-ar*. ADAI. DOI: <http://hdl.handle.net/10400.22/8203>
- [94] –Teodoro, O. *Novos desafios no confinamento de fluidos frigoríficos*. METROVAC. Disponível em <http://www.metrovac.eu/Publicacoes/assets/Novos%20desafios%20no%20confinamento%20.pdf>
- [95] – Tecnoalimentar. Consultado a 25/05/2016. Disponível em www.tecnoalimentar.pt/noticias/investigadores-desenvolvem-película-100-biodegradavel/
- [96] - N., Costa; Garcia, J. (2015).Applying design of experiments to a compression refrigeration cycle, *Cogent Engineering*. DOI: 10.1080/23311916.2014.992216
- [97] - Garcia, J.; Coelho, Luis M. R; Delgado, H.(2006). *Study of CO2 Transcritical Cycle for Refrigerating And Heat Pump System*, Trabalho apresentado em Climamed Congress, In Proceedings of Climamed Congress, Lyon

Anexos

Anexo I – Estatísticas de Produção Industrial entre 1999 e 2012 (INE)

Anexo I.A – Produção Nacional de móveis expositores, móveis balcão e frigoríficos para produtos congelados e de móveis expositores, móveis balcão e frigoríficos para produtos refrigerados entre 1999 e 2011

Móveis expositores e móveis balcão, frigoríficos (com grupo frigorífico ou evaporador incorporado), para produtos congelados	Produzidas (unidades)	Vendidas (unidades)
1999	37108	33997
2000	33077	32868
2001	34931	33794
2002	38778	33738
2003	46004	42780
2004	44361	49529
2005	30776	34956
2006	29513	29569
2007	14368	29441
2008	10993	10618
2009	11069	10808
2010	8770	8470
2011	Sem Dados	Sem Dados
Móveis expositores e móveis balcão, frigoríficos (com grupo frigorífico ou evaporador incorporado), excepto para produtos congelados	Produzidas (unidades)	Vendidas (unidades)
1999	43542	37267
2000	52680	51958
2001	57513	54785
2002	51447	57217
2003	56500	56015
2004	57390	57400
2005	52997	53470
2006	56110	55834
2007	60103	60398
2008	74583	71829
2009	62206	61842
2010	67839	69279
2011	58446	59081

Anexo I.B – Vendas Nacionais e Exportações de equipamento não doméstico para refrigeração e ventilação entre 1999 e 2011

	Total Vendas [€]	Mercado Nacional [€]	União Europeia [€]	Países Terceiros [€]
1999	218707445	176990876	31655126	10061456
2000	253667172	196702462	45013173	11951537
2001	262393553	209975750	43882543	8535260
2002	231005695	168978451	54223336	7803908
2003	275616957	185927785	78347615	11341557
2004	282403684	195043150	76896845	10463684
2005	287197972	215355481	61309194	10533297
2006	311515433	222619453	76092341	12803639
2007	333660827	207460724	86964177	19235926
2008	250269077	142096279	82328635	25844163
2009	210914879	132014622	61068214	17832043
2010	198081315	122186354	63921222	6973739
2011	166172895	90809315	66034821	9328759

Anexo II – Evaporadores Centauro

Anexo II.A – Descrição do Evaporador Centauro

Descrição do evaporador

Construção

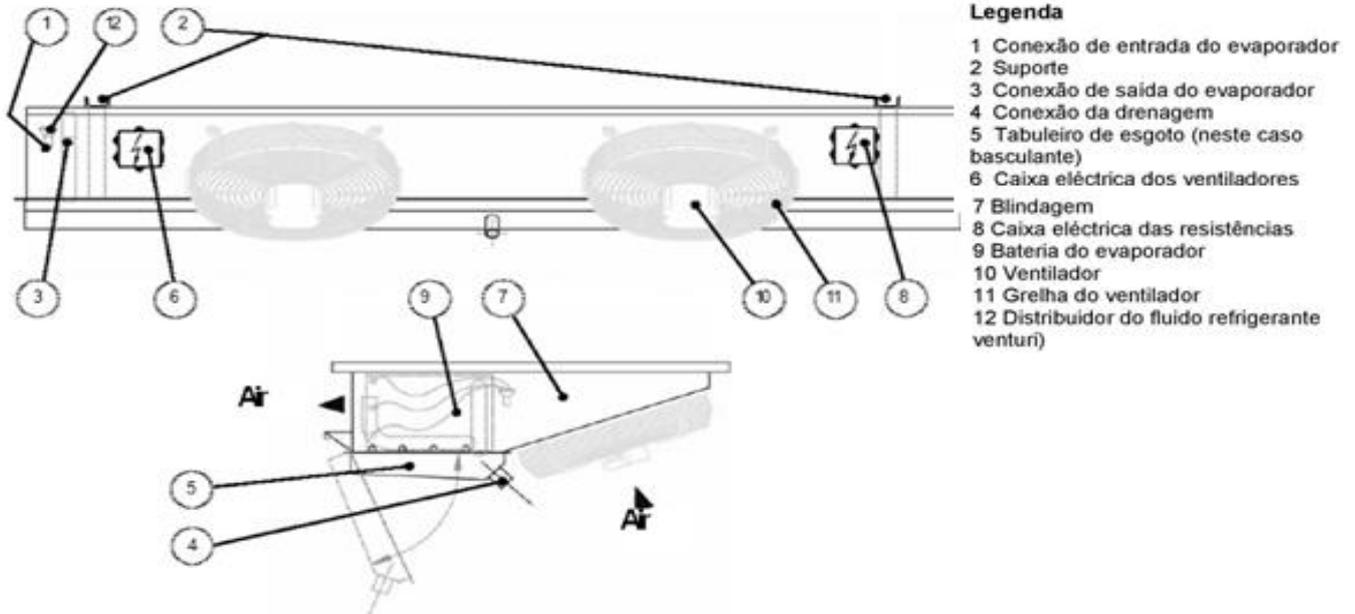


Fig. 1: Exemplo: Evaporador em cunha (aqui com 3 x ventiladores).

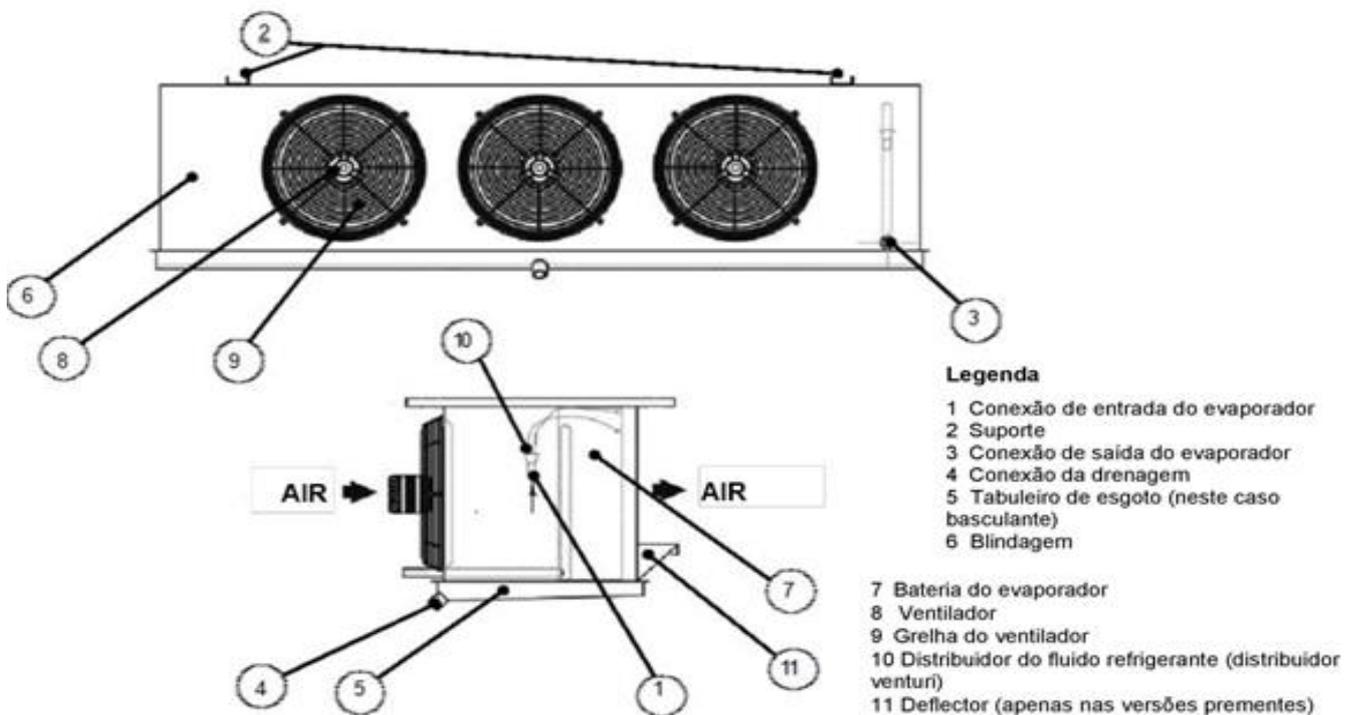


Fig. 2: Exemplo: Evaporador cúbico

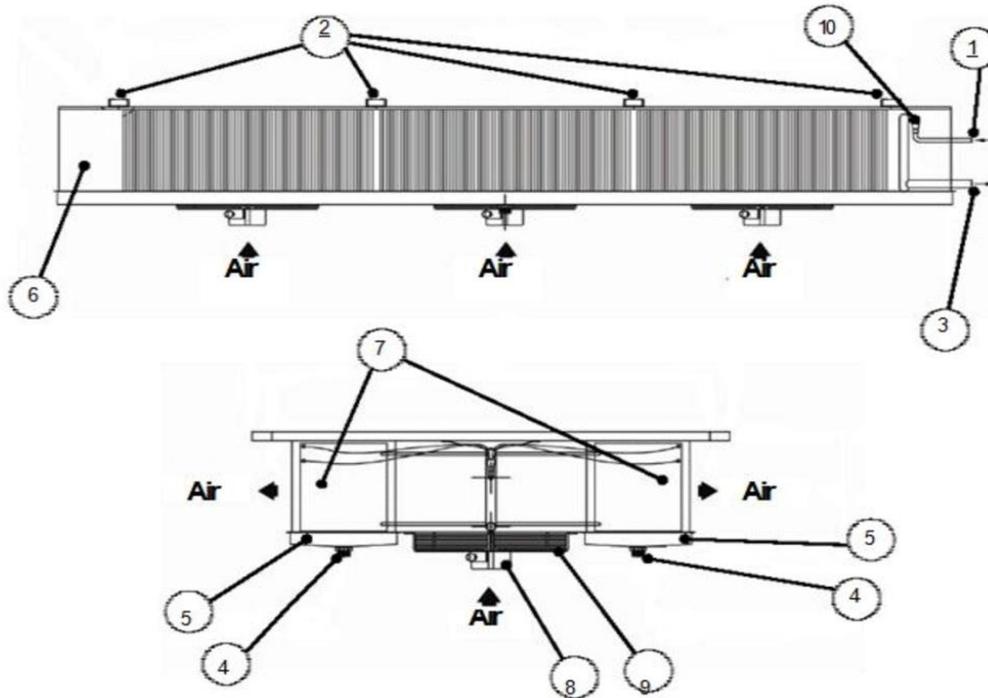
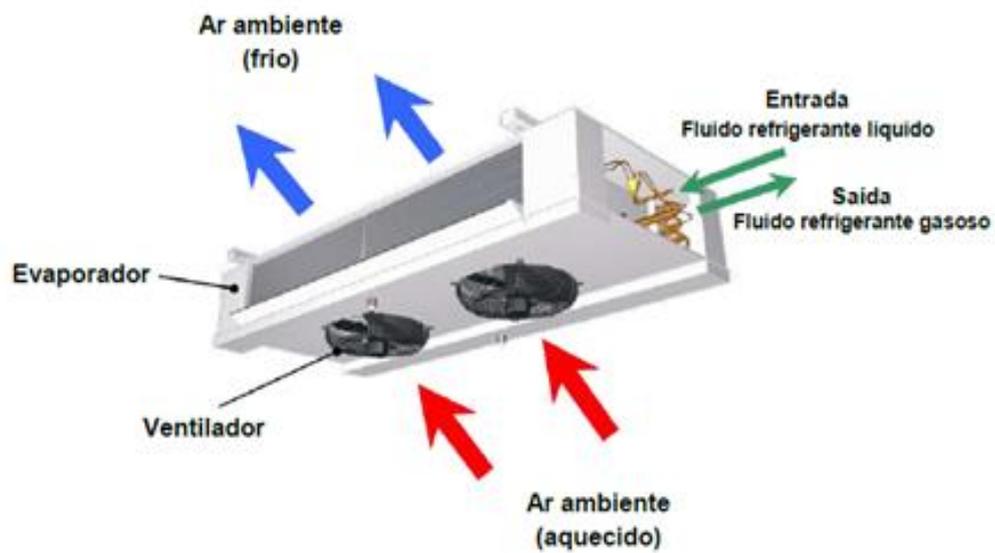


Fig. 3: Exemplo: Evaporador duplo fluxo (aqui com 3 x ventiladores).

Legenda

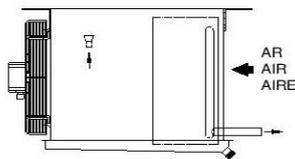
- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 Conexão de entrada do evaporador | 6 Blindagem |
| 2 Suporte | 8 Bateria do evaporador |
| 3 Conexão de saída do evaporador | 9 Ventilador |
| 4 Conexão da drenagem | 10 Distribuidor do fluido refrigerante (distribuidor venturi) |
| 5 Tabuleiro de esgoto | |

Princípio do funcionamento



DESCONGELAÇÃO DEFROST DESESCARCHE

STANDARD STANDARD ESTÁNDAR

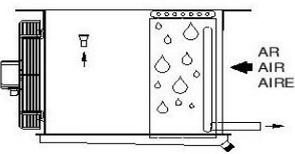


Descongelção a ar.
A descongelção é obtida através da passagem do ar pela bateria.

Air defrost.
Defrost is obtained by the passage of air in the coil.

Desescarche al aire.
El desescarche se realiza haciendo pasar el aire por la batería.

ÁGUA WATER AGUA



Descongelção a água.
A descongelção é obtida através da passagem de água pela bateria.

Water defrost.
Defrost is obtained by the water's passagem in the coil.

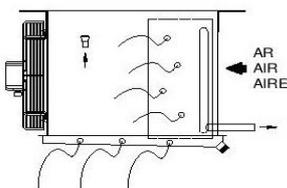
Desescarche por agua.
El desescarche se realiza haciendo pasar agua por la batería.

NOTA: na descongelção a água a dimensão A (altura) do evaporador sofre alteração.

NOTE: in case of water defrost application the dimension A (height) of the evaporator is changed.

NOTA: en el desescarche por agua la dimension A (alto) del evaporador se altera.

ELÉCTRICA ELECTRICAL ELÉCTRICO



Descongelção eléctrica.
A descongelção é obtida através do calor libertado pelas resistências eléctricas colocadas no interior da bateria e tabuleiro do evaporador.

Electrical defrost.
Defrost is obtained by the heat released from the electrical heaters placed inside the cooler's coil and drain pan.

Desescarche eléctrico.
El desescarche se obtiene a través del calor liberado por las resistencias eléctricas colocadas en el interior del evaporador y de la bandeja de desagüe.

NOTAS

Para mais informação acerca de tipos/soluções de descongelção, por favor consultar a Centauro ou a informação técnica disponível.

NOTES

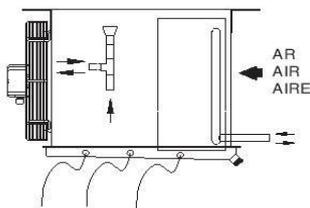
For more information regarding defrost types/solutions, please contact Centauro or read the available technical information.

NOTAS

Para obtener más información acerca de los tipos y soluciones de desescarche, por favor consulte Centauro o la información técnica disponible.

DESCONGELAÇÃO DEFROST DESESCARCHE

GÁS QUENTE HOT GAS GAS CALIENTE SISTEMA GM GM SYSTEM SISTEMA GM



A descongelação é obtida através da injeção de gás quente na bateria e resistências eléctricas no tabuleiro.

NOTAS:
- Bateria standard;
- Resistências no tabuleiro;
- A conexão em "T" na entrada não está incluída.

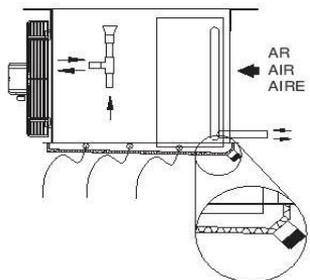
Defrost is obtained by the injection of hot gas in the coil and heaters in the drain pan.

NOTES:
- Standard coil;
- Drain pan heaters;
- The "T" connection at the inlet is not included.

El deshielo se realiza mediante inyección de gas caliente en la batería del evaporador y resistencias eléctricas en la bandeja.

NOTAS:
- Bateria estándar;
- Resistencias de bandeja;
- La conexión en "T" de la entrada no está incluída.

SISTEMA GE GE SYSTEM SISTEMA GE



A descongelação é obtida através da injeção de gás quente na bateria e resistências eléctricas no tabuleiro.

NOTAS:
- Igual ao sistema GM mais tabuleiro de esgoto isolado incluído;
- A conexão em "T" na entrada não está incluída.

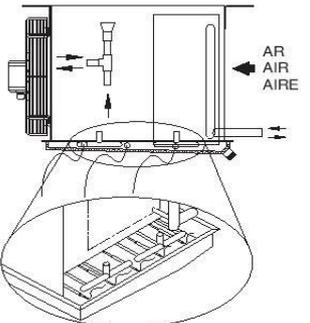
Defrost is obtained by the injection of hot gas in the coil and heaters in the drain pan.

NOTES:
- Same as GM system plus insulated drain pan included;
- The "T" connection at the inlet is not included.

El desescarche se realiza mediante inyección de gas caliente en la batería del evaporador y resistencias eléctricas en la bandeja.

NOTAS:
- Mismo que sistema GM más bandeja aislada incluída;
- La conexión en "T" de la entrada no está incluída.

SISTEMA GT GT SYSTEM SISTEMA GT



A descongelação é obtida através da injeção de gás quente na bateria e parrilha e resistências eléctricas no tabuleiro.

NOTAS:
- Igual ao sistema GE mas inclui também parrilha de gás quente no tabuleiro;
- A conexão em "T" na entrada não está incluída.

Defrost is obtained by the injection of hot gas in the coil and on the drain pan. Electrical heaters are also placed on the evaporator's drain pan.

NOTES:
- Same as GE system plus hot gas defrost circuit on the drain pan;
- The "T" connection at the inlet is not included.

El desescarche se realiza mediante inyección de gas caliente en la batería y bandeja intermedia del evaporador y resistencias eléctricas en la bandeja.

NOTAS:
- Mismo que sistema GE más bandeja intermedia con serpentín para gas caliente;
- La conexión en "T" de la entrada no está incluída.

IMPORTANTE

- R22, R502, R717: considera-se que para cada m² de permutador a descongelar, deverá garantir no mínimo 3m² de permutadores em funcionamento;
- R404A: a experiência aponta para rácios diferentes (1/4 a 1/6).

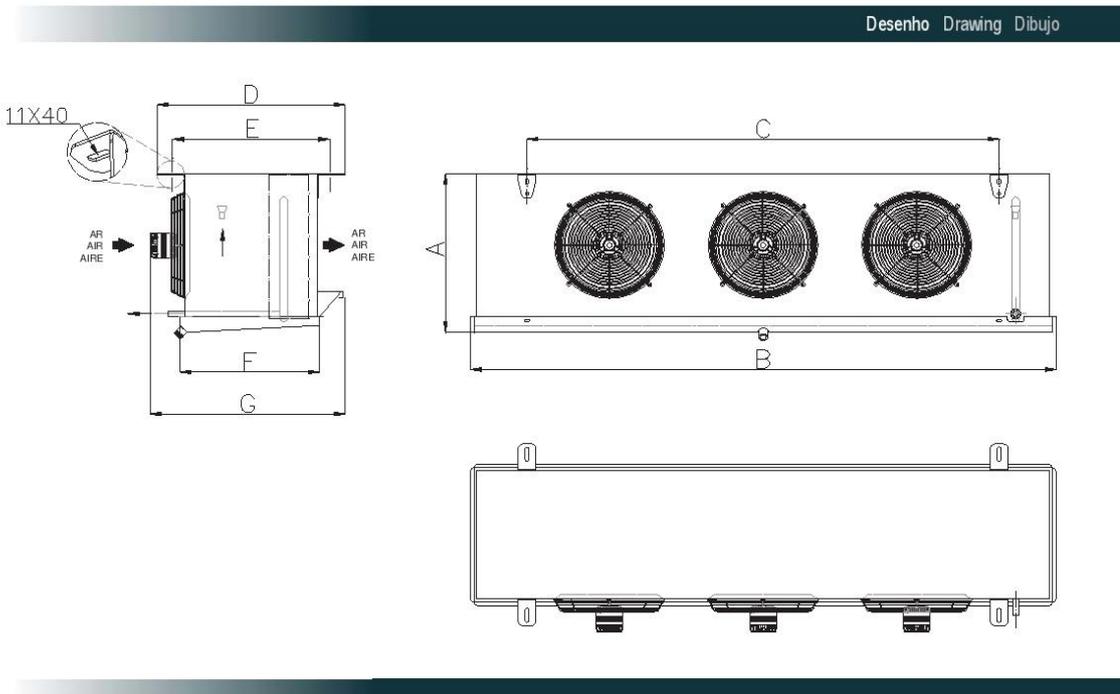
IMPORTANT

- R22, R502, R717: it's considered that for each m² of heat exchanger defrosting, should be assured at least 3m² of working heat exchangers;
- R404A: experience advises us to use different ratios (1/4 to 1/6).

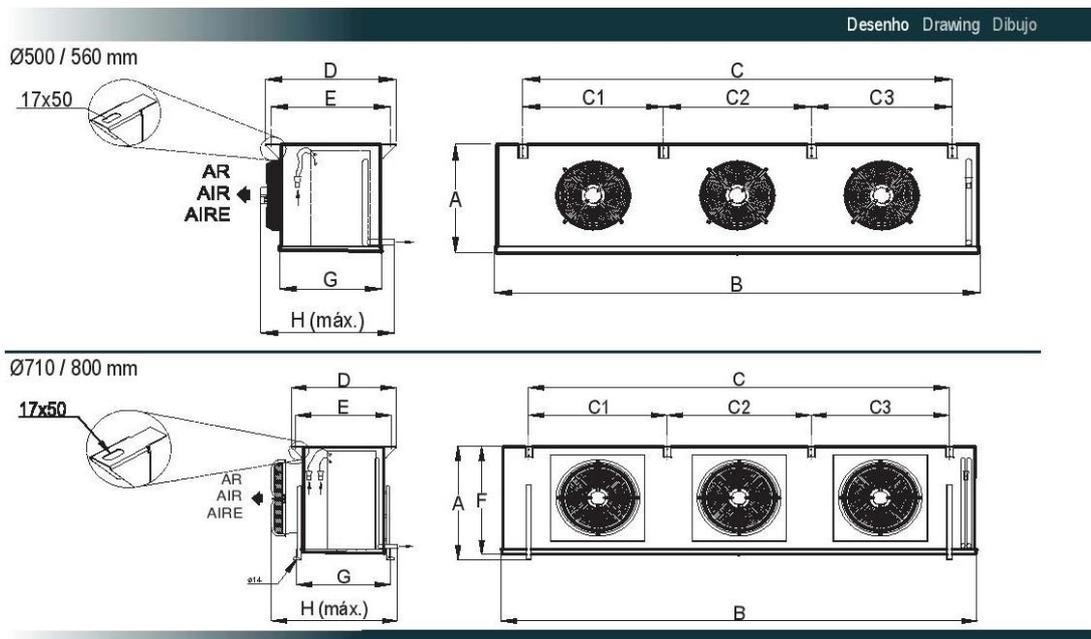
IMPORTANTE

- R22, R502, R717: se considera que por cada m² de intercambiador en desescarche, se deberá garantizar por lo menos 3m² de intercambiadores en funcionamiento;
- R404A: la experiencia indica relaciones diferentes (1/4 a 1/6).

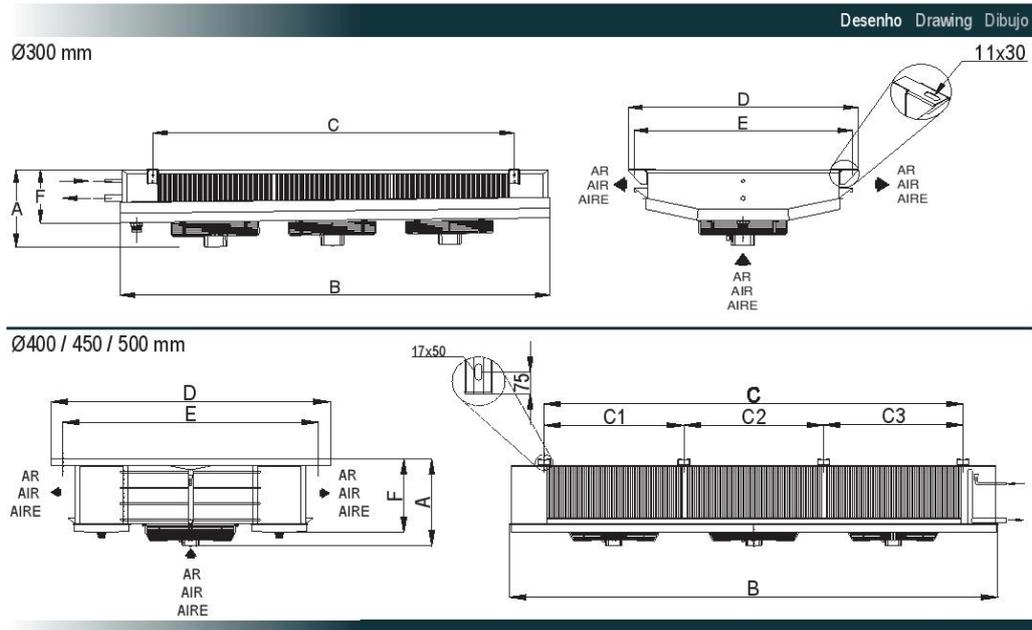
Anexo II.D – Desenho dos Evaporadores Cúbicos MT/DD/BXN/BXL



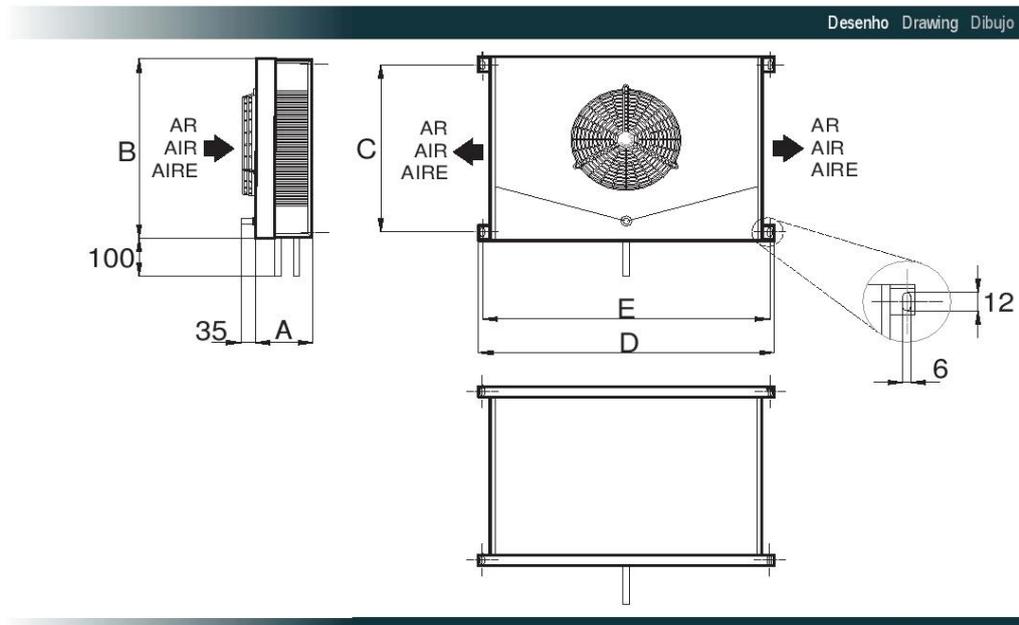
Anexo II.E – Desenho dos Evaporadores Cúbicos Industriais MTA/MTB/DDC/DDL/DXL



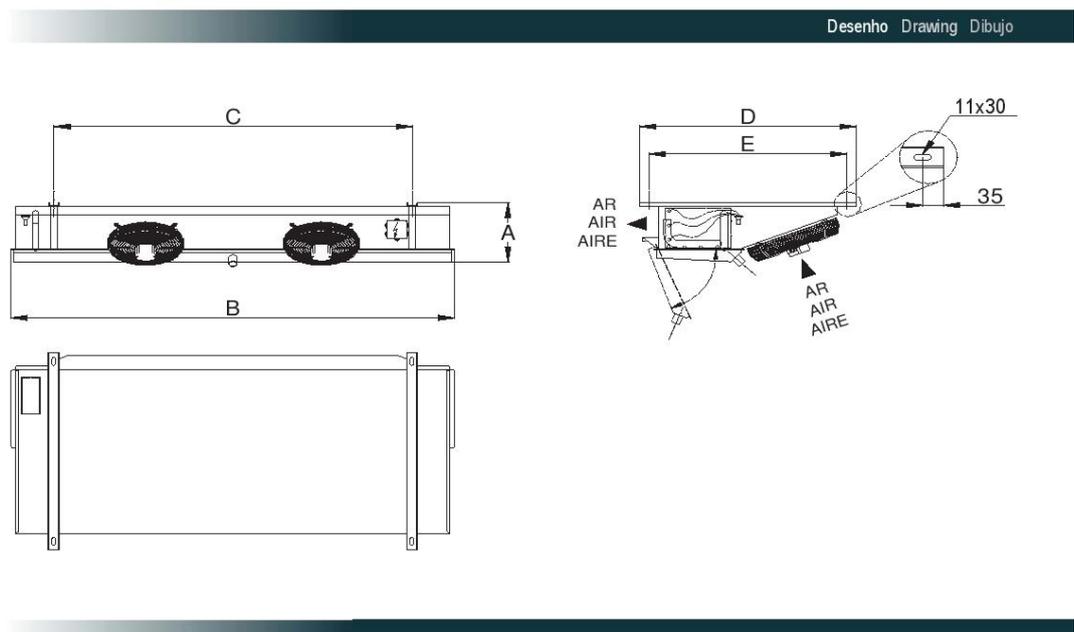
Anexo II.F – Desenho dos Evaporadores de Duplo Fluxo CBK/CBN/CBL



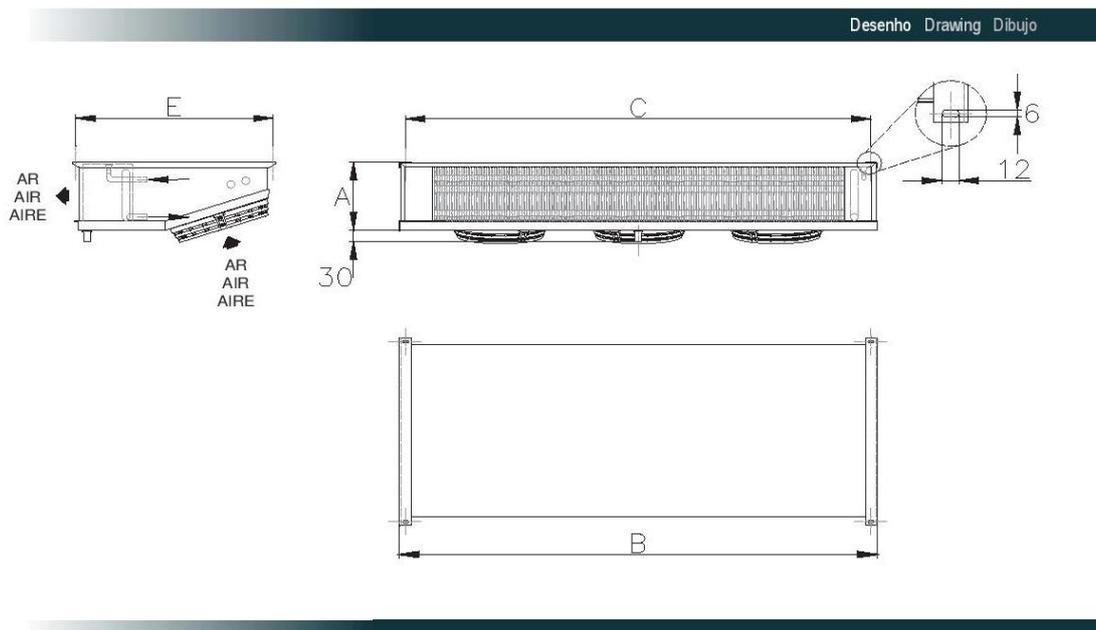
Anexo II.G – Desenho dos Evaporadores de Duplo Fluxo DF/DFL



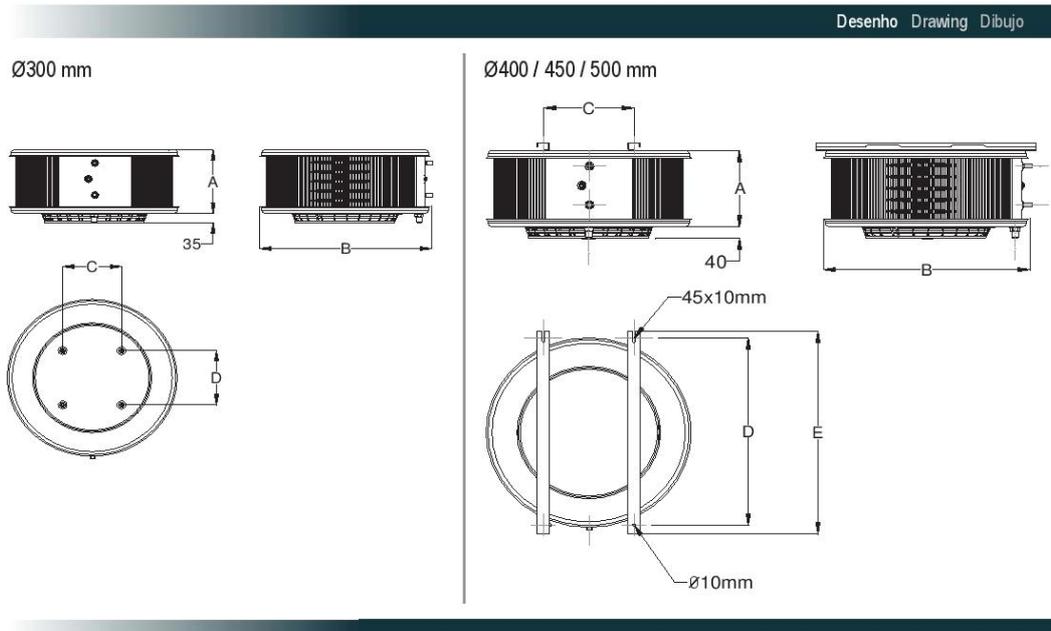
Anexo II.H – Desenho dos Evaporadores de Cunha RWK/BWK



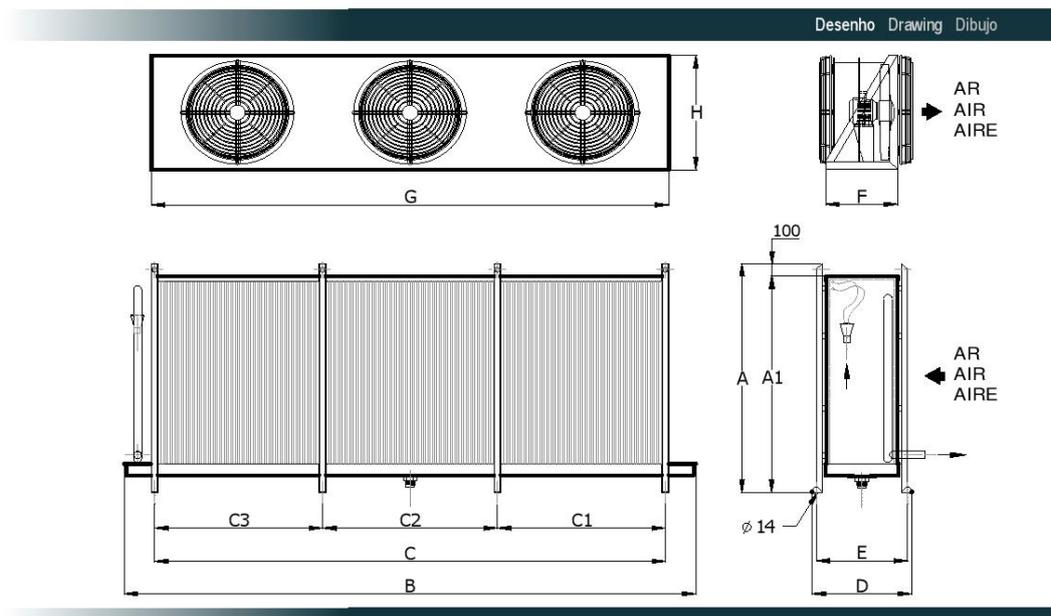
Anexo II.I – Desenho dos Evaporadores de Cunha TA/TAL



Anexo II.J – Desenho dos Evaporadores Redondos ERK/EKN



Anexo II. K – Desenho dos Evaporadores de Túnel BSU



Anexo III – Condensadores Centauro

Anexo III.A – Descrição do Condensador Centauro

4. Descrição do condensador

4.1. Construção

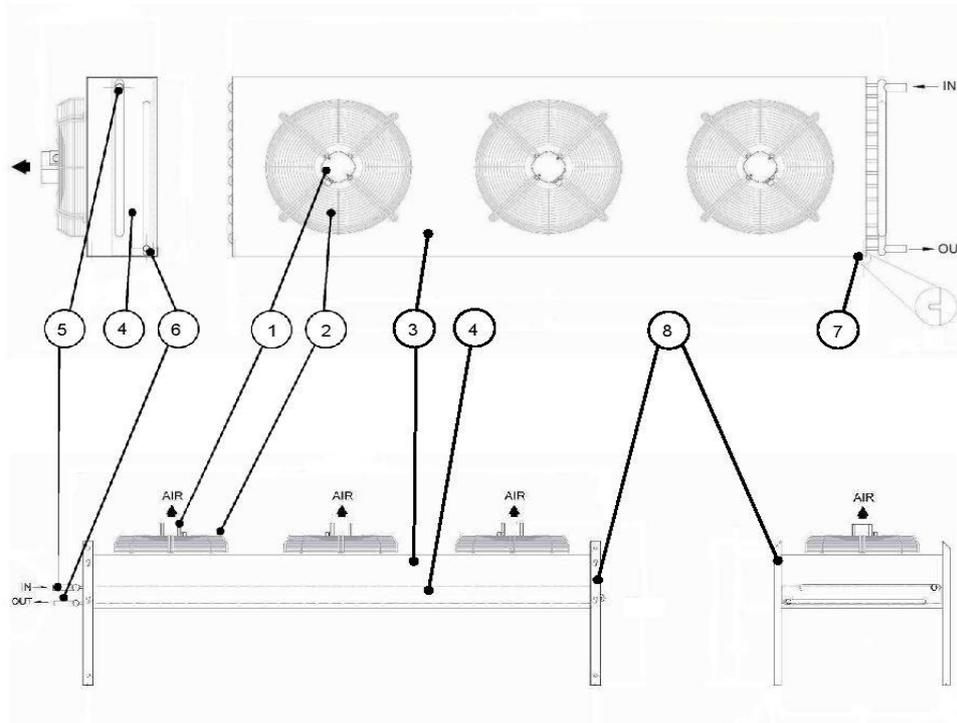


Fig. 1: Exemplo: Condensador ACM (aqui com 3 x ventiladores) – Vistas de instalação com fluxo de ar horizontal e fluxo de ar vertical

Legenda

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1 Ventilador | 5 Conexão de entrada |
| 2 Grelha do ventilador | 6 Conexão de saída |
| 3 Blindagem | 7 Ponto de fixação |
| 4 Bloco alhetado do condensador | 8 Suportes (kits de patas) para instalação na horizontal (sentido do ar na vertical) |

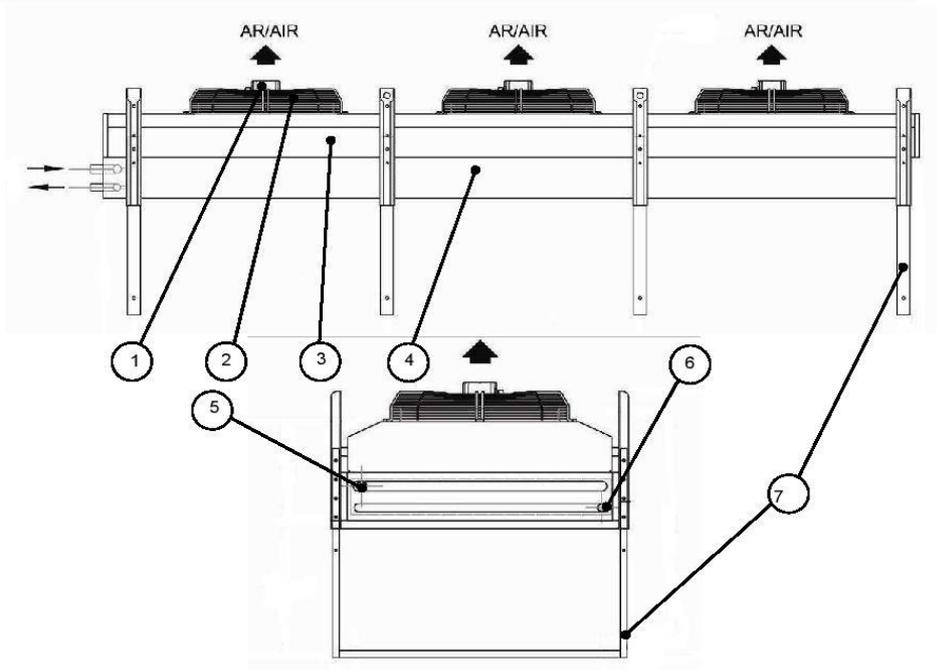


Fig. 2: Exemplo: Condensador ACI (aqui com 3 x ventiladores) – Vistas de instalação com fluxo de ar vertical

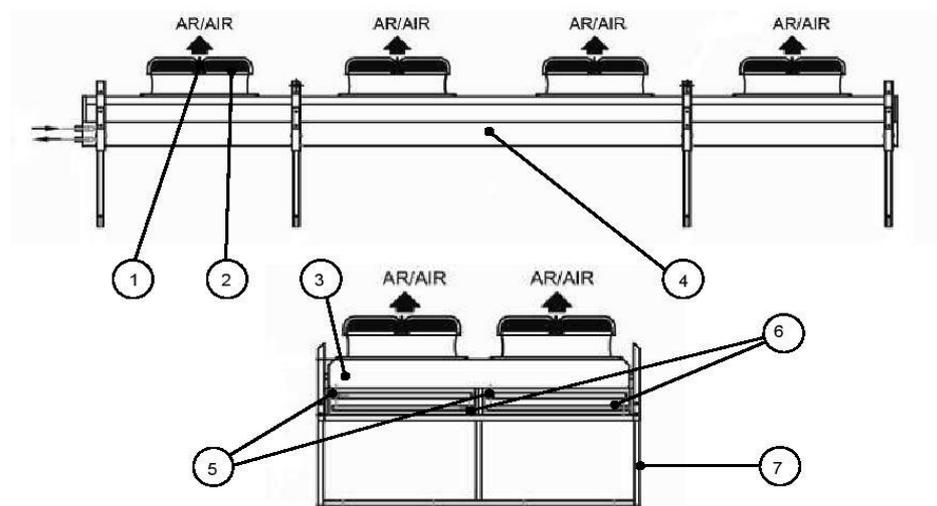


Fig. 3: Exemplo: Condensador ACPD (aqui com 2 x 4 ventiladores de Ø 800 mm) – Vistas de instalação com fluxo de ar vertical

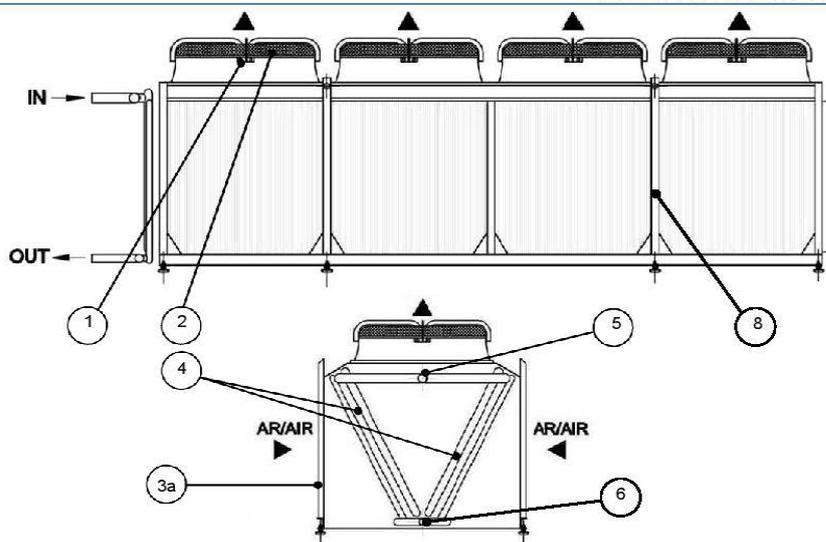


Fig. 4: Exemplo: Condensador VAC (aqui com 4 x ventiladores de Ø910 em linha) – Vistas

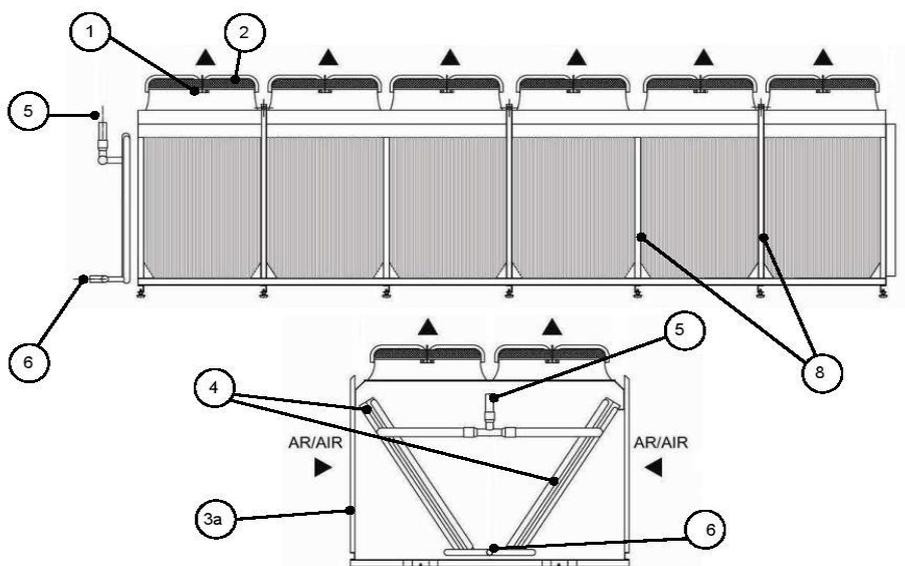


Fig. 5: Exemplo: Condensador VACD (aqui com 2 x 6 ventiladores de Ø910 em linha) – Vistas

Legenda

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 Ventilador | 5 Conexão de entrada |
| 2 Grelha do ventilador | 6 Conexão de saída |
| 3 Blindagem | 7 Suportes/pés, em forma de U |
| 3a Blindagem em forma de V | 8 Anteparas |
| 4 Bloco alhetado do condensador | |

Anexo III.B – Princípio de Funcionamento dos Condensadores Centauro

4.2. Princípio do funcionamento

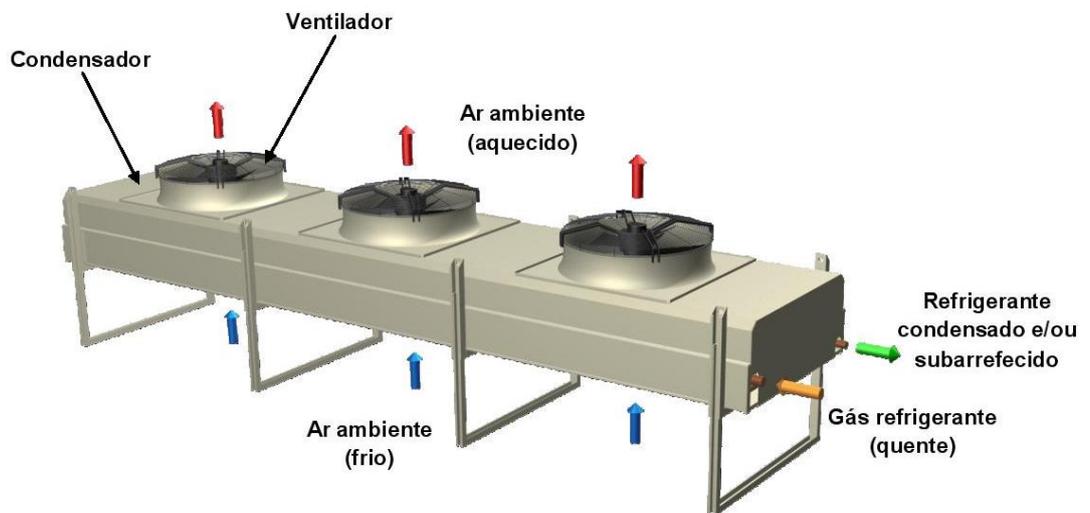


Fig. 8: Princípio de funcionamento de um condensador refrigerado a ar.

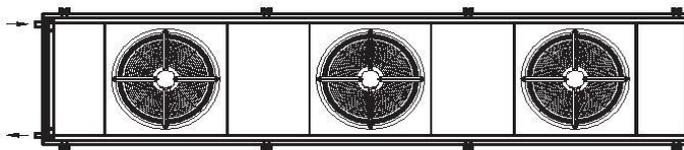
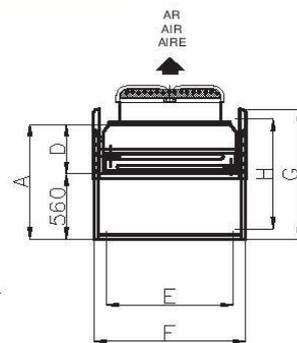
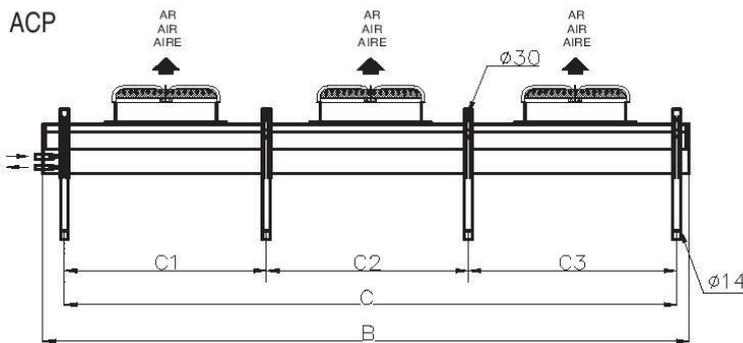
Anexo III.C – Desenho dos Condensadores ACP/ACPD

ACP - ACPD



Condensadores Condensers Condensadores
 Espaçamento Fin Spacing Separación de Aletas 2,1 mm
 Ø Ventiladores Fan Ø Ø Ventiladores 800 mm

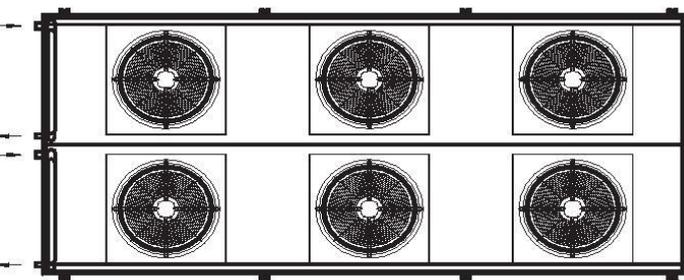
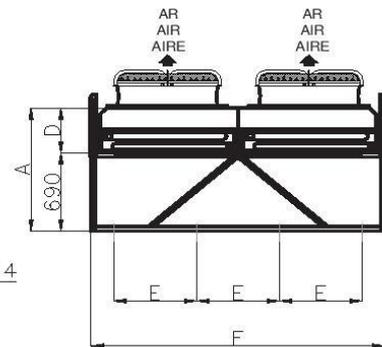
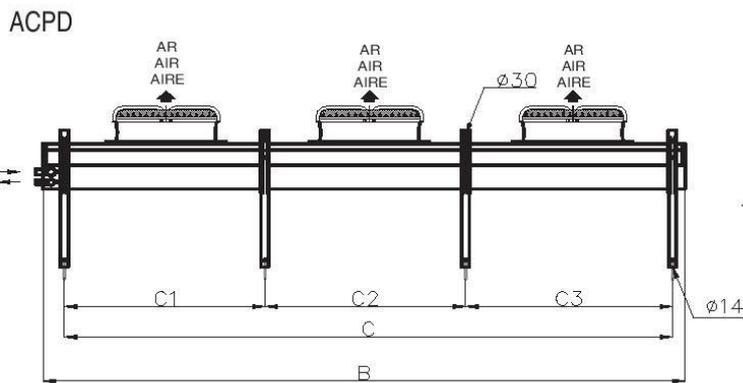
DESENHO DRAWING DIBUJO



Para movimentação e elevação do condensador é favor consultar a Centauro.

For condenser handling and lifting please contact Centauro.

Para manejo y elevación de lo condensador por favor consulte a Centauro.



Supports	Supports	Soportes
2 ventiladores		
2 fans		2
2 ventiladores		
3 ventiladores		4
3 fans		
3 ventiladores		4
4 ventiladores		4
4 fans		
4 ventiladores		4
6 ventiladores		4
6 fans		
6 ventiladores		4
8 ventiladores		4
8 fans		
8 ventiladores		4

Anexo III.D – Desenho dos Condensadores ACI



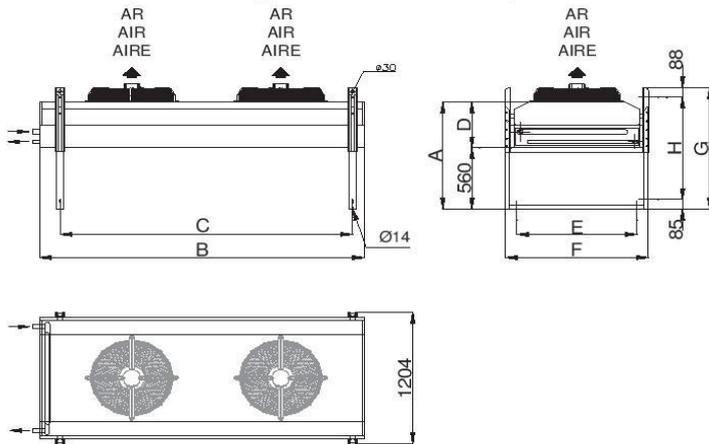
ACI

Condensadores Condensers Condensadores
 Espaçamento Fin Spacing Separación de Aletas 2,1 mm
 Ø Ventiladores Fan Ø Ø Ventiladores 630 mm

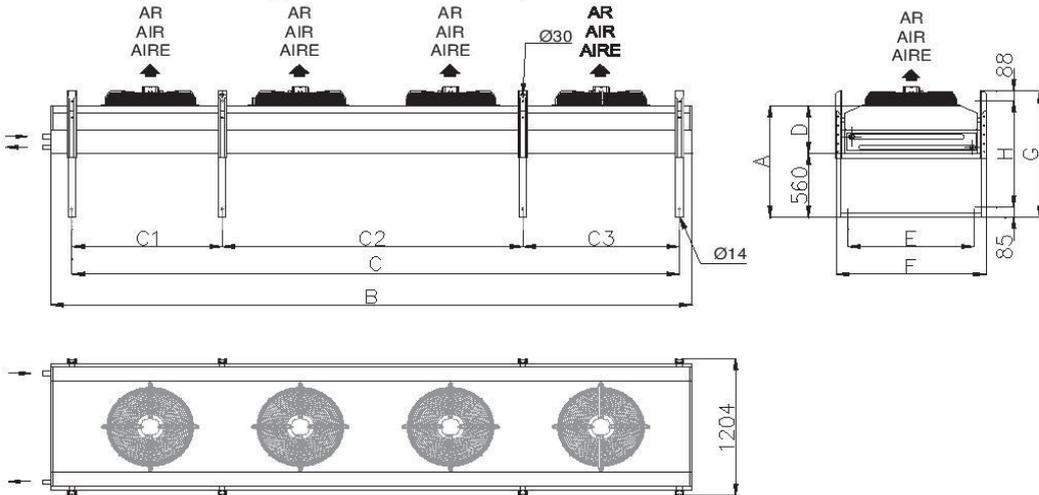
2,1 mm
 630 mm

DESENHO DRAWING DIBUJO

ACI de 2 suportes 2 Supports ACI ACI de 2 soportes



ACI de 4 suportes 4 Supports ACI ACI de 4 soportes



Para movimentação e elevação do condensador é favor consultar a Centauro.

For condenser handling and lifting please contact Centauro.

Para manejo y elevación de lo condensador por favor consulte a Centauro.

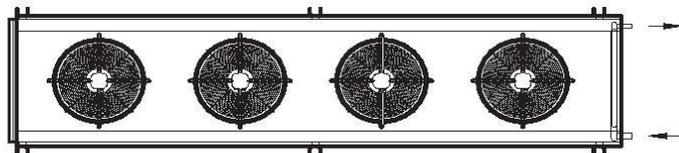
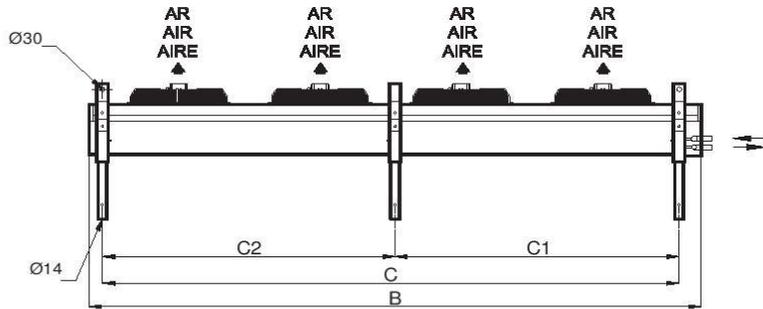
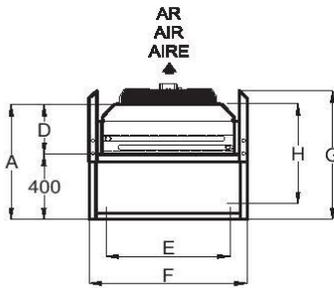
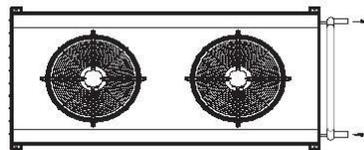
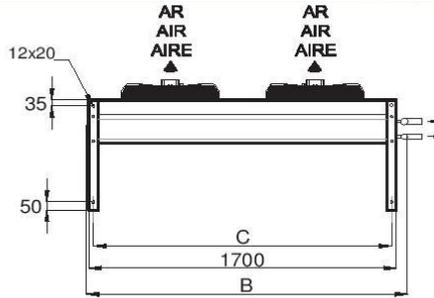
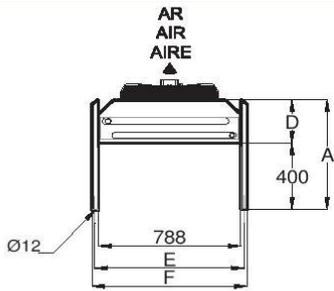
Suportes	Supports	Soportes
2 ventiladores 2 fans 2 ventiladores		2
3 ventiladores 3 fans 3 ventiladores		2
4 ventiladores 4 fans 4 ventiladores		4
5 ventiladores 5 fans 5 ventiladores		4

Anexo III.E – Desenho dos Condensadores ACH



Condensadores Condensers Condensadores
 Espaçamento Fin Spacing Separación de Aletas 2,1 mm
 Ø Ventiladores Fan Ø Ø Ventiladores 500 mm

DESENHO DRAWING DIBUJO

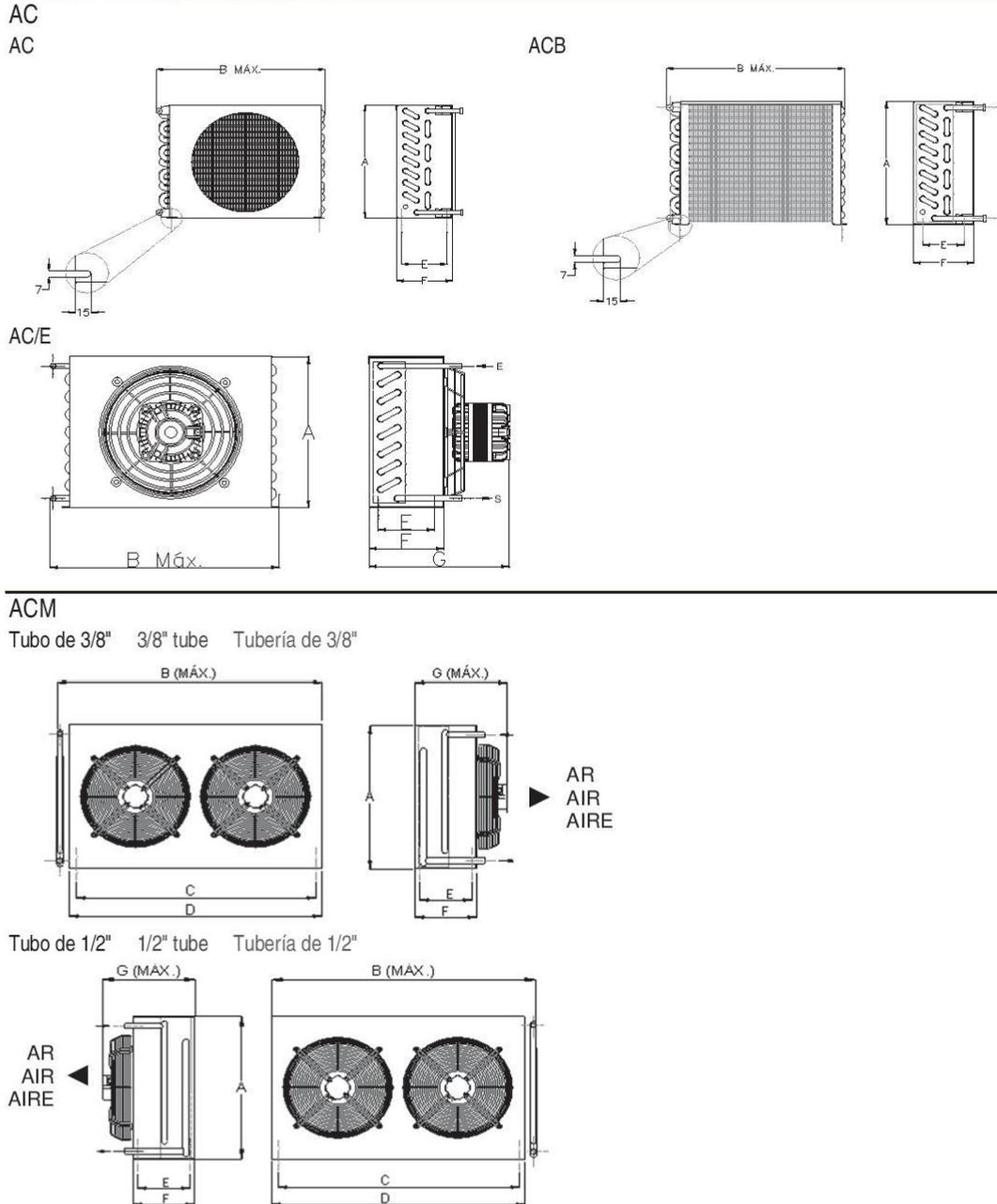


Suportes	Supports	Soportes
2 ventiladores	2 fans	2
2 ventiladores	2 fans	2
3 ventiladores	3 fans	2
3 ventiladores	3 fans	2
4 ventiladores	4 fans	4
4 ventiladores	4 fans	4
5 ventiladores	5 fans	4
5 ventiladores	5 fans	4

Para movimentação e elevação do condensador é favor consultar a Centauro.

For condenser handling and lifting please contact Centauro.

Para manejo y elevación de lo condensador por favor consulte a Centauro.

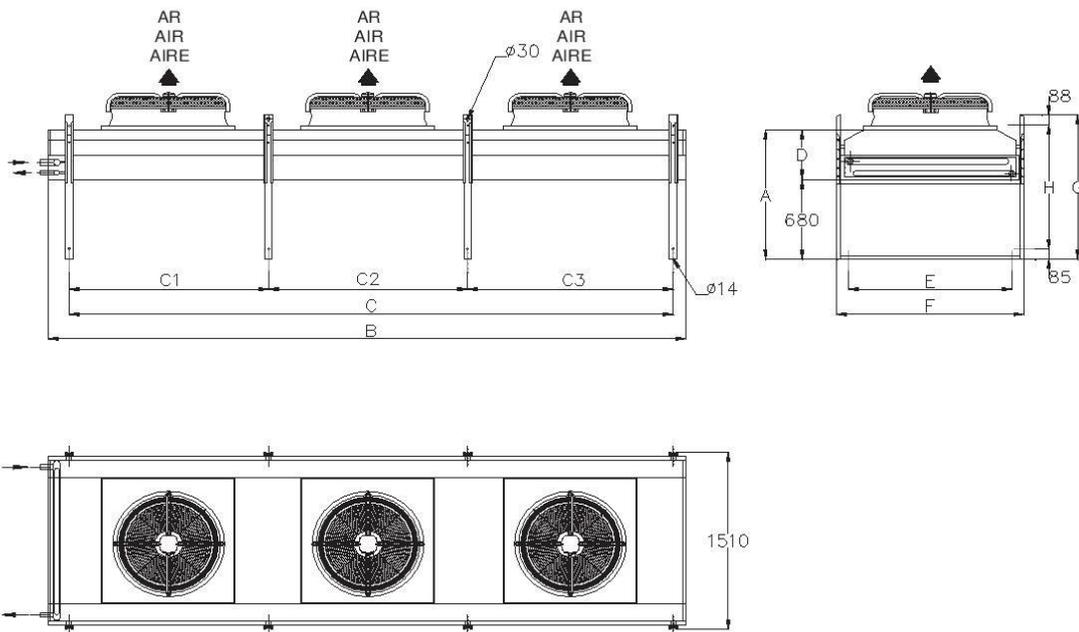


Anexo III.G – Desenho dos Condensadores ACJ



DESENHO DRAWING DIBUJO

ACJ



Para movimentação e elevação do condensador é favor consultar a Centauro.

For condenser handling and lifting please contact Centauro.

Para manejo y elevación de lo condensador por favor consulte a Centauro.

Suportes	Supports	Soportes
2 ventiladores	2 fans	2
2 ventiladores	2 ventiladores	4
3 ventiladores	3 fans	4
3 ventiladores	3 ventiladores	4
4 ventiladores	4 fans	4
4 ventiladores	4 ventiladores	

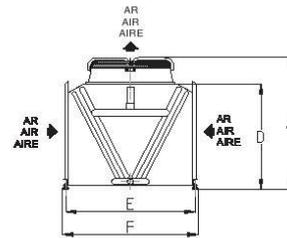
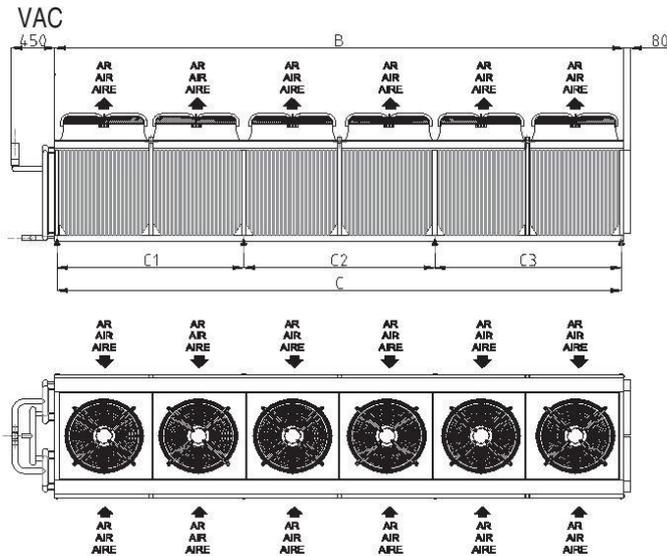
Anexo III.H - Desenho dos Condensadores VAC/VACD

VAC - VACD



Condensadores Condensers Condensadores
 Espaçamento Fin Spacing Separación de Aletas 2,1 mm
 Ø Ventiladores Fan Ø Ø Ventiladores 910 mm

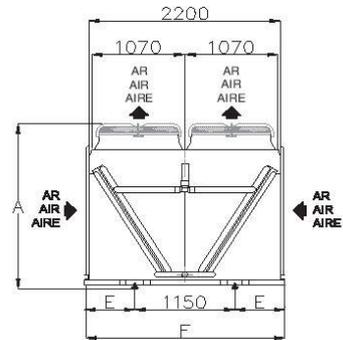
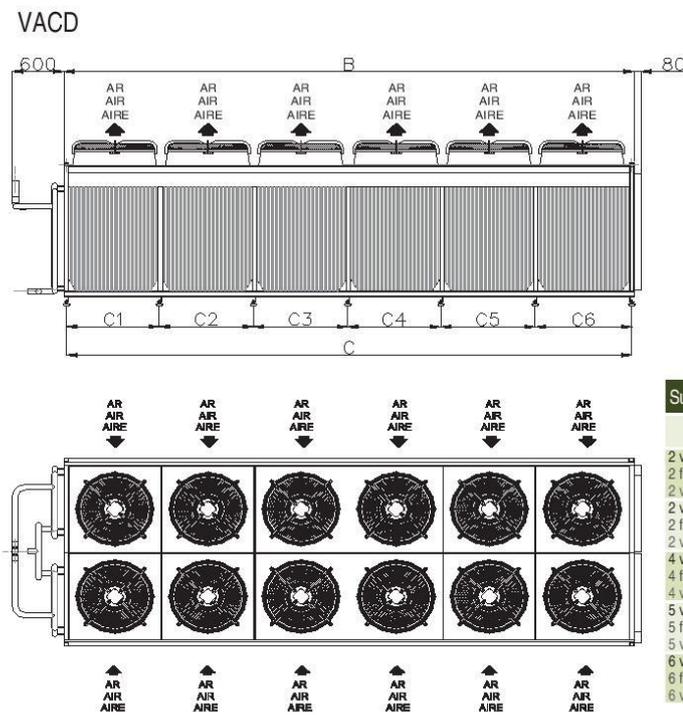
DESENHO DRAWING DIBUJO



Para movimentação e elevação do condensador é favor consultar a Centauro.

For condenser handling and lifting please contact Centauro.

Para manejo y elevación de lo condensador por favor consulte a Centauro.



Suportes Supports Soportes			
VAC	VACD		
2 ventiladores 2 fans	4	4 ventiladores 4 fans	4
2 ventiladores 2 fans	4	6 ventiladores 6 fans	8
2 ventiladores 4 ventiladores 4 fans	8	6 ventiladores 8 ventiladores 8 fans	10
5 ventiladores 5 fans	8	10 ventiladores 10 fans	12
5 ventiladores 6 ventiladores 6 fans	8	10 ventiladores 12 ventiladores 12 fans	14
6 ventiladores 6 fans	8	12 ventiladores 12 ventiladores	14

Anexo IV – Novas Tecnologias e Produtos Inovadores

Anexo IV.A - Folheto informativo da tecnologia EC

Tecnologia EC EC technology

Tecnologia EC EC technology

Em 2004 foi feito o primeiro projecto em Portugal inteiramente com tecnologia EC pela Centauro e Ebmpapst

In 2004 was made the first full size project with EC fan motors from Ebmpapst was commissioned in Portugal by Centauro and Ebmpapst



EVO/R-EC

Nova gama de condensadores em "V" com ventiladores radiais EC

Temos também soluções de ventiladores radiais e centrífugos para outras gamas de condensadores (ACC / ACR)

New range of "V" type condensers with radial fans

We also have alternative solutions with radial and centrifugal fans for other condenser ranges (ACC / ACR)

Evaporadores para túneis de arrefecimento ou congelação
A nossa paixão!

Air coolers for blast chillers or blast freezers

Our passion!



Evaporador DX/R744 para bomba de calor com ventiladores EC
DX/R744 cooler for heat pump with EC fans

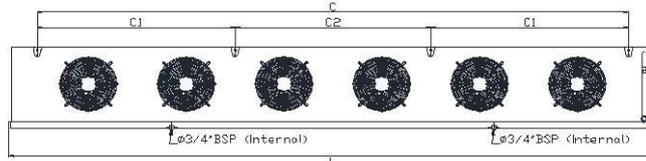
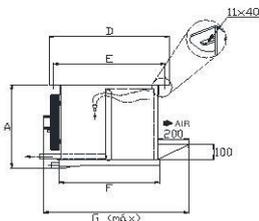
Os novos refrigerantes e as novas soluções a nível de compressores potenciaram o retomar em força das bombas de calor em condições de eficiência energética otimizada

New refrigerants and new compressor solutions have potentiated a reinforced appearance of heat pumps in optimized energy efficiency conditions



DADOS DIMENSIONAIS DIMENSIONAL DATA DATOS DIMENSIONALES

	Dimensões Dimensions Dimensiones									Modelo Type Modelo
	A	C	C1	C2	D	E	F	G	L	
	mm									
570	660				778	718	650	1020	1160	TFC 7U1/2
570	1290				778	718	650	1020	1790	TFC 7U2/5
570	1630				806	748	650	1050	2130	TFC 7V2/6
570	1920				778	718	650	1020	2420	TFC 7U3/7
690	1630				906	848	750	1150	2130	TFC 7X2/8
930	1310				1065	983	855	1230	1810	TFC 7Z1/9
570	2430				806	748	650	1050	2930	TFC 7V3/9
570	2250	1275			778	718	650	1020	2750	TFC 7U4/10
690	2030				906	848	750	1150	2530	TFC 7X2/11
930	1310				1065	983	855	1230	1810	TFC 7Z1/11
690	2430				906	848	750	1150	2930	TFC 7X3/12
570	3230	1615			806	748	650	1050	3730	TFC 7V4/13
570	3180	1275	630		778	718	650	1020	3680	TFC 7U5/13
690	2030				906	848	750	1150	2530	TFC 7X2/13
810	2230				906	848	750	1150	2730	TFC 7Y2/15
570	3810	1275	1260		778	718	650	1020	4310	TFC 7U6/15
570	4030	1615	800		806	748	650	1050	4530	TFC 7V5/16
690	3230	1615			906	848	750	1150	3730	TFC 7X4/16
690	3030				906	848	750	1150	3530	TFC 7X3/17
570	4440	1275	1890		778	718	650	1020	4940	TFC 7U7/18
810	2230				906	848	750	1150	2730	TFC 7Y2/19
930	2570				1065	983	855	1230	3070	TFC 7Z2/19
570	4830	1615	1600		806	748	650	1050	5330	TFC 7V6/20
690	4030	1615	800		906	848	750	1150	4530	TFC 7X5/20
570	5070	1275	1260		778	718	650	1020	5570	TFC 7U8/21
690	3030				906	848	750	1150	3530	TFC 7X3/21
690	4030	2015			906	848	750	1150	4530	TFC 7X4/23
810	3330				906	848	750	1150	3830	TFC 7Y3/23
930	2570				1065	983	855	1230	3070	TFC 7Z2/23
690	4830	1615	1600		906	848	750	1150	5330	TFC 7X6/25
690	4030	2015			906	848	750	1150	4530	TFC 7X4/28
690	5030	2015	1000		906	848	750	1150	5530	TFC 7X5/28
810	3330				906	848	750	1150	3830	TFC 7Y3/28
930	3830	1285	1260		1065	983	855	1230	4330	TFC 7Z3/29
810	4430	2215			906	848	750	1150	4930	TFC 7Y4/31
690	5030	2015	1000		906	848	750	1150	5530	TFC 7X5/35
930	3830	1285	1260		1065	983	855	1230	4330	TFC 7Z3/35
810	4430	2215			906	848	750	1150	4930	TFC 7Y4/37
810	5530	2215	1100		906	848	750	1150	6030	TFC 7Y5/39
930	5090	1285	2520		1065	983	855	1230	5590	TFC 7Z4/39
810	5530	2215	1100		906	848	750	1150	6030	TFC 7Y5/47
930	5090	1285	2520		1065	983	855	1230	5590	TFC 7Z4/47

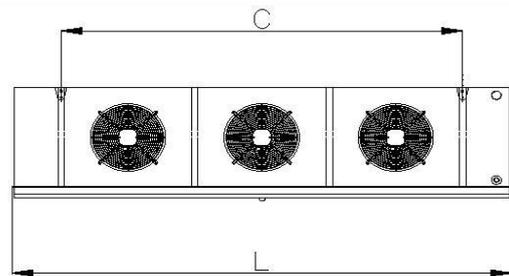
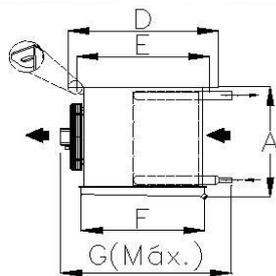


centauro

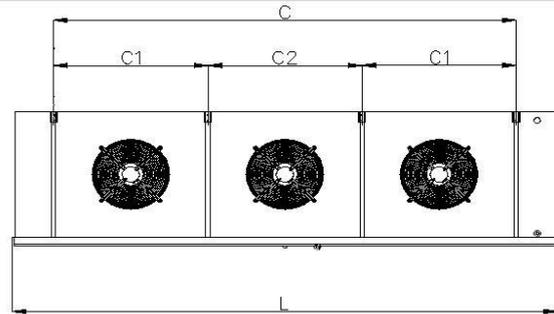
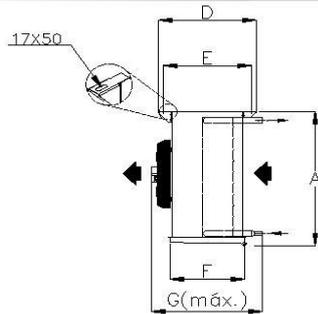
R717 - NH₃

DESENHO DRAWING DIBUJO

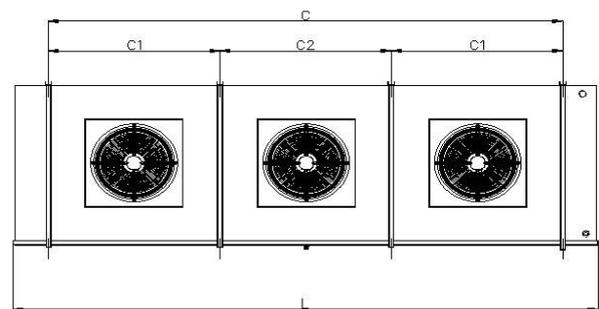
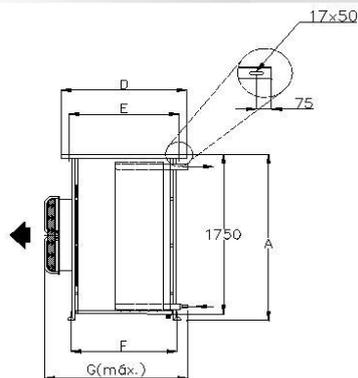
Ø350 mm



Ø400 / 450 / 500 / 560 mm



Ø800 mm





ABATEDOR PULL DOWN FREEZER ABATIDOR

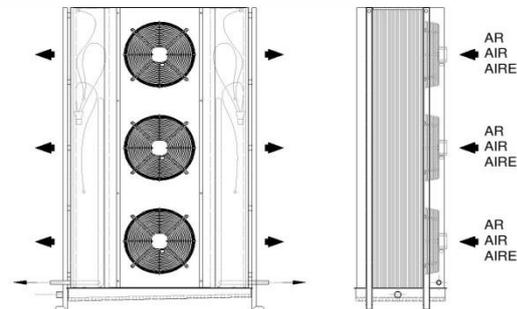
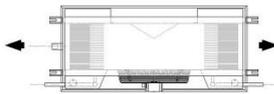
NOVA GAMA BSUD

NEW RANGE BSUD

NUEVA GAMA BSUD

Modelo
Model
Modelo

BSUD 8046/3 x 400



A gama BSUD é uma solução construtiva do tipo "duplo fluxo vertical" com tubos horizontais e não verticais para otimização do escoamento do refrigerante e do óleo e minimização das perdas de carga nos circuitos da bateria de frio sem fazer perigar um eficiente retorno de óleo.

APLICAÇÕES – abatedores de temperatura ou células compactas.

Características principais:

- Tubo horizontal, fluxo de ar horizontal e coletores verticais.
- Dupla separação de alheta: 15,8 x 7,9mm.
- Blindagem inox (opção alumínio lacado).
- Tubo de cobre (opção inox).
- Alheta de alumínio (opção revestida).
- Descongelação por gás quente na bateria e eléctrica na bandeja.
- Ventilação monofásica ou trifásica premente sobre a bateria (CF).

Abatedor para 60kg/4h de rissóis de +90°C para -18°C

- Dimensões do abatedor: 1,6x1,6x2,1m (CxLxA);
- Nº de carros: 2 com 30kg cada;
- Dimensões dos carros: 0,62x0,46x1,78 (CxLxA);
- Capacidade frigorífica: 4000W a -33°C/+40°C;
- Refrigerante: R404A, DX
- Ventilação: 3x 400mm, monofásicos;
- Caudal de ar: 6000m³/h;
- Pressão estática disponível: 80Pa;
- Separação de alhetas: 15,8 x 7,9mm;
- Superfície de permuta: 45,7m²;
- Volume interno: 24,2 dm³;
- Blindagem inox;
- Tubo de cobre especial, em costura;
- Descongelação por gás quente na bateria e eléctrica na bandeja.

BSUD, dual flow vertical cooler, with horizontal tubing and not vertical for optimization of the refrigerant and oil flow and allow lower pressure drops with no oil return problems.

APPLICATION – cooling cells like quick pull down equipment for processed food.

Main features:

- Horizontal tubing, horizontal air flow, vertical manifolds.
- Wide fins spacing 15,8 x 7,9mm,
- Stainless steel casing (leaquered aluminium as option).
- Copper tubes (stainless steel as option)
- Not gas defrost on the coil and electrical on the drain pan.
- Single phase or three phase blowing through fan arrangement.

Temperature pull down of 60kg/4h from +90°C down to -18°C

- Pull down cell dimensions: 1,6x1,6x2,1m (LxWxH);
- Nr of trolleys 2, each one with 30kg;
- Dimension of trolleys: 0,62x0,46x1,78m (LxWxH);
- Refrigeration capacity: 4000W at -33°C/+40°C;
- Refrigerant: R404A;
- Ventilation: 3 x 400, single phase;
- Air volume: 6000 m³/h;
- Available static pressure 80Pa;
- Fins spacing: 15,8 x 7,9mm;
- Special copper tube, seamless;
- Heat exchange surface: 45,7m²;
- Internal volume: 24,2dm³;
- Stainless steel casing;
- Hot gas defrost in coil and electrical on the drain pan.

La gama BSUD es una solución constructiva de lo tipo "duplo flujo vertical" con tubos horizontales y no verticales para optimización del flujo de refrigerante y aceite y para una minimización de las pérdidas de carga en los circuitos de la batería sin problemas de aceite.

APLICACIONES – abatedores de temperatura o celdas de enfriamiento compactas.

Características principales:

- Tuberia horizontal, flujo de aire horizontal e coletores verticales.
- Doble separación de aleta: 15,8 x 7,9mm.
- Carrocera inox (opção aluminio lacado).
- Tubo de cobre (opção inox).
- Aleta de aluminio (opção revestida).
- Desescarcho por gas caliente en la bateria y eléctrica en la parrilla.
- Ventilación monofásica o trifásica impelente sobre las baterias (CF).

Abatidor para 60kg/4h de empanadillas de +90°C para -18°C

- Dimensiones del abatedor: 1,6x1,6x2,1m (CxLxA);
- Nº de carros: 2 con 30kg cada;
- Dimensiones de los carros: 0,62x0,46x1,78 (CxLxA);
- Capacidad frigorífica: 4000W a -33°C/+40°C;
- Refrigerante: R404A, DX;
- Ventilação: 3 x 400mm, monofásicos;
- Caudal de aire: 6000m³/h;
- Presión estática disponible: 80Pa;
- Separación de aletas: 15,8 x 7,9mm;
- Superfície de permuta: 45,7m²;
- Volumen interno: 24,2 dm³;
- Blindaje inox;
- Tubo de cobre especial, sin costura;
- Descongelación por gas caliente en la bateria y eléctrica en la parrilla.



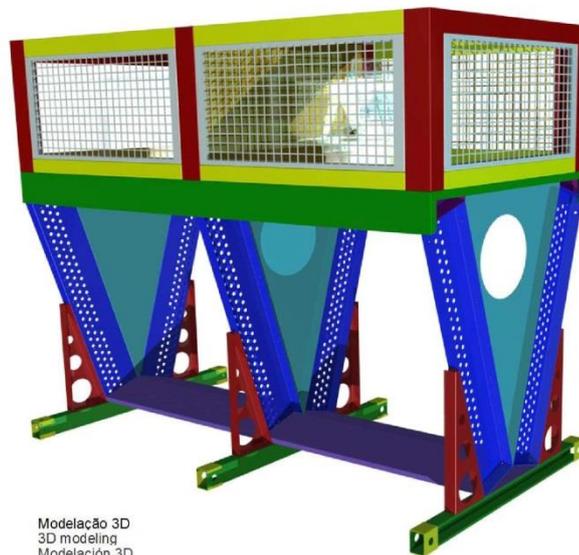
CONDENSADOR ACR ACR CONDENSER CONDENSADOR ACR

ALTERNATIVA À VENTILAÇÃO CENTRÍFUGA
ALTERNATIV TO CENTRIFUGAL FANS VENTILATION
ALTERNATIVA A LA VENTILACIÓN CENTRÍFUGA

- Alternativa à ventilação centrífuga (ACC)
- A ventilação radial, seja em AC ou EC, está sendo cada vez mais solicitada pelo mercado e a gama ACR é a resposta da Centauro.
- Maior eficiência energética.

- Alternative to centrifugal fans for ventilation (ACC)
- Radial fan ventilation, both in AC and EC versions, is more and more specified by the market. ACR is Centauro's new range.
- Higher energy efficiency.

- Alternativa a la ventilación centrífuga (ACC)
- Alternativa a la ventilación radial sea AC o EC está siendo cada vez más solicitada por el mercado y la gama ACR es la respuesta Centauro.
- Mayor eficiencia energética.



Modelação 3D
3D modeling
Modelación 3D

- Este tipo de ventilação leva um design específico dos condensadores e disponibiliza uma pressão estática bastante aceitável.
- Sob Consulta
- This fan type requires a specific design of then condenser and offers a quite acceptable static pressure
- Under request
- Este tipo de ventilación obliga a un design específico de los condensadores e disponibiliza una presión estática mui aceptable.
- Su pedido

Millennium | 2013

NOVIDADE
NEW
NUEVO

EVAPORADORES MBX / DBX MBX / DBX COOLERS
EVAPORADORES MBX / DBX

APLICAÇÃO EM CÂMARAS FRIGORÍFICAS DE SUPERMERCADO ATÉ 40m³

APPLICATION IN SUPERMARKET COLD ROOMS UP TO 40m³

APLICACIÓN EN CÂMARAS FRIGORÍFICAS DE SUPERMERCADO HASTA 40m³

- Volume interno reduzido;
- Funcionamento com HFC / R744 / Glicol;
- Ventilação suave (6 pólos - 900 rpm);
- Motoventilador de rotor externo;
- Espaço lateral reduzido para acesso às resistências.



- Reduced internal volume;
- Operation with HFC / R744 / Glycol;
- Light ventilation (6 poles - 900 rpm);
- External rotor fanmotor;
- Small lateral space required for access to heater rods.

- Volumen interno reducido;
- Funcionamiento con HFC / R744 / Glicol;
- Ventilación suave (6 polos - 900 rpm);
- Motoventilador de rotor externo;
- Espacio lateral reducido para mantenimiento de resistências.



Central em cascata para temperaturas extremamente reduzidas
Cascade rack for ultra low temperatures

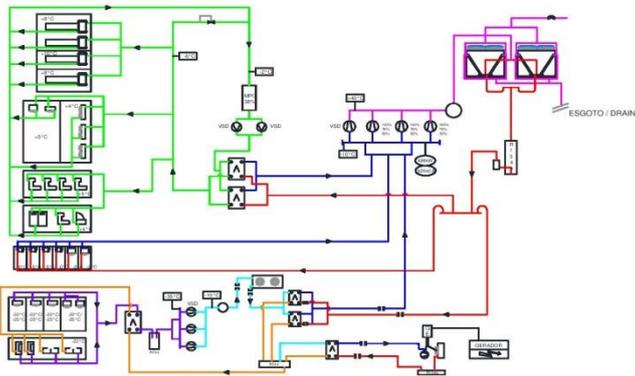


Exclusões da F-Gas
Projectos militares
Temperatura evaporação <-50°C

F-Gas exclusions
Military projects
Evaporating temperature <-50°C

Testada no laboratório
da Centauro

Tested in Centauro's
laboratory



Refrigerantes naturais

Natural refrigerants

Centrais Racks

R717 com compressores Bitzer

R744 subcrítica

R744 transcítica

Chillers para freon / Glicol

R717 with Bitzer compressors

Subcritical R744

Transcritical R744

Chillers for freon / Glycol

R744
CO₂

R717
NH₃

R290
propano propane

R718
H₂O

Glicol
Glycol



Central CO2 subcrítica
CO2 subcritical rack



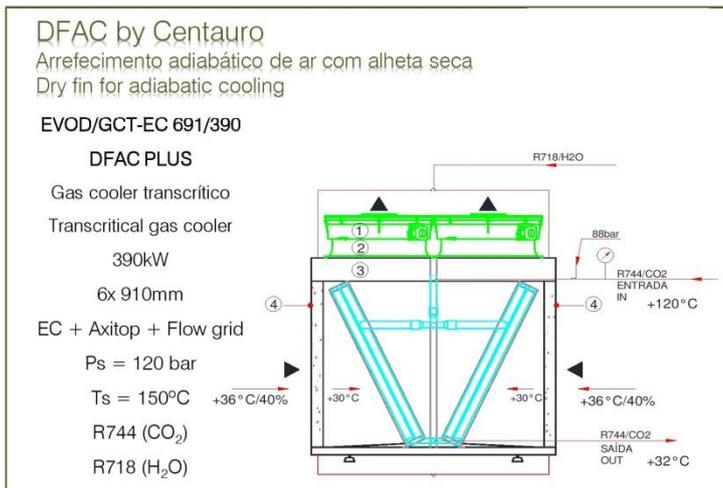
Chiller de compressores de parafuso
Screw compressor chiller rack

centauro



1x gas cooler transcritical (390kW) e 2x arrefecedores secos (2x 200kW) fornecidos e comissionados para a loja bandeira da Royal Ahold em Eindhoven
 1x transcritical gas cooler (390kW) and 2x dry coolers (2x 200kW) supplied and commissioned for the flagship shop of Royal Ahold in Eindhoven

Gas coolers
 Gas coolers

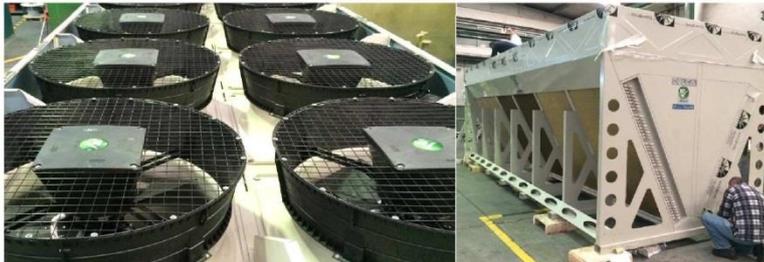


R744
 CO₂

R717
 NH₃

R290
 propano propane

Ventiladores EC + Axitop em condensador EVOD com painéis "no see, no noise"
 Axitop + EC fan motors on EVOD condenser with "no see, no noise" pannels



R718
 H₂O

Glicol
 Glycol

Night Star

centauro



A step beyond!

Unidades compactas Night Star (1)
Night Star compact units (1)

(1) Desde 2011 Since 2011



- Mais compactos
- Mais silenciosos (até 8 pólos)
- Menos mão-de-obra na instalação
- Compressores recíprocos (Bitzer, Frascold e Copeland)
- Scroll e Scroll Digital (Copeland)
- 1 ou 2 compressores
- Ventiladores AC ou EC

- More compact
- More silent (up to 8 poles)
- Less manpower during commissioning
- Reciprocating compressors (Bitzer, Frascold and Copeland)
- Scroll and Digital Scroll (Copeland)
- 1 or 2 compressors
- AC or EC fans

FY-0008-0

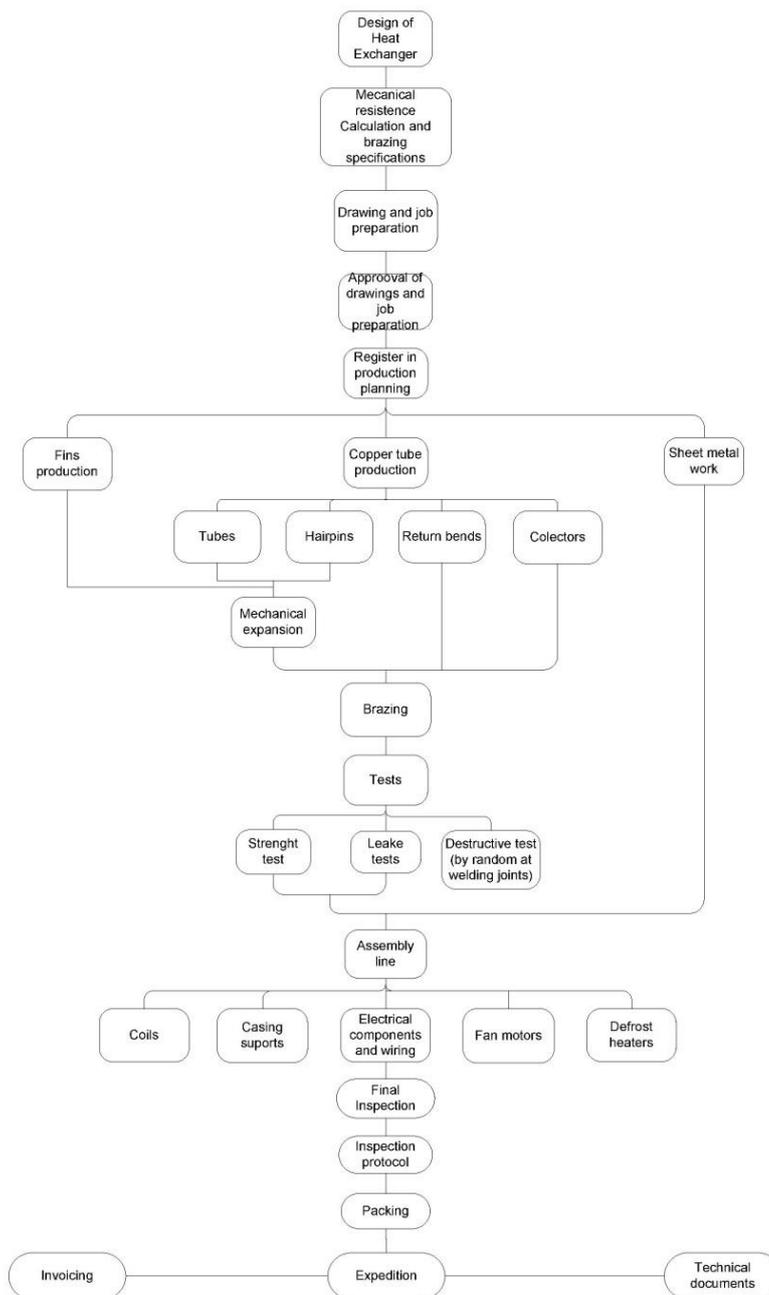
9

Anexo V – Diagramas de Produção de Equipamentos

Anexo V.A – Diagrama de produção de permutadores de calor com tubo de cobre



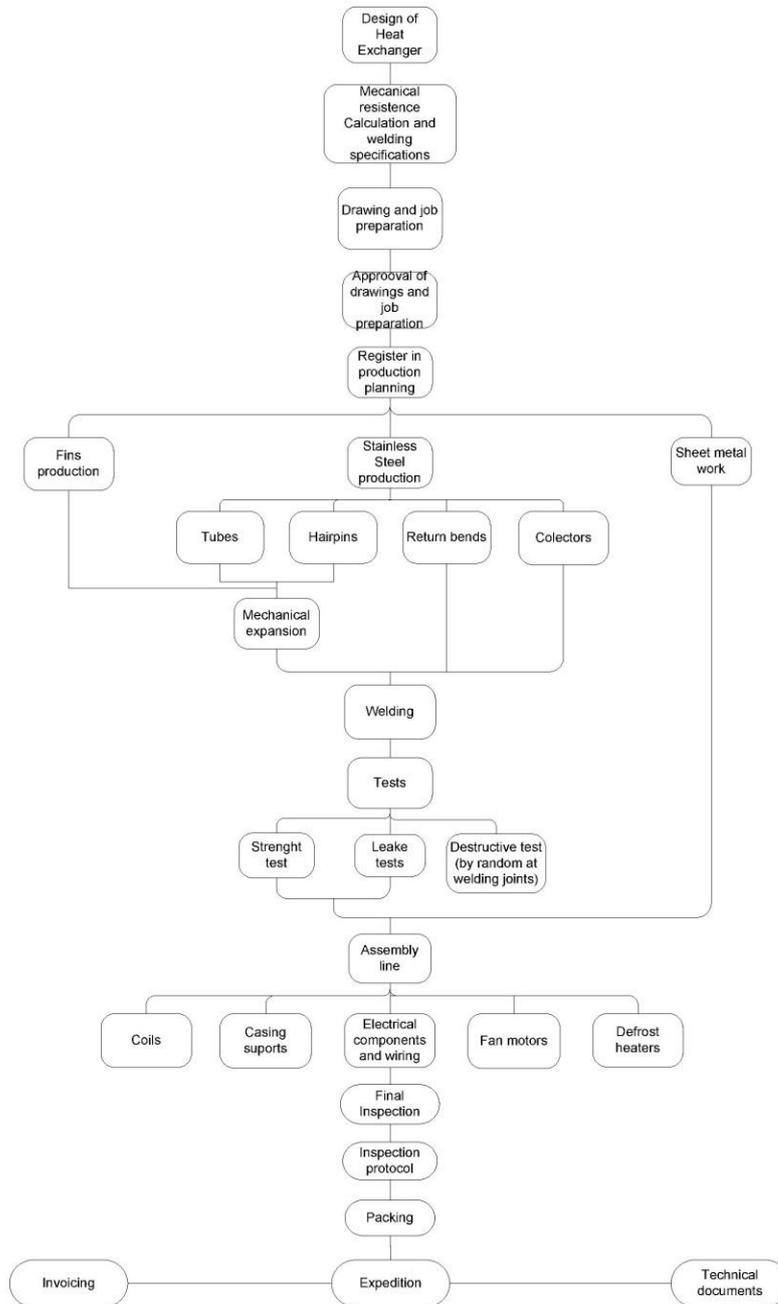
QUALITY INFORMATION



Anexo V.B – Diagrama de produção de permutadores de calor com tubos inox



QUALITY INFORMATIONS

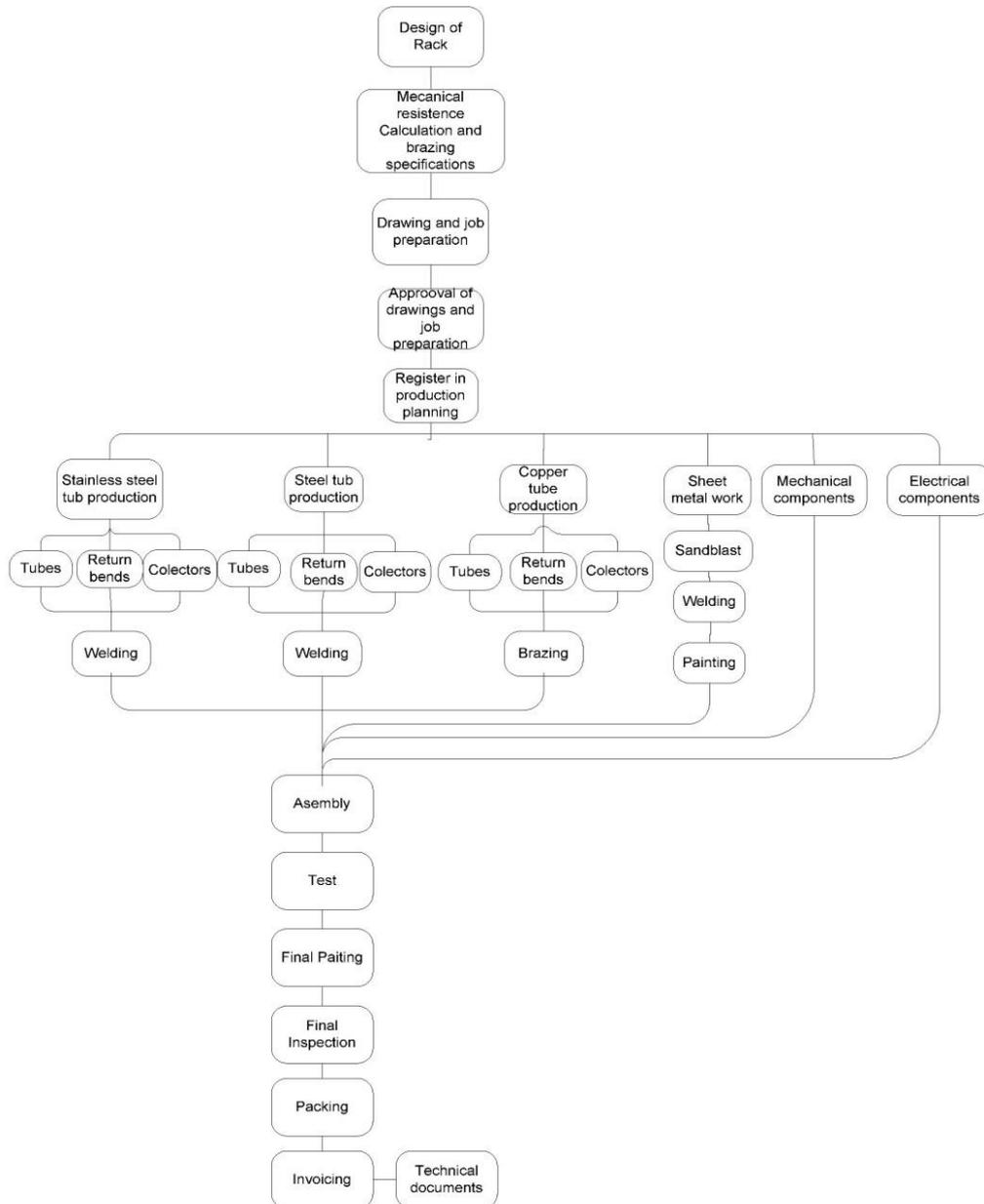




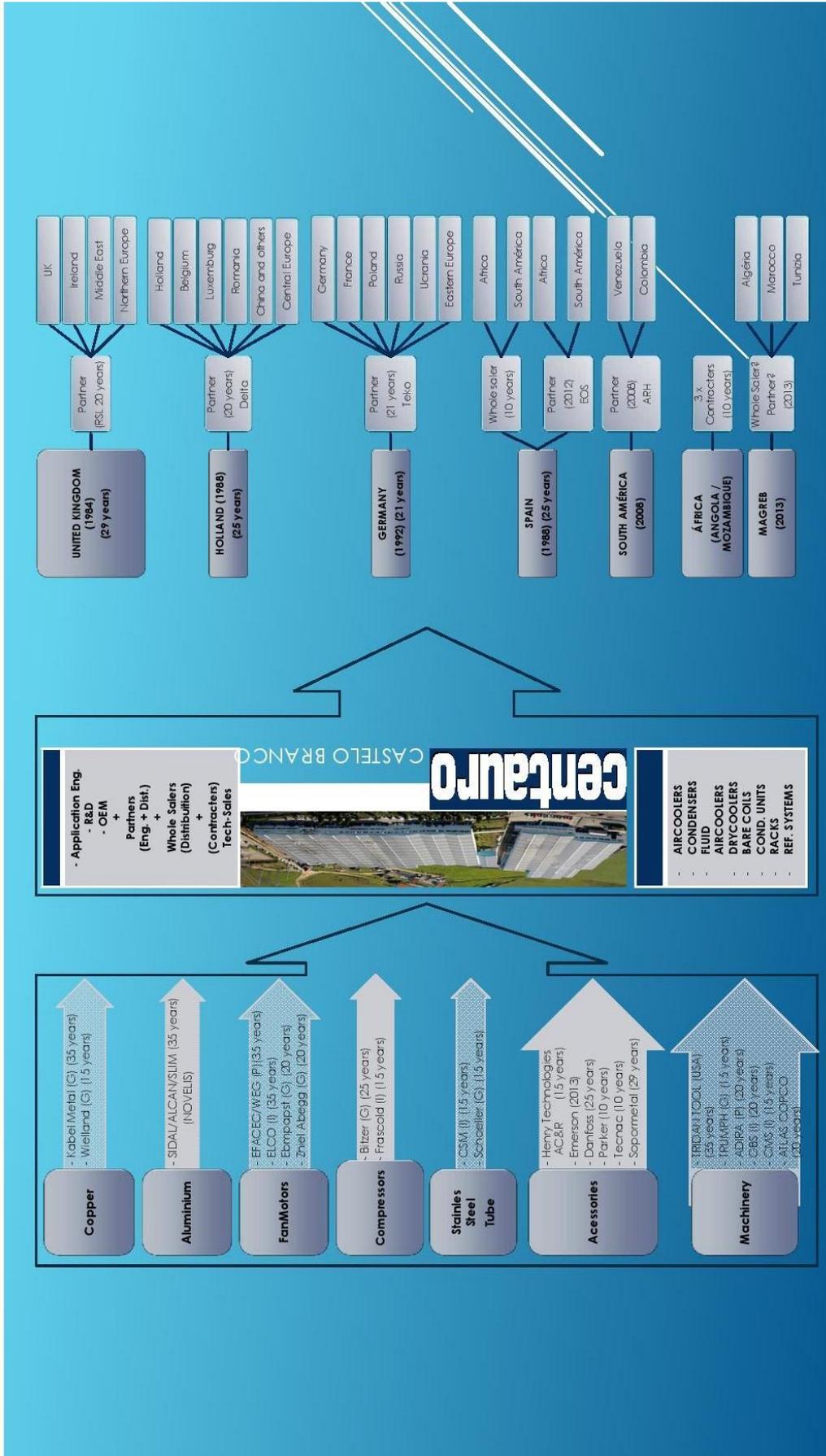
QUALITY INFORMATIONS



7) Production Diagram



Anexo VI – Panfleto publicitário Centauro de 2016



Anexo VII - Inspeção do alumínio em rolo

	DIRECÇÃO DA QUALIDADE
	INSPECÇÃO DE ALUMÍNIO EM ROLO

FORNECEDOR :	FACTURA/G.R :
ORDEM COMPRA:	AUTO RECEPÇÃO:
IDENTIFICAÇÃO DO LOTE :	QUANTIDADE CAIXAS:
TIPO:	QUANTIDADE INSPECIONAR:
ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA : ETA ALBL	TIPO DE AMOSTRAGEM: REDUZIDA

PESO DAS BOBINES NÃO ULTRAPASSA O PEDIDO	Passa/ Não passa	
--	------------------	--

PROVA DE QUINAGEM	Passa/ Não passa	
-------------------	------------------	--

ANALISE CERTIFICADO DE FABRICANTE	Passa/ Não passa	
-----------------------------------	------------------	--

	Valor ref ^a [mm]	Tolerância [mm]	Medição [mm]	Desvio [mm]	Resul.
Diâmetro interior bobine	500	-2 / +2			

	Valor ref ^a [mm]	Tolerância [mm]	Medição [mm]	Desvio [mm]	Resul.
Diâmetro exterior máximo bobine	880	----			

DESCRIÇÃO	NQA	Passa [Rej.]	Não Passa [Rej.]	Testadas	Aprovadas	Rejeitadas	Resultado
Diâmetro interior bobine	2,5	0	1				
Diâmetro exterior bobine	2,5	0	1				

INSPECÇÃO VISUAL

DESCRIÇÃO	NQA	Passa [Rej.]	Não Passa [Rej.]	Testadas	Aprovadas	Rejeitadas	Resultado
Barrotes para empilhador	2,5	0	1				
plástico envolvente	2,5	0	1				
Centro em cartão	2,5	0	1				
Cinta metálica hor. + vert.	2,5	0	1				
Sílica gel	2,5	0	1				
Ausência oxidação	2,5	0	1				

RESULTADO DA INSPECÇÃO DO LOTE :

APROVADO :	<input type="checkbox"/>	REJEITADO	<input type="checkbox"/>
------------	--------------------------	-----------	--------------------------

ANEXOS

CERTIFICADO FABRICANTE	<input type="checkbox"/>	TESTE QUINAGEM	<input type="checkbox"/>
------------------------	--------------------------	----------------	--------------------------

OBSERVAÇÕES:

DATA:	Insp. Qualidade:
-------	------------------

Mod.PI 25/0/8.2

DIRECÇÃO DA QUALIDADE

Testes de Alumínio Rolo



Mod. PI 26/1/8.2

DIRECÇÃO DA QUALIDADE

Testes de Alumínio Rolo



Mod. PI 26/1/8.2

Anexo VIII – Trabalhos de Investigação desenvolvidos em Portugal, no ramo da Refrigeração

✚ Solubilidade de novos refrigerantes em água

Da necessidade emergente em desenvolver alternativas para os CFC's, após provar-se que têm um forte potencial de destruição da camada de ozono, apontaram-se os HFC's como substitutos.

A inevitabilidade crescente de conhecer as propriedades dessas substâncias, levou os autores a determinar a solubilidade do trifluormetano, do difluormetano e do pentafluormetano em água, no intervalo de 288-3303K.

Nos resultados obtidos verificou-se que a solubilidade do difluormetano e do pentafluormetano em água é muito semelhante e que a solubilidade do trifluormetano é muito inferior, não devendo este HFC ser utilizado como primeira opção [78].

✚ Avaliação termográfica de Instalações de Refrigeração

No decorrer deste estudo foi feita uma avaliação energética a uma amostra representativa de empresas consumidoras de frio no distrito de Castelo Branco.

A avaliação energética teve como fundamento a avaliação termográfica das instalações de refrigeração, por termografia de infravermelhos, um método não intrusivo que permite determinar temperaturas superficiais dos corpos, independentemente da sua natureza, desde que a sua temperatura seja superior ao zero absoluto, há sempre emissão de radiação electromagnética.

A Figura 40 ilustra a representação esquemática do procedimento experimental.

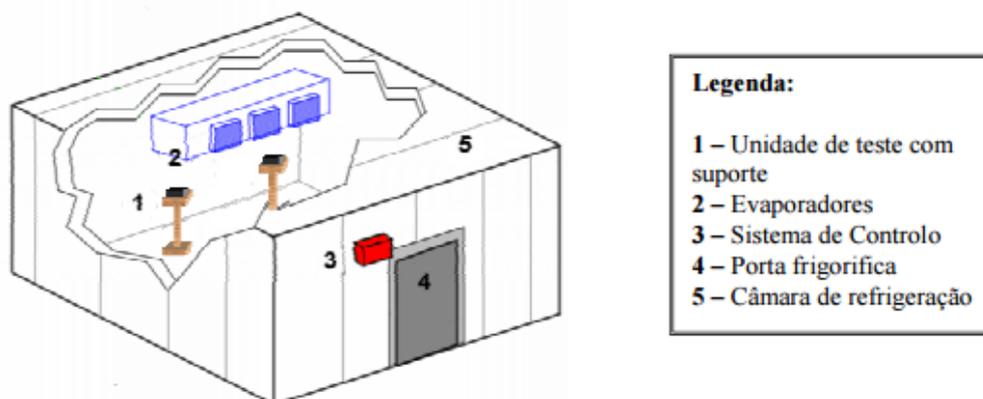


Figura 40 - Representação esquemática do procedimento experimental [79]

De forma a obter informações acerca da qualidade de distribuição de temperaturas, o equipamento termográfico foi posicionado em diversas camaras de frio.

Os resultados obtidos revelaram que a utilização de termografia por infravermelhos, juntamente com unidades de teste, representam uma boa técnica para auferir a qualidade interior das camaras de refrigeração em termos da distribuição de frio [79].

+ Captação de vapor de água em sílica gel para sistema de refrigeração a vácuo

Este trabalho de investigação teve como principal objectivo avaliar a capacidade da sílica gel na captação de vapor de água, sob as condições do processo de refrigeração a água.

A refrigeração evaporativa a vácuo surge como uma técnica que se pode tornar vantajosa relativamente aos sistemas tradicionais de refrigeração, uma vez que permite a rápida redução da temperatura, através da evaporação da água contida nos géneros alimentares, sob condições de pressão reduzida, o que consequentemente reduz o tempo de operação.

Esta técnica apresenta como principal desvantagem a formação de vapor de água, que tem que ser captado do sistema por processos de absorção ou de adsorção.

No estudo em causa, avaliou-se a adsorção do vapor de água em sílica gel, utilizando-se para o efeito diferentes quantidades de sílica em diferentes geometrias de suportes.

Concluiu-se que o par mais eficiente era aquele em que era utilizada uma maior quantidade de sílica gel, no suporte que permitia uma maior área de contacto [80].

+ Cooling Optimization Program: Ferramenta computacional para avaliação da eficiência energética

Com o intuito de promover uma melhoria do desempenho energético das indústrias de frio, desenvolveu-se uma ferramenta computacional para análise do comportamento de um conjunto de parâmetros.

A ferramenta computacional tem por base um algoritmo de análise, o Coll-OP, que é considerada uma ferramenta de apoio, pois permite perspectivar o desempenho energético e aponta soluções condutoras à melhora da eficiência energética.

O Cool-OP foi desenvolvido em MATLAB, através do *graphical user interface design environment*, que permite a criação de janelas que ilustram graficamente as correlações, após inserção dos dados de consumo anual de energia, matérias prima processada anualmente, volume das camaras de refrigeração e potência nominal dos compressores.

Durante o estudo, a ferramenta computacional foi aplicada em três situações reais e revelou resultados bastante promissores [81].

Investigação em Nanotubos de Carbono

Uma equipa de investigação da Universidade de Aveiro está a desenvolver um nanofluido super refrigerante, bastante distinto dos outros fluídos que alimentam os sistemas de refrigeração, uma vez que permite melhorias muito significativas na performance dos equipamentos.

O fluido é constituído por um material base de água e etilenoglicol. A sua especificidade deve-se à adição de nanopartículas, constituídas por nanotubos de carbono.

O principal carácter inovador do nanofluido está relacionado com a sua elevada condutividade térmica e estabilidade ao longo do tempo, o que permite melhorar em mais de 20% a sua eficácia face aos tradicionais fluidos frigoríficos.

A viabilidade da sua aplicação em sistemas reais encontra-se em estudo [82].

Simulação e optimização do consumo energético em câmaras frigoríficas

De forma a contribuir com a implementação de medidas de eficiência energética na indústria, este trabalho desenvolveu uma metodologia para a simulação e optimização do consumo energético em câmaras frigoríficas, de forma a melhorar os seus parâmetros construtivos e operacionais que causam a infiltração de calor.

A metodologia determinou que os parâmetros que têm maior influência no consumo de energia são os que estão directamente relacionados com o corte térmico, com o isolamento e entrada de ar quente, e baseou-se em estratégias analíticas que determinam o gasto energético dos componentes das instalações frigoríficas.

Os resultados obtidos revelaram que é possível obter poupanças energéticas na ordem dos 40%, aquando a aplicação de medidas de eficiência energética.

A metodologia apresentada demonstrou-se de utilidade relevante, como ferramenta de auxílio à definição de medidas adequadas a implementar em diversos sistemas de frio, à avaliação de potenciais de economia de energia e à análise de potenciais de viabilidade económica [83].

Tecnologias emergentes e ferramentas de análise de desempenho energético

No âmbito da problemática associada à eficiência energética, a ADAI desenvolveu alguns estudos de investigação relevantes para o sector da refrigeração.

Algumas abordagens são de interesse imediato para a melhoria da indústria, outras apresentam resultados promissores e com potencialidades de desenvolvimento futuro [84].

- **Arrefecimento Solar**

A refrigeração com energia solar é uma das mais promissoras tecnologias de sustentabilidade energética. Neste âmbito construiu-se e testou-se um protótipo de um frigorífico solar com ciclo de refrigeração por adsorção.

A adsorção é um processo de fixação de moléculas de um fluido, denominado adsorvato, à superfície de um sólido poroso, denominado adsorvente.

Actualmente já são conhecidas diversas tecnologias que produzem o efeito de refrigeração através da energia solar, tais como os sistemas exclusivamente térmicos que incluem tecnologias de produção de frio por absorção e adsorção, e os sistemas eléctricos, que incluem os sistemas mais tradicionais de refrigeração alimentados por electricidade gerada através de painéis fotovoltaicos.

O protótipo construído contém um colectador solar (estrutura que contém o adsorvente e capta a radiação nele incidente), um condensador, um evaporador, um reservatório (para armazenar a água condensada durante o dia) e uma camara frigorífica, conforme se pode verificar na Figura 41.

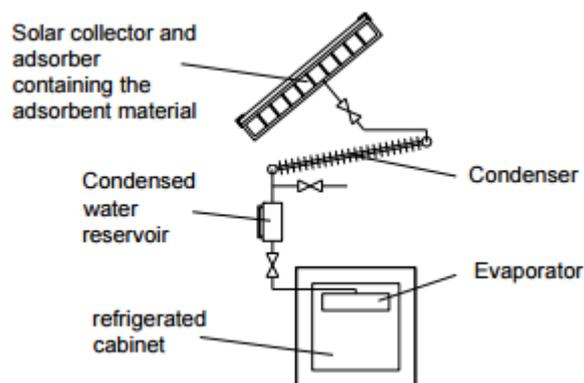


Figura 41 - Diagrama esquemático do sistema de refrigeração a adsorção solar [85]

O sistema de refrigeração investigado utiliza um par adsorvente/adsorvato e tem um princípio de funcionamento simplificado. Durante o dia o adsorvente é regenerado com energia solar, libertando vapor de água que é condensado e acumulado no reservatório. Durante a noite, a válvula inferior do reservatório que fica fechada durante o dia, é aberta e o líquido flui para o evaporador o que leva ao arrefecimento do adsorvente.

O calor de adsorção é libertado através da placa do colectador para o meio exterior e a pressão do sistema diminui causando a evaporação da água condensada e por sua vez o efeito de refrigeração.

Concluiu-se que, apesar de esta tecnologia ainda estar um pouco longe de ser colocada em prática uma vez que são necessários testes de fiabilidade, optimização do sistema e adaptação a aplicações praticas, é uma via bastante promissora [84][85].

- **Processos para aumento da taxa de arrefecimento**

O estudo incidiu sobre uma técnica de arrefecimento rápido de produtos alimentares, em especial bebidas, e consiste na vaporização a baixa pressão, através de bombas de vácuo.

Foi feita a caracterização detalhada do processo de vaporização a baixa pressão. Para o efeito realizou-se uma análise integrada da influência da temperatura e volume inicial (T0 e V0) da água líquida no processo

A evolução da temperatura e pressão da água foi verificada ao longo da camara de vaporização. O protótipo experimental era composto por dois componentes principais: a camara de vaporização (VC) e um sistema de despressurização (DS), tal como ilustrado na Figura 42.

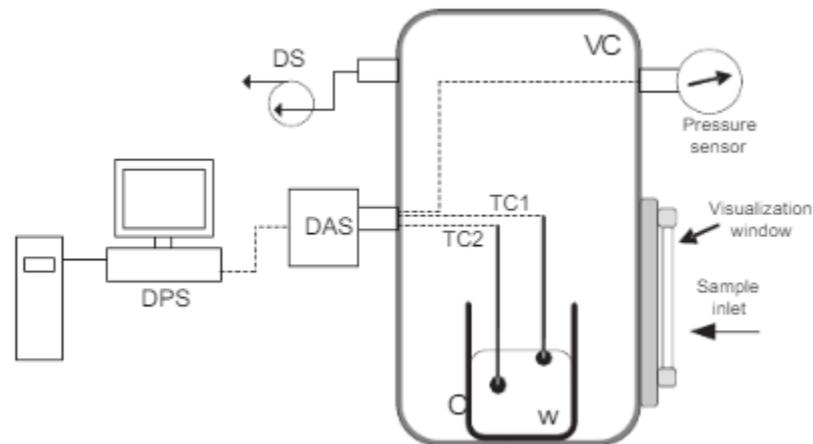


Figura 42 - Diagrama esquemático do protótipo experimental para o processo de vaporização a alta pressão.

(DS – Sistema de despressurização; DAS – Sistema de aquisição de dados; DPS – Processador de dados; VC – camara de vaporização; W- água) [86]

Uma parte da camara de vaporização é ocupada por um recipiente aberto para a água. Para a realização do estudo, foram testados dois recipientes com áreas de superfície e alturas diferentes, ambos com uma condutividade térmica desprezável.

Os resultados obtidos revelaram que os parâmetros estudados (T0 e V0) têm uma grande influência sobre o grau de sobreaquecimento e conseqüentemente sobre a evolução do processo, bem como sobre a quantidade de água vaporizada para atingir o grau de arrefecimento pretendido.

Concluiu-se que o adequado controlo e caracterização dos parâmetros de entrada no processo de vaporização a baixa temperatura permite a redução da quantidade de água vaporizada, bem como da energia necessária ao sistema para realizar o processo [86].

Paralelamente, e dentro do mesmo âmbito, foi realizado um estudo que visou o desenvolvimento e validação de modelo matemático no processo de vaporização a baixa pressão, em diferentes meios porosos.

O referido estudo teve como objectivo a optimização de modelos já existentes, considerando alguns aspectos que não foram abordados durante o desenvolvimento dos mesmos, tais como: a pressão de vapor não é igual em toda a câmara de vaporização, a pressão de vapor interfacial não é igual à pressão de saturação e o meio em que se encontra a instalação exerce uma grande influência sobre os fenómenos de vaporização.

Para o efeito, foi executado um procedimento de calibração experimental, envolvendo parâmetros da vaporização a baixa pressão, representados por um conjunto de funções multivariáveis e determinados a partir de uma série de experiências realizadas em diferentes tipos de meios porosos, cada um caracterizado por um valor de T_0 .

Verificou-se que o modelo desenvolvido é mais completo do que os já existentes e descreve bem as condições experimentais, perspectivando tornar-se num modelo de referência para várias aplicações [87].

- **Estudo da Viabilidade de um sistema de trigerção na indústria de congelação de peixe**

Este artigo descreve o estudo da viabilidade de um sistema de trigerção com a capacidade de produção de frio na ordem dos -33°C numa planta de congelação de peixe, com o objectivo de substituir o *chiller* por compressão de vapor que é responsável por cerca de 65% do consumo energético das instalações.

Devido ao aumento constante dos custos de electricidade, os sistemas de trigerção estão a ganhar cada vez mais importância e devem ser sempre considerados em instalações de média e grande dimensão, de forma a promover a racionalização máxima das fontes de energia.

Concluiu-se que a trigerção ainda não é um método viável para temperaturas de congelamento, uma vez que não tem a capacidade de competir com o sistema de compressão a amoníaco.

A viabilidade energética e económica destes sistemas requer sempre uma profunda análise às necessidades e fluxos de energia específicos de cada indústria ou instalação.

O índice de poupança de energia primária ficou abaixo dos 10%, o mínimo exigido para que se justifiquem alterações desta natureza e neste caso o custo associado à implementação destes sistemas versus a poupança de energia conseguida determinou que a adopção desta inovação não era justificável [88].

- **Aumento da eficiência de fornos de alta temperatura através de cogeração**

À semelhança do trabalho descrito anteriormente, também foi realizado um estudo sobre o impacto da cogeração na indústria metalúrgica.

Com base nos requisitos de energia dos fornos metalúrgicos contínuos, de tratamento térmico, foram comparados vários cenários de eficiência energética e de cogeração numa instalação metalúrgica.

Foi projectada uma cascata de energia e foram analisadas várias hipóteses de resposta às exigências térmicas de vários fornos de tratamento térmico, cada um com diferentes valores de temperatura de *set point* e operacionais. O cenário que apresentou índices mais elevados de poupança de energia primária é aquele que tem um tipo especial de turbina a gás, que devido às suas especificações requer uma maior quantidade de ar e é assim capaz de fornecer O₂ suficiente a uma pós combustão, nos queimadores existentes.

O resultado obtido revelou que os fornos têm a capacidade de atingir temperaturas necessárias de forma a que haja um ajuste e se possa incluir a cogeração no sistema operacional das instalações industriais.

Esta solução juntamente com acções adicionais de poupança de energia representam uma poupança de cerca de 7.9% de energia primaria, uma redução na ordem dos 5% das emissões de CO₂ e uma redução de custos de energia de mais de 40% [89].

Apesar deste trabalho de investigação não estar directamente ligado aos sistemas de refrigeração, representa uma hipótese a considerar nas instalações industriais de fabricação de equipamentos de frio industrial, uma vez que estas utilizam fornos nos seus processos produtivos.

- **Ferramentas avançadas para avaliação do desempenho energético**

Para além das campanhas de monitorização energética, o recurso a ferramentas avançadas de modelação de instalações e sistemas energéticos tornou-se fundamental para a caracterização das instalações, apoio á desagregação dos consumos e estudo do impacto da aplicação de medidas de racionalização energética.

O aumento actual do consumo energético dos edifícios requer novas abordagens para resolver os problemas económicos, ambientais e regulamentares.

Métodos exérgicos são ferramentas termodinâmicas que visam a procura de fontes de ineficiência nos sistemas de conversão de energia, indetectáveis pelas técnicas actuais de energia.

Foi realizada uma análise termodinâmica detalhada do ciclo aberto de sistemas de refrigeração dissecante (DSC).

Estes sistemas não são mais do que equipamentos aplicados das cortinas de ar dos sistemas de refrigeração e podem fornecer reduções de utilização de energia primária.

A análise termodinâmica destinou-se a avaliar o desempenho total da energia e da exergia da instalação e identificar os componentes mais ineficientes, associados às fontes mais elevadas de irreversibilidades.

Foram destacadas as principais limitações dos métodos de energia e as oportunidades oferecidas pela exergia para melhorar o desempenho dos sistemas.

Como caso de estudo foi utilizado um modelo calibrado TRNSYS (ferramenta computacional de modelação e avaliação da eficiência energética de edifícios). Identificou-se a caldeira e o refrigerador como os componentes mais ineficientes da instalação e sugeriu-se a sua substituição por sistemas de alto rendimento [90].

Previsão do ganho de calor das paredes externas: Uma abordagem inovadora com base do método de Mackey and Wright

As ferramentas de simulação para o cálculo de cargas térmicas contêm algumas imprecisões e incertezas, tais como as propriedades térmicas, as infiltrações de ar e as taxas de ocupação, pelo que a carga térmica apenas representa uma estimativa da carga térmica real.

Neste contexto, métodos simplificados podem oferecer mais equilíbrio entre o esforço e a precisão dos resultados, do que sistemas computacionais mais avançados.

O método Mackey and Wright é um método simplificado que determina a taxa instantânea de transferência de calor de uma parede, através da sua superfície interior. Assume um comportamento cíclico e é dotado de uma boa precisão, no entanto tem um erro não negligenciável quando as paredes têm uma elevada inércia térmica.

Assim, o objectivo do estudo passou por desenvolver um processo simplificado, que melhora consideravelmente a precisão do método de Mackey and Wright, em particular para as excitações que se afastam da forma sinusoidal.

Para tal, decompuseram-se as referidas excitações em series Fourier e reconstruiu-se o comportamento térmico das paredes através da aplicação do método Mackey and Wright, para cada um dos componentes sinusoidais decompostos.

Apesar de se verificar ser um método mais preciso, a sua aplicação requer o conhecimento prévio dos factores de diminuição de tempo associados a cada componente da série de Fourier, o que pode representar uma quantidade considerável de dados.

Concluiu-se que o método não só apresenta resultados mais precisos, como também tem bastante interesse para aplicação em paredes que vão desde construção maciça a construção de massa desprezável [91].

Semicondutores Termístor utilizados na medição de fluxo de ar

Este trabalho apresentou uma técnica experimental adequada à medição de fluxos de ar de baixa velocidade, utilizando um termístor semiconductor como sensor de velocidade.

Os semicondutores termístor, utilizados como sensores para medição de baixas velocidades de ar são sujeitos a ciclos de aquecimento e refrigeração controlados por um temporizador multifuncional.

Na fase de aquecimento, a corrente alternada de uma fonte de alimentação principal garante uma distribuição de energia uniforme.

O circuito de condicionamento assegura o adequado aumento da temperatura nos sensores e evita eventuais perturbações térmicas do fluxo.

Na fase de arrefecimento, a variação da resistência do sensor de fluxo é registada pelo sistema de aquisição de dados.

O estudo do comportamento resistivo de um termístor na fase de arrefecimento é um princípio que proporciona variações significativas de resistência e permite a medição da velocidade numa escala que são raros os sistemas que conseguem fazer a sua detecção.

Após teste e validação do método, concluiu-se que o erro de incerteza padrão é cerca de 4% para medições de velocidade abaixo de 0.5 ms^{-1} e 1.5% para medições de velocidade entre 0.5 ms^{-1} e 2 ms^{-1} .

Como a maior parte dos dispositivos de medição de velocidade só faz detecção a partir de 2 ms^{-1} , esta vertente reúne condições para aplicação na indústria, após optimização [92].

Influência do clima e do caudal de ar variável em função da demanda para sistema centralizado

O trabalho acima indicado visou o desenvolvimento de uma aplicação informática que permite simular o comportamento dinâmico de situações reais de funcionamento de sistemas de tratamento de ar.

Visando a redução do consumo energético associado á utilização dos sistemas de climatização, foi desenvolvido um modelo matemático para os processos físicos e

termodinâmicos característicos de uma unidade de tratamento de ar, foi implementada uma aplicação informática e foi validado o seu funcionamento através de testes realizados em laboratório e espaços climatizados.

A investigação permitiu determinar a influência do clima e do caudal de ar insuflado, no consumo energético associado às condições de conforto do ambiente interior na estação de aquecimento.

A ferramenta informática desenvolvida perspectiva-se como uma excelente ajuda na análise económica a efectuar, aquando a reabilitação de serviços existentes ou na implementação de sistemas de tratamento de ar em edifícios novos [93].

Novos desafios no confinamento de fluidos frigoríficos

Os requisitos cada vez mais apertados no que respeita ao confinamento de gases fluorados têm origem nas preocupações ambientais. Por esta razão a comunidade europeia estabeleceu a obrigatoriedade de inspecções periódicas a todos os equipamentos de refrigeração que utilizem mais de 3 kg de gás.

Os métodos de detecção de fugas têm sido alvo de diversas pesquisas, a nível nacional e internacional, e existe uma grande variedade de técnicas disponíveis (método da bolha, detectores de infravermelhos, imagem por laser, detectores de efeito Corona, detectores de ânodo quente, tocha de halogéneo, detectores de condutividade térmica e espectrometria de massa).

Neste contexto, o laboratório de tecnologia e metrologia de vácuo (METROVAC), parte integrante do centro de física e investigação tecnológica da FCT, pretende intervir com a oferta de serviços de qualificação de detectores de fugas e calibração de fugas de referência.

Nos projectos em curso é visado o desenvolvimento de um sistema de detectores de fugas conforme a EN14624 e a implementação de um método de calibração de fugas de referência aplicável a qualquer gás [94].

Película Biodegradável

Não menos importante que os sistemas de refrigeração, os métodos de protecção de alimentos alvo de processos de conservação através da aplicação de frio, vulgo embalagens, também têm uma enorme relevância no que toca à segurança alimentar.

Neste sentido, o centro de engenharia biológica da universidade do Minho tem em curso um projecto que visa a produção e aplicação de películas biodegradáveis.

Esta tecnologia eco-eficiente permite, através da utilização de materiais comestíveis, criar películas protectoras para aumentar o tempo de conservação dos alimentos e ainda reduzir a utilização de materiais sintéticos, maioritariamente oriundos do petróleo.

As embalagens desenvolvidas assemelham-se às películas de plástico vulgarmente utilizadas pela indústria alimentar, no entanto as semelhanças são apenas visuais.

A indústria alimentar demonstrou grande interesse nesta nova tecnologia e em parceria com algumas empresas já foram desenvolvidas três tipos de películas que aguardam a validação industrial [95].

Applying design of experiments to a Compression Refrigeration Cycle

O objectivo deste estudo visou a análise das variáveis controláveis na eficiência de compressão.

Os ciclos de refrigeração têm diversas aplicações e a sua eficiência depende de diversas variáveis.

De forma a maximizar a eficiência do ciclo, foi aplicado um modelo polinomial quadrático do coeficiente de performance (COP) e foram configuradas as suas variáveis.

Expressa a relação funcional entre as variáveis de projecto e a resposta, o modelo fornece uma estimativa em qualquer ponto dentro da região experimental.

Para realização dos testes foi utilizada uma pequena instalação didáctica.

Os resultados obtidos demonstraram que excepto na temperatura de entrada da água no condensador, as restantes variáveis devem ser sempre majoradas de forma a aumentar a eficiência do ciclo.

Perspectiva-se que futuramente possam ser testados equipamentos domésticos e industriais, com diferentes fluídos frigoríficos e com diferentes compressores [96].

Study of CO₂ Transcritical Cycle for Refrigerating and Heat Pump Systems

Este trabalho teve como objectivo estudar um ciclo transcritical de CO₂ para refrigeração e bomba de calor e foi motivado pelo facto da pesquisa tecnológica dos ciclos transcriticals permitir um melhor conhecimento dos componentes do sistema e por sua vez fazer algumas melhorias e desenvolver a tecnologia.

O equipamento de teste utilizado foi uma máquina de refrigeração do tipo *vending*. Foram ainda utilizados equipamentos termográficos, termopares, termo-higrómetros e anemómetros e um software computacional de simulação [97].