



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**



**Equipamentos de congelação industrial de produtos alimentares perecíveis: análise comparada de apoio à decisão**

**BRUNO MIGUEL RODRIGUES LEITÃO**

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientadores:

Prof. Eng.º António Manuel Matos Guerra

Prof. Eng.º Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

Júri:

Presidente: Prof. Dr. Rui Pedro Chedas de Sampaio

Vogais:

Prof. Eng.º João Antero Cardoso

Prof. Eng.º Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

**Fevereiro de 2015**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

**Equipamentos de congelação industrial de produtos  
alimentares perecíveis: análise comparada de apoio à  
decisão**

**BRUNO MIGUEL RODRIGUES LEITÃO**

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientadores:

Prof. Eng.º António Manuel Matos Guerra

Prof. Eng.º Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

Júri:

Presidente: Prof. Dr. Rui Pedro Chedas de Sampaio

Vogais:

Prof. Eng.º João Antero Cardoso

Prof. Eng.º Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

**Fevereiro de 2015**

## Resumo

Os processos de conservação de alimentos sempre estiveram de uma certa forma ligados às características específicas de cada país, que conduziram a opções de conservação mais banalizadas dos géneros alimentares. Ao longo dos tempos foram evoluindo para processos cada vez mais uniformizados, devido ao desenvolvimento da tecnologia e à facilidade de como essa tecnologia se transmite, se vende ou adquire, graças aos processos modernos da atividade comercial, o marketing, a televisão e a comunicação escrita e visual.

Neste trabalho fez-se um estudo dos diferentes meios de conservação de alimentos perecíveis, em particular o do camarão. Todos os processos de conservação são importantes, no entanto o processo de conservação pelo frio é o mais atual e mais adaptado às condições de conservação de produtos alimentares perecíveis e por isso vai-se dar maior destaque a este processo. Este estudo irá assim focar-se nas mudanças ocorridas durante a congelação, como seja a formação dos cristais de gelo, a velocidade de congelamento e os efeitos da congelação e descongelação na qualidade do produto.

Outro objetivo deste trabalho é comparar o processo de congelação por congelador placas e túnel clássico com um túnel de congelação criogénica.

Dos dados obtidos pode-se concluir que o método de congelação mais económico é o por meio de congelação clássica.

Devido aos elevados custos associados à congelação criogénica esta apenas se justifica a quando da necessidade urgente de congelação de grandes quantidades de produto num curto espaço de tempo e em produtos de elevado valor comercial.

**Palavras-chave:** Técnicas de conservação de produtos alimentares, Refrigeração, Congelação, Ciclo frigorífico, Congelação por meio de placas, Túnel de congelação, Congelação criogénica, Fluidos frigorígenos, Fluidos criogénicos, Cristais de gelo.

## **Abstract**

The food conservation processes have always been linked in some way to the specific characteristics of each country, which led to more conservation trivial technics that over time have evolved to increasingly standardized processes. Those have developed through the years into more and more uniform processes due to the development of technology and the ease of how this technology spreads and sells, thanks to modern methods of doing business, marketing, television and the written and visual communication.

In this paper a study of different means of preservation of perishable foods, particularly shrimp was made. All conservation processes are important, however the process of conservation by cold is the most current and adapted to the conditions of preservation of perishable food products. The paper gives a greater prominence to this process, focusing on the respective changes during freezing, such as the formation of ice crystals, the rate of freezing and defrosting and freezing effects on product quality.

Another objective of this study is to compare the freezing process by freezer plates and classic tunnel with a cryogenic freezing tunnel.

From the data obtained it can be concluded that the most economical method of freezing is the classical freezing.

Due to the high costs associated with cryogenic freezing, this method is only justified when there is an urgent need to freeze large quantities of product in a short period of time and in products of high commercial value.

**Keywords:** techniques of food preservation, refrigeration, freezing, fridge Cycle, plate's freezer, cryogenic freezing, cryogenic fluids, Ice Crystals.

## Lista de Símbolos

$C_e$  - Calor específico [J/kg.K]

$Q_H$  - Quantidade de calor cedida pela fonte quente [J]

$Q_L$  - Quantidade de calor recebida pela fonte fria [J]

$W$  - Trabalho [J]

$m$  - Massa [kg]

$\Delta T$  - diferença de temperatura [K]

$W_c$  - Potência teórica do compressor [W]

$m_f$  - Fluxo do fluido frigorigéneo [kg/h]

$Q_C$  - Calor rejeitado pelo condensador [W]

$Q_E$  - Capacidade de refrigeração no evaporador [W]

COP - Coeficiente de desempenho (Coefficient of Performance)

$Q$  - Quantidade de calor por unidade de tempo [W]

$K$  - Coeficiente global de transmissão térmica [W/(m<sup>2</sup>.K)]

$dS$  - Área de transmissão térmica [m<sup>2</sup>]

$dT/dX$  - Gradiente de temperatura segundo a direcção de transmissão de calor [K]

$h_c$  - Coeficiente de transmissão de calor [W/(m<sup>2</sup>.K)]

$A$  - Área de transmissão térmica [m<sup>2</sup>]

$T_s$  - Temperatura da parede do sólido [K]

$T_\infty$  - Temperatura do meio [K]

$E$  - Energia emitida por radiação [W]

$\epsilon$  - Emissividade ( $0 < \epsilon < 1$ ) se  $\epsilon = 1$  é um corpo negro

$\sigma$  - Constante de Stefan - Boltzmann ( $56,7 \times 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>.°K<sup>4</sup>])

$T^4$  - Temperatura absoluta do corpo [K]

$\lambda$  - Coeficiente de condutividade térmica (W/m.°C)

$h$  - Entalpia (kJ/kg)

Ton - Tonelada (1000Kg)

## Nomenclatura

R125 – Pentafluoroetano ( $\text{CF}_3\text{CHF}_2$ )

R134A – Tetrafluoroetano ( $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ )

R143A – Trifluoroetano ( $\text{CF}_3\text{CH}_3$ )

R22 - Hidroclorofluorocarboneto (HCFC)

R404A – Fluido frigorigéneo (constituído por R143a, R125 e R134a)

R717 – Fluido frigorigéneo (amoníaco)

HFC – Hidrofluorocarboneto

ODP - Ozone Depletion Potential

GWP - Global Warming Potential

$\text{NH}_3$  – Amoníaco

$\text{N}_2$  – Azoto

$\text{LN}_2$  – Azoto líquido

$\text{CO}_2$  – Dióxido de carbono

$\text{LCO}_2$  – Dióxido de carbono líquido

PTN – Pressão e temperatura normal (76mm de Hg; 25°C)

$\text{NaCl}$  – Cloreto de sódio

IQF - Individually Quick Frozen

F.A.O. - Food and Agriculture Organization

EPS - Poliestireno expandido

# Índice

1. Introdução.....	1
2. Preservação dos produtos Alimentares .....	3
2.1 Abordagem histórica .....	3
2.2 Produtos alimentares .....	4
2.3 Fatores que influenciam a conservação dos produtos.....	4
2.4 Técnicas de preservação e conservação dos produtos alimentares.....	5
2.4.1 Técnicas de conservação pelo uso do calor.....	5
2.4.1.1 Secagem.....	5
2.4.1.2 Desidratação.....	6
2.4.1.3 Desidratação mecânica .....	7
2.4.1.4 Desidratação por osmose .....	7
2.4.1.5 Pasteurização .....	8
2.4.1.6 Esterilização.....	8
2.4.1.7 Branqueamento .....	9
2.4.2 Técnicas de conservação pelo uso do frio.....	10
2.4.2.1 Refrigeração.....	10
2.4.2.2 Congelação .....	11
2.4.3 Aditivos.....	12
2.4.4 Outras técnicas.....	13
2.4.4.1 Extrusão .....	13
2.4.4.2 Alta Pressão Hidrostática.....	13
2.4.4.3 Irradiação .....	14
2.4.4.5 Fermentação.....	15
2.4.4.6 Fumagem .....	15
2.4.4.7 Liofilização .....	15

2.4.4.8	Salga .....	16
3.	Entrepasto frigorífico .....	17
4.	Ciclo frigorífico .....	19
4.1	Ciclo Teórico Simples (Ideal) .....	19
4.2	Comparação ente Ciclo Real e Ciclo Teórico Simples .....	22
5.	Refrigeração .....	25
5.1	Principais sistemas de refrigeração .....	25
5.1.1	Refrigeração mecânica .....	25
5.1.2	Refrigeração criogénica .....	28
5.2	Fatores a ser considerados no armazenamento dos alimentos sob refrigeração	35
6.	Congelação .....	37
6.1	Congelação lenta e congelação rápida .....	39
6.1.1	Congelação lenta .....	39
6.1.2	Congelação rápida .....	39
6.2	Vantagens que a congelação rápida apresenta sobre a lenta .....	40
6.3	Cristais de gelo .....	40
7.	Descongelação .....	43
7.1	Influência que a congelação e a descongelação exercem sobre a qualidade dos alimentos .....	43
8.	Métodos de congelação .....	44
8.1	Congelação por meio de sistemas frigoríficos .....	44
8.1.1	Tuneis de ar clássico .....	44
8.1.1.1	Túneis contínuos .....	45
8.1.1.1.1	Túnel de congelação por ar parado ( <i>Still air sharp freezing</i> ) .....	45
8.1.1.1.2	Túnel de congelação por ar forçado ( <i>Air blast freezing</i> ) .....	46
8.1.1.1.3	Túnel de congelação de leito fluidizado .....	46
8.1.1.1.4	Túnel de congelação em espiral ( <i>Spiral air blast freezer</i> ) .....	46

8.1.1.1.5	Túnel de congelação em cintas transportadoras.....	47
8.1.1.2	Túneis descontínuos .....	48
8.1.2	Congelador de placas (Contact freezing) .....	48
8.2	Salmouras (Brine immersion freezing) .....	49
8.3	Congelação criogénica .....	49
8.3.1	Congeladores de Contacto direto.....	50
8.3.1.1	Congelador de imersão .....	50
8.3.1.1.1	Congelador de imersão por cintas transportadoras .....	51
8.3.1.1.2	Congelador de imersão em espiral .....	51
8.3.1.2	Congeladores por pulverização.....	52
8.3.1.2.1	Congelador por pulverização em túnel.....	52
8.3.1.2.2	Congelador por pulverização em espiral .....	52
8.3.2	Congeladores de Contacto indireto.....	52
8.4	“Capsule packed freezing” .....	53
8.5	Congelação Criomecânica.....	53
9.	Dimensionamento de equipamentos de congelação .....	54
9.1	Propriedades do produto a congelar.....	54
9.2	Congelador de placas horizontais .....	55
9.2.1	Congelação do produto .....	55
9.2.2	Seleção do congelador horizontal de placas.....	58
9.2.3	Características Técnicas .....	65
9.2.4	Carga e descarga do produto .....	68
9.3	Túnel de congelação .....	69
9.3.1	Características a considerar .....	69
9.3.2	Sistema de Refrigeração.....	69
9.3.3	Isolamento do túnel.....	70
9.3.4	Escolha do material isolante.....	71

9.3.5	Cálculo das espessuras do material isolante.....	73
9.3.6	Balanço térmico do túnel .....	74
9.3.7	Balanço Térmico baseado no cálculo informático .....	76
9.3.8	Seleção de equipamentos .....	78
9.3.8.6	Equipamento secundário.....	80
9.4	Congelação criogénica .....	81
10.	Análise de custos.....	83
10.1	Congelador de Placas .....	83
10.2	Túnel de congelação .....	84
10.3	Túnel criogénico .....	85
10.4	Comparação dos resultados obtidos.....	86
11.	Análise comparada de apoio à decisão .....	88
12.	Conclusão .....	90

## Índice Figuras

Figura 1 - Ciclo teórico simples sobre um diagrama de Mollier no plano p-H.....	19
Figura 2 - Esquema do Sistema de Refrigeração com os Equipamentos Básicos .....	20
Figura 3 - Representação da Pressão vs Entalpia para a Compressão .....	20
Figura 4 - Representação da Pressão vs Entalpia para a Condensação.....	21
Figura 5 - Representação da Pressão vs Entalpia para a Expansão .....	21
Figura 6 - Representação da Pressão vs Entalpia para a Evaporação .....	22
Figura 7 - Diferenças entre o Ciclo Real e o Teórico Simples .....	23
Figura 8 - Ciclo frigorífico .....	26
Figura 9 - Efeito do congelamento em tecidos vegetais: a) congelação lenta; b) congelação rápida .....	41
Figura 10 - Relação entre tamanho dos cristais de gelo e velocidade de congelação.....	41
Figura 11- Unidades principais de cristalização. (a) Hexágonos regulares, (b) Dentritos irregulares, (c) Unidades esféricas .....	42
Figura 12 - (a) Diagrama do tecido de peixe não-congelado; (b) Diagrama do tecido congelado com formação de pequenos cristais de gelo; (c) Diagrama do tecido congelado com formação de grandes cristais de gelo .....	42
Figura 13 - Congelador de placas .....	58
Figura 14 - Diferentes tipos de tabuleiro.....	64
Figura 15 - Congelador de placas .....	65
Figura 16 - Esquema do sistema hidráulico .....	67
Figura 17 – Princípio de funcionamento do congelador de placas .....	68
Figura 18 - Dados 1 do software Calcam Quírom.....	77
Figura 19 - Dados 2 do software Calcam Quírom.....	77
Figura 20 - Dados 3 do software Calcam Quírom.....	78
Figura 21 - Resultados obtidos do software Calcam Quírom .....	78
Figura 22 - Túnel Criogénico .....	82

## Índice Tabelas

Tabela 1 - Temperaturas mínimas, máximas e ótimas de agentes patogénicos em alimentos .....	11
Tabela 2 - Exemplos de aditivos usados na indústria alimentar .....	12
Tabela 3 - Características do Azoto .....	30
Tabela 4 - Fatores de conversão do Azoto .....	30
Tabela 5 - Características do Dióxido de carbono .....	31
Tabela 6 - Fatores de conversão do Dióxido de carbono .....	31
Tabela 7 - Características do Oxigénio .....	32
Tabela 8 - Fatores de conversão do Oxigénio .....	32
Tabela 9 - Características do Gelo seco .....	33
Tabela 10 - Fatores de conversão do Gelo seco .....	33
Tabela 11 - Comparação entre azoto líquido e dióxido de carbono líquido .....	34
Tabela 12 - Velocidades de congelação típicas .....	40
Tabela 13 - Propriedades de conservação e congelação do marisco .....	55
Tabela 14 – Exigências de refrigeração .....	59
Tabela 15 - Tempos de congelação.....	60
Tabela 16 - Peso por estação (kg).....	61
Tabela 17 - Dimensões para congeladores de placas horizontais.....	62
Tabela 18 – Tamanho das placas e abertura.....	63
Tabela 19 - Fonte: F.A.O. ....	70
Tabela 20 - Comparação de custos .....	86

# 1. Introdução

O objetivo deste trabalho é a realização de um estudo sobre os equipamentos de congelação industrial de produtos perecíveis, comparando os de congelação clássica com os de congelação criogénica. Nesta comparação entre equipamentos irá ter-se em conta o custo inicial, anual, tempo de congelação, mão de obra capacidade de congelamento, etc.

Primeiramente, com vista à concretização do tema, vão ser abordadas, embora algumas de forma simplificada, as diferentes técnicas de preservação de alimentos, utilizadas ao logo dos tempos.

A utilização de baixas temperaturas na conservação dos alimentos é um método antigo. Na pré-história os homens já armazenavam os alimentos em gelo, para os poderem utilizar posteriormente. A utilização de frio na indústria de alimentos, foi um grande avanço e possibilitou o armazenamento e transporte de produtos perecíveis. Esta tecnologia permite a obtenção de produtos alimentares de boa qualidade nutritiva e sensorial durante longos períodos de tempo. É essencial respeitar todos requisitos na obtenção de um produto saudável, ou seja manter todas as suas características originais.

A refrigeração e a congelação estão ligadas entre si na conservação dos alimentos. Para se obter um produto de qualidade é necessário ter em conta vários fatores, entre eles a qualidade do produto fresco antes da congelação, a congelação propriamente dita e a descongelação. A refrigeração tem neste processo um papel muito importante apesar de apenas garantir uma conservação limitada dos produtos alimentares perecíveis no tempo.

Por outro lado a congelação permite uma conservação mais longa, sendo um meio natural de conservação que visa a preservação da integridade, qualidade do produto, suas propriedades físicas, bioquímicas, microbiológicas e a estabilização térmica.

É importante realçar também o contributo dos transportes em todo esse processo para que o produto chegue a todos os consumidores com qualidade.

Atualmente, devido às contantes mudanças tecnológicas, existem muitas técnicas de congelação.

Neste trabalho vão ser abordadas algumas técnicas de congelação de produtos alimentares como por exemplo o congelador de placas, o túnel de congelação clássico e

o túnel de congelação criogénica, salientando as vantagens e desvantagens de cada um, assim como as características do seu funcionamento.

Finalidade deste trabalho:

- Saber quais as vantagens e desvantagens de cada técnica abordada;
- Dimensionar um congelador de placas e um túnel clássico para congelar (12,5 ton/dia) de camarão, e comparar a mesma produção com um túnel criogénico;
- Saber qual das técnicas anteriores é economicamente mais rentável;
- Efeitos nos produtos alimentares da utilização de criogénico, azoto e dióxido de carbono;
- Saber se este estudo é uma mais-valia na indústria, permitindo assim, as empresas escolher o método mais adequado e que mais as beneficie, mas sempre com o intuito de garantir um produto de alta qualidade;
- Comparação entre um congelador de placas, um túnel clássico e um túnel criogénico, fazendo uma análise comparativa de custos entre eles.

## **2. Preservação dos produtos Alimentares**

### **2.1 Abordagem histórica**

Apesar de os povos terem diferentes hábitos alimentares, a dieta humana assenta na necessidade de um certo número de nutrientes: proteínas, hidratos de carbono, lípidos, vitaminas e sais minerais. Os três primeiros são denominados macronutrientes porque o organismo humano necessita de os ingerir em quantidades relativamente elevadas e provêm sobretudo da ingestão de carne, peixe, ovos e diversos produtos de origem vegetal (cereais, leguminosas e tubérculos). Os dois últimos, os micronutrientes que provêm sobretudo da fruta e dos legumes.

Alguns destes alimentos são ingeridos crus, como é o caso da fruta e de alguns vegetais, mas a grande maioria é sujeita a processamento térmico, cozedura tradicional por ação do calor, ou, mais recentemente, ao processamento por micro-ondas.

Antigamente, o tipo de produtos hortícolas consumido dependia da estação do ano e da região, uma vez que diferentes espécies vegetais requerem diferentes condições de temperatura e de humidade para germinarem e se desenvolverem.

Por sua vez, o peixe e a carne eram, no passado, em quase todas as regiões, sujeitos a desidratação utilizando-se a secagem direta ao sol ou fumeiro para serem conservados durante meses em condições comestíveis.

Outras técnicas praticadas assentavam na conservação dos produtos em óleos diversos (como o azeite) e sal, com a esterilização prévia dos produtos e respetivos recipientes (fervura), de forma a eliminar as bactérias.

Com o desenvolvimento das técnicas de cultivo em estufas, desenvolvimento das indústrias do frio (refrigeração e congelação), e desenvolvimento dos transportes, é hoje possível dispor na maioria dos países desenvolvidos, de uma grande variedade de produtos durante todo o ano, com conseqüente melhoria da qualidade da alimentação [1].

## 2.2 Produtos alimentares

De acordo com a sua duração, os alimentos podem ser classificados como [2]:

- **Perecíveis:** Aqueles que se decompõem facilmente. Exemplos: leite, carne, peixe, ovos e legumes.
- **Semi-perecíveis:** Aqueles que ficam livres de deterioração por muito tempo. Exemplos: batatas, castanhas e alimentos enlatados.
- **Não perecíveis:** Não se danificam facilmente. Exemplo: a farinha de trigo, massa e açúcar.

Neste trabalho vai-se dar especial atenção aos alimentos perecíveis.

Segundo a norma NP EN 1524 define-se [3]:

**Produto Fresco:** Todo o produto que não sofreu qualquer tratamento que possa modificar o seu estado natural.

**Produto refrigerado:** Todo o produto que sofre um arrefecimento sem que seja atingida a temperatura do seu ponto de congelação.

**Produto congelado:** Todo o produto cuja água da sua constituição fica congelada, atingindo uma temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  em todos os seus pontos, e que em seguida é mantido a essa temperatura até à entrega ao consumidor.

**Produto ultracongelado:** todo o produto que, depois de ultrapassar rapidamente a zona de cristalização máxima, atinge  $-18^{\circ}\text{C}$  (pode ir formalmente até  $-25^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$ ) em todos os seus pontos e até à entrega ao consumidor.

## 2.3 Fatores que influenciam a conservação dos produtos

A preservação de alimentos como meio de evitar a sua escassez tem sido uma das preocupações da humanidade.

As matérias-primas agroalimentares, sejam de origem animal ou vegetal, são suscetíveis a alterações, as quais podem ser de ordem física, química, ou biológica. As alterações de ordem física são decorrentes, principalmente, da ação de agentes mecânicos que causam danos como: quebras, deformações, perfurações e cortes. Além destas, outros agentes como o ar, a luz e o calor podem promover alterações de cor, aparência e sabor dos alimentos [4].

As alterações químicas normalmente decorrem pela degeneração de substâncias constituintes do alimento. Este fato que pode ocorrer de forma espontânea ou pela indução de algum fator externo, como por exemplo, a composição do ar ambiente,

levando a alterações químicas enzimáticas e não-enzimáticas. Estas podem causar mudanças das características dos alimentos como cor, sabor e consistência.

Quanto às alterações biológicas, estas podem ser causadas por insetos, roedores e microrganismos [5].

## **2.4 Técnicas de preservação e conservação dos produtos alimentares**

A grande maioria dos produtos alimentares sofrem degradação com muita facilidade, devido ao crescimento e atividade de microrganismos, insetos, ação de enzimas do próprio alimento, reações químicas espontâneas não catalisadas por enzimas e alterações físicas causadas pela temperatura, pressão e humidade do ar ambiente. Para se evitar estes problemas surgiram algumas técnicas de conservação dos alimentos tais como:

### **2.4.1 Técnicas de conservação pelo uso do calor**

#### **2.4.1.1 Secagem**

A secagem é um dos processos mais antigos utilizados pelo homem na conservação de alimentos.

Existem dois tipos de secagem: a secagem natural e a secagem artificial.

A primeira consiste na exposição da matéria-prima por longos períodos à radiação solar, sob condições climáticas de temperaturas relativamente altas, ventos com intensidade moderada e baixa humidade relativa. Apresenta a desvantagem de ser um método onde pode haver contaminações por insetos e microrganismos, se não forem tomados cuidados especiais na manipulação e higiene. Este processo é limitado pelo clima, quando as condições de humidade relativa e temperatura do ar não o permitem. É um método que necessita de bastante mão-de-obra.

Como vantagens deste método temos o baixo custo, a possibilidade de utilização de sistemas mistos de aquecimento com energia solar, fornecendo uma alternativa para a economia de energia não renovável, e poderem ser adaptados a instalações de pequeno porte.

A secagem artificial é um processo de remoção de humidade, que implica o uso de equipamentos e condicionamento do ar de secagem pelo controle da temperatura,

humidade relativa e velocidade do ar de secagem. O ar quente transporta calor para o produto a ser desidratado promovendo a evaporação da água nele contido, que de seguida é liberada para o ambiente. Este processo apresenta uma grande vantagem em relação ao anterior pois as condições do ar de secagem não dependem das condições climáticas, o que favorece a obtenção de um produto de qualidade superior e um menor tempo de processamento. Na secagem artificial a fonte de calor pode ser variável, apresentando a vantagem de permitir o controlo da temperatura, do fluxo do ar de secagem e do tempo de exposição ao ar aquecido, fatores fundamentais para garantir a eficiência do processo.

A secagem artificial pode ainda ser dividida em duas categorias: secagem em baixa temperatura, na qual se utiliza o ar natural ou aquecido entre 1 e 8°C acima da temperatura ambiente, e secagem em alta temperatura, que consiste em aquecer o ar a temperaturas iguais ou superiores a 8 / 10°C acima da temperatura ambiente.

Assim, como vantagens da secagem dos alimentos podemos referir: a redução da atividade microbiana e das reações químicas, permitindo a conservação dos alimentos, a redução do espaço necessário para armazenamento e transporte e a manutenção das propriedades nutritivas dos alimentos que podem assim conservar-se todo o ano.

Alguns produtos, quando submetidos à secagem, conservam intactas as suas características físicas e nutritivas, e retomarão ao seu aspeto natural ou sofrerão poucas alterações quando reconstituídos em água. Assim, este processo representa uma forma viável de conservação de alimentos para o consumo humano [6].

#### **2.4.1.2 Desidratação**

A desidratação é um dos métodos mais seguros de preservação dos alimentos.

Trata-se de uma das técnicas mais antigas de preservação de alimentos que tem como uma das suas maiores vantagens o facto de não necessitar de refrigeração durante o armazenamento e transporte.

É um processo que consiste na eliminação de água de um produto por evaporação, com transferência de calor e massa não sendo necessário acrescentar conservantes, dado que as bactérias e os bolores não se desenvolvem em locais secos. Sem nos apercebermos, usamos todos os dias inúmeros alimentos que passam por processos semelhantes sem quaisquer restrições.

Para exemplos de ingredientes aos quais se retira água na sua totalidade ou apenas parcialmente, com o objetivo de ficarem secos e poderem durar mais tempo sem precisarem de conservantes, temos: o feijão e o grão-de-bico que necessitam de ser demolhados antes de cozinhar, o louro ou orégãos para tempero, os chás de ervas, o queijo, o bacalhau, passas de uvas, ameixas secas, etc. Como vantagens deste método temos o aumento do período de vida útil dos alimentos, o facto de responder às sazonalidades de alguns produtos, permitir o abastecimento em zonas mais restritas e não ter grandes exigências quanto às condições de armazenamento (temperatura). Como desvantagens é de referir que este método provoca a redução de algumas qualidades organoléticas do alimento e apresenta, dependendo do método, custos elevados, originando assim um produto final mais caro [7].

#### **2.4.1.3 Desidratação mecânica**

Desidratação mecânica é feita normalmente em câmaras de secagem, onde existe um grande controlo da humidade, temperatura e caudal de ar.

#### **2.4.1.4 Desidratação por osmose**

O processo de desidratação osmótica é visto como uma alternativa, sendo considerado um método capaz de obter um produto de boa qualidade mediante a redução da sua humidade, sem mudança de fase durante o processo.

A desidratação osmótica é uma técnica bastante útil na conservação de frutas e vegetais. O alimento sólido, inteiro ou em pedaços é submetido a soluções aquosas (sais ou açúcares) com alta pressão osmótica, para que ocorra a remoção da água livre presente no alimento. Como vantagens deste processo pode-se salientar o facto de os alimentos apresentarem melhor textura, maior retenção de vitaminas, sabor mais intenso e maior estabilidade de cor. O controlo da transferência de massa e as características sensoriais modificadas da fruta tratada são apontados como algumas desvantagens deste processo. A eficiência do processo de desidratação depende de vários fatores, como as características do tecido vegetal, o tipo e concentração do agente desidratante, da temperatura, do tempo de imersão, da proporção alimento/solução e da agitação [8].

#### **2.4.1.5 Pasteurização**

A pasteurização consiste no aquecimento do alimento a uma determinada temperatura, e por um determinado tempo, de forma a eliminar os microrganismos ali presentes. Posteriormente, os alimentos são selados hermeticamente por questões de segurança, evitando assim uma nova contaminação.

Existem dois tipos de pasteurização: a pasteurização lenta, onde se aplicam temperaturas mais baixas durante maior tempo nas quais a temperatura aplicada é de ordem de 65°C durante trinta minutos, e a pasteurização rápida, quando se aplicam temperaturas mais altas, da ordem dos 72 a 75°C, durante 15 a 20 segundos. Como vantagens este método evita a transmissão de doenças, reduz a carga bacteriana em alguns produtos, em especial no leite e seus derivados, elimina bactérias indesejáveis, prolonga a vida de prateleira e beneficia a tecnologia e qualidade dos laticínios. No entanto este método também apresenta desvantagens como a redução e eliminação de bactérias lácticas benéficas (fermentos naturais), a alteração do sabor do leite e a desnaturação das proteínas do leite, o que dificulta certos processos [9].

#### **2.4.1.6 Esterilização**

A esterilização consiste no aquecimento de alimentos a uma temperatura elevada, durante alguns minutos ou segundos, com a finalidade de destruir todos os microrganismos presentes e desativar as enzimas capazes de deteriorar o alimento durante o armazenamento [10].

As desvantagens deste tratamento térmico são a perda do valor nutritivo e a perda das características organolépticas do alimento, além dos custos elevados associados a este processo. Como vantagem apresenta uma variedade de alimentos nos quais este método pode ser utilizado. As temperaturas e tempos específicos a utilizar dependem do tipo de alimento em questão: produtos com baixa acidez e líquidos, como o leite, são mais susceptíveis aos microrganismos e bactérias patogénicas do que os produtos com alta acidez como os sumos de frutas. Este tipo de conservação deve ser realizado num recipiente fechado, para que se possa gerar um vácuo parcial, de forma a reduzir a presença de oxigénio e impedir a contaminação no final do procedimento.

#### **2.4.1.7 Branqueamento**

É uma operação que consiste em aquecer ligeiramente o produto em água em ebulição ou aplicando jatos de vapor, de modo a desativar as enzimas oxidativas presentes que poderão provocar alterações futuras.

Esta técnica permite que o produto mantenha a sua qualidade durante o período de armazenamento.

Existem diferentes tipos de branqueamento, sendo o mais usado o branqueamento por água quente no qual o alimento é submetido à imersão em água entre 70°C e 100°C durante alguns segundos, dependendo do tipo de alimento [11].

É utilizado em produtos que se destinam à congelação.

Se este processo for realizado de maneira eficiente e eficaz, trará resultados benéficos nos produtos a ele submetidos, pois poderá facilitar a remoção do ar do interior do alimento, causará a destruição parcial de microrganismos e melhorará a textura e cor [12].

#### **2.4.1.8 Apertização**

Processo de conservação de produtos, por meio da pasteurização e conserva em lata de folha. Segundo o cientista Nicollas Appert a técnica de apertização consistia na cozedura dos produtos em recipientes de vidro sendo selados a quente. Os processos de fabrico melhoraram com a introdução de meios mecânicos, do vapor, da criação do vácuo e da esterilização, com consequências benéficas na qualidade final do produto. Presentemente esta técnica está banalizada nas tecnologias de conservas da sardinha e atum, pêssago, ananás, salsichas, enchidos azeitonas etc. Este método apresenta as vantagens de destruição de micro-organismos patogénicos, desnaturação de certas proteínas e aumenta a vida de prateleira do produto. Como desvantagens o alimento não é esterilizado totalmente, alguns esporos podem sobreviver e há uma grande perda de nutrientes como proteínas e vitaminas [13].

## **2.4.2 Técnicas de conservação pelo uso do frio**

### **2.4.2.1 Refrigeração**

A refrigeração pode ser usada como meio de conservação temporária até que seja aplicado outro método de conservação.

A maioria dos alimentos perecíveis pode ser conservada por refrigeração durante um tempo limitado, onde não se evitam, mas podem ser retardadas, as atividades microbianas e enzimáticas.

A diminuição de temperatura da matéria-prima deve ser feita imediatamente após a colheita dos vegetais ou a morte dos animais.

Algumas horas de atraso no campo ou no matadouro poderão originar perdas na qualidade dos produtos e o desenvolvimento de agentes patogénicos.

A principal função da refrigeração como método de conservação dos alimentos é a de reduzir o crescimento e desenvolvimento microbianos, impedindo que eles se desenvolvam de forma a não provocar danos nos alimentos, tentando por isso manter a qualidade original do alimento e prolongar um pouco mais a sua vida útil.

A tabela 1 ilustra os intervalos de temperatura ótimos para o desenvolvimento de alguns microrganismos patogénicos, sendo estes microrganismos patogénicos os mais comuns e possíveis de serem encontrados em superfícies de alimentos que estejam num ambiente propício para o seu desenvolvimento [14].

Os parâmetros que se devem ter na em conta na refrigeração para conservação dos alimentos são a temperatura de refrigeração que é aplicada, a humidade relativa, a velocidade de circulação do ar e também a composição da atmosfera circundante, A temperatura de refrigeração deve ser aplicada em função do tipo de alimentos ou do tempo de conservação pretendido.

A humidade relativa é outro parâmetro que convém também ser controlado, pois uma humidade relativa demasiado baixa vai provocar perdas de água dos alimentos, sendo que o produto vai perder peso e certas características em termos de qualidade. No entanto se for aplicada uma humidade relativa muito elevada, vai favorecer a multiplicação dos microrganismos, sendo que variações de humidade e também de temperaturas podem causar condensação da água nas superfícies dos alimentos. A velocidade de circulação do ar tem importância na medida em que ajuda a manter uma humidade relativa uniforme em toda a câmara, assim como a temperatura [15].

Dentro da câmara frigorífica a temperatura não deve sofrer flutuações superiores a 1 ° C, para se manterem em condições de conservação homogêneas em todo o produto.

Concluindo, o controlo da temperatura de refrigeração durante o armazenamento dos produtos alimentares bem como o conhecimento dos intervalos de temperaturas em que diferentes microrganismos se podem desenvolver, é muito importante para garantirmos a fidelidade, credibilidade e segurança do alimento. É importante que estas mesmas temperaturas de refrigeração se mantenham durante o transporte dos alimentos [16].

**Tabela 1 - Temperaturas mínimas, máximas e ótimas de agentes patogénicos em alimentos [14]**

<b>Microrganismos</b>	<b>Mínima (°C)</b>	<b>Máxima (°C)</b>	<b>Ótima (°C)</b>
<i>Bacillus cereus</i>	5	55	28-40
<i>Campylobacter spp.</i>	32	45	42-45
<i>Clostridium botulinum</i> tipo A e B	10-12	50	30-40
<i>Clostridium botulinum</i> tipo E	3-3,3	45	25-37
<i>Escherichia coli</i>	7	46	35-40
<i>Listeria monocytogenes</i>	0	45	30-37
<i>Salmonella spp.</i>	5	45-47	35-37
<i>Staphylococcus aureus</i> : crescimento	7	48	35-40
<i>Toxinas</i>	10	46	40-45

#### **2.4.2.2 Congelação**

A congelação é o processo no qual as temperaturas dos alimentos são reduzidas muito rapidamente fazendo com a água que está presente nos alimentos passe para o estado sólido, de modo a que não danifique o alimento, tendo em conta as suas propriedades organoléticas.

A congelação é um meio natural de conservação que visa a preservação da integridade e qualidade do produto. Permite a redução o mais possível das alterações físicas, bioquímicas e microbiológicas no decurso do processo, assim como, a estabilização térmica na conservação.

A congelação permite uma conservação mais longa, apresentando ainda vantagens no transporte a longas distâncias, constituição de reservas alimentares, regularização de

abastecimento de mercado, garantia de abastecimento de produtos alimentares independentemente do aumento demográfico da população, e diminuição dos desperdícios por deterioração dos produtos alimentares [10].

### 2.4.3 Aditivos

Os aditivos alimentares são substâncias que são adicionadas aos alimentos com o propósito de manter ou modificar o seu sabor e melhorar a sua aparência. Alguns aditivos são utilizados há séculos, como o sal utilizado no presunto, ou o vinagre utilizado nos pickles, entre outros.

Os aditivos utilizados na produção de um determinado alimento devem ser obrigatoriamente discriminados na sua embalagem e incluídos na lista de ingredientes utilizados na sua elaboração.

Os aditivos utilizados pela indústria devem forçosamente ter sido objeto de aprovação prévia e fazer parte de uma lista aprovada na União Europeia. Todos os aditivos eventualmente utilizados e não incluídos nessa lista são ilegais e o seu uso é portanto proibido.

Na tabela 2 podemos ver exemplos de alguns aditivos usados na indústria alimentar [17].

Tabela 2 - Exemplos de aditivos usados na indústria alimentar [17]

<b>Tipo de Aditivo</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Exemplo</b>
<b>Antioxidantes</b>	Previnem a oxidação de gorduras e de algumas vitaminas	Vitamina C, Esteres de ácido gálico
<b>Corantes</b>	Melhoram o aspeto	Caroteno, sais de ferro
<b>Emulsionantes</b>	Modificam aspetos de textura, estabilizam misturas de óleo-água	Dextrina, lecitina
<b>Intensificadores de Sabor</b>	Adicionam ou realçam o sabor	Glutamato de sódio
<b>Conservantes</b>	Previnem a ação de microrganismos	Nitratos, Nitritos, Dióxido de Enxofre, Ácidos (benzóico e ascórbico)
<b>Adoçantes</b>	Conferem paladar doce	Aspartame, frutose, sorbitol
<b>Reguladores de Acidez</b>	Têm ação controladora do pH	Ácidos (acético, láctico, cítrico)

## **2.4.4 Outras técnicas**

### **2.4.4.1 Extrusão**

O cozimento por extrusão, criado nos anos 40, é um processo tecnológico que utiliza altas temperaturas ( $> 150^{\circ}\text{C}$ ) e altas taxas de tensão tangencial, num curto período de tempo. Neste método, estão envolvidos vários processos termomecânicos e termoquímicos, incluindo reações de Maillard, desnaturação de proteínas e hidrólise, que produzem modificações físicas, químicas e nutricionais nos constituintes alimentares.

O processo de extrusão tornou-se uma importante técnica dentro de uma crescente variedade de processamento de alimentos. O uso da extrusão permite uma alta qualidade dos produtos, pois o processamento em altas temperaturas por curto período de tempo, minimiza a degradação de nutrientes, enquanto destrói a maioria dos microrganismos e outras pragas presentes no alimento [18].

A extrusão é geralmente aplicada no processamento de cereais e proteínas destinados à alimentação humana e animal

### **2.4.4.2 Alta Pressão Hidrostática**

É um método que utiliza alta pressão e temperatura moderada (em torno de  $70^{\circ}\text{C}$ ) sendo uma alternativa aos métodos de conservação de alimentos que utilizam temperaturas elevadas. As vantagens deste método são, a possibilidade de obtenção de produtos processados com características muito similares aos alimentos antes do processamento, homogeneidade do tratamento (mesma pressão em qualquer ponto do produto) e redução microbiológica.

Este método pode ser utilizado em carnes, frutas, vegetais e sumos.

### **2.4.4.3 Irradiação**

A utilização de radiação ionizante  $\gamma$ , aprovada por muitos países, tem-se mostrado como uma potencial tecnologia auxiliar na redução de perdas pós-colheita, desinfestação de grãos, controle de microrganismos patogénicos, prolongamento da vida útil em carnes, frutas e vegetais, desinfestação e maturação de frutas e manutenção da qualidade nutricional.

Em virtude desses fatos, o impacto da irradiação sobre os nutrientes tem sido motivo de muitas pesquisas na área de alimentos, observando-se que as alterações são as mesmas que ocorrem nos outros processos empregados na conservação de alimentos, principalmente no que se refere à oxidação de lípidios, formação de radicais livres, entre outros.

Como vantagens regista-se a pequena variação de temperatura durante o processo, poucas diferenciações nas propriedades organolépticas e também a possibilidade de os alimentos embalados e congelados serem irradiados. Devido à sua automaticidade, a irradiação tem um baixo custo operacional. A irradiação confere a possibilidade de, numa única operação, os alimentos frescos serem conservados, sem a necessidade de inserção de conservantes químicos [18].

Um exemplo da aplicação da irradiação é impedir o desenvolvimento de microrganismos (bolbos e tubérculos), retardar a maturação das frutas e legumes e reduzir a carga microbiológica das carnes, frutas e legumes.

### **2.4.4.4 Radiação Nuclear**

Processo de conservação que consiste na emissão de um agente radiativo, que permite a eliminação de bactérias e fungos, aumentando assim o tempo de vida útil do produto. Em Portugal esta técnica é mais utilizada na esterilização de rolhas de cortiça para champanhe, enquanto em França é utilizada em produtos como o frango e pescado, exportados em fresco ou congelados para África.

Este método permite a conservação dos produtos sem a necessidade de aquecimento e possui a vantagem de consumir uma menor quantidade de energia no processo de tratamento dos alimentos se comparado a métodos convencionais [19].

#### **2.4.4.5 Fermentação**

A fermentação alimentar é um processo que envolve o crescimento e a atividade de microrganismos nos alimentos, como bolores, bactérias ou leveduras. Esta atividade de fermentação permite modificar o sabor dos alimentos ao mesmo tempo que prolonga o seu prazo de validade, facilitando desta forma a sua conservação.

A fermentação nos alimentos foi descoberta de forma acidental, e veio permitir a sua conserva por longos períodos de tempo. Hoje em dia consumimos uma imensa variedade de alimentos, bastante comuns, que sofreram um processo de fermentação, como por exemplo o vinho, a cerveja, o molho de soja, o vinagre, o queijo, o iogurte ou o pão. Os alimentos fermentados têm períodos de conservação mais longos, em parte porque certos produtos da fermentação, como ácidos e álcoois, têm uma ação conservante e impedem o crescimento de micróbios causadores de doenças. Além disso, as fermentações transformam as propriedades sensoriais dos alimentos, como o aroma, o sabor e a textura, diversificando-os e tornando-os mais atrativos. Podem também existir efeitos benéficos para a saúde devido ao aumento da digestibilidade dos alimentos e, em alguns casos, melhor valor nutritivo [20].

#### **2.4.4.6 Fumagem**

Método de conservação que consiste na exposição dos produtos a tratar à ação do fumo.

A conservação dos produtos fumados deve-se à desidratação superficial, associada ao efeito causado por substâncias resultantes da combustão incompleta da madeira.

Existem diversos métodos de fumagem [21]:

Fumagem a frio: os produtos são submetidos a ação de fumo pouco denso. Temperatura inferior a 25°C

Fumagem a quente: faz-se em três etapas. 30°C, 50°C e entre 60°C a 80°C

Fumagem artificial: consiste no contacto entre os produtos a fumar e os extratores de fumo, os quais se podem apresentar na forma líquida ou em pó.

#### **2.4.4.7 Liofilização**

Os alimentos liofilizados são alimentos desidratados por um processo chamado sublimação.

A água das células congeladas passa diretamente do estado sólido para o gasoso. Este processo é indicado para produtos que tenham elementos sensíveis ao calor, como proteínas e vitaminas, uma vez que a liofilização conserva as suas propriedades nutritivas dado que as membranas das células não se rompem com a perda do vapor de água.

A leveza adquirida pela remoção da água faz dos alimentos liofilizados a melhor opção para suprimentos de militares e de acampamentos, devido a facilidade no transporte [22].

#### **2.4.4.8 Salga**

A salga é um método muito usado na conservação de alimentos, em especial no pescado.

Existem diversos tipos de salga [23]:

Salga seca - O peixe é colocado em camadas alternadas com sal, de modo a que a salmoura formada pelo sal e a água sejam retirada do contato com o produto; sempre a primeira e a última camada são sempre de sal;

Salga húmida – O peixe é deixado imerso em uma solução de salmoura (sal + água) saturada;

Salga mista - O peixe é inicialmente salgado a seco. À medida que ocorre a formação de salmoura (sal + água do peixe), este vai ficando imerso na solução, pois a salmoura assim formada não é retirada.

Além de contribuir para a conservação do alimento, fornece aos produtos aromas e sabores característicos e aumenta a retenção de água no produto. Em produtos enlatados e esterilizados contribui, juntamente com outros constituintes, para reduzir o tempo de processamento térmico requerido para atingir e manter a qualidade do produto final.

Possui a desvantagem de facilitar a perda de alguns nutrientes solúveis em água, não destruir toxinas de origem microbiana e não impedir o crescimento de microrganismos halofílicos (crescem em função da concentração de NaCl).

### **3. Entrepasto frigorífico**

Um entreposto frigorífico é um edifício ou conjunto de edifícios termicamente concebidos e projetados para a armazenagem em, curto, medio e longo período, de produtos alimentares perecíveis em condições térmicas e higrométricas relativamente bem definidas e adequadas às características e natureza dos produtos a tratar e a conservar pelo frio [19].

Um entreposto possui em geral os seguintes equipamentos [24]:

- Uma central frigorífica
- Túneis de congelação
- Câmaras frigoríficas
- Câmaras de refrigeração
- Empilhadeiras elétricas
- Escritório e anexos
- Sala de processamento
- Fábrica de gelo
- Silo de armazenagem

Os entrepostos frigoríficos podem ser classificados quanto à atividade, dependendo do tipo de especialização a que se dedicam nos sectores em que se encontram integrados [25]:

Entrepastos frigoríficos polivalentes – São concebidos e projetados para conservar todas as variedades de produtos alimentares perecíveis, sejam refrigerados ou congelados.

Entrepastos frigoríficos especializados - São concebidos e equipados para conservar uma determinada categoria de produtos perecíveis, como por exemplo, centrais hortofrutícolas, lotas, centrais fruteiras, matadouros, unidades de tratamento de produtos lácteos, etc.,

Os entrepostos frigoríficos podem também ser classificados quanto às funções económicas [19].

Entrepastos frigoríficos de produção – são entrepostos especializados e localizados junto à unidade produtiva nomeadamente a pesca e agricultura.

Entrepósitos frigoríficos de transformação – normalmente encontram-se agregados a unidades agroindustriais de transformação.

Entrepósitos frigoríficos de conservação a longo prazo – podem ser polivalentes ou especializados, servem para armazenar e conservar produtos alimentares perecíveis, em regime de congelados, durante um período longo de tempo antes de serem expedidos.

Entrepósitos frigoríficos de distribuição – estão situados em zonas urbanas, recebem os produtos alimentares perecíveis de unidades de produção e transformação, sendo vocacionados para preparar lotes, por vezes com diferentes produtos para distribuição a retalho, através de pequenos veículos refrigerados a hotéis, restaurantes supermercados cafés, etc.

Entrepósitos portuários – são entrepósitos específicos de apoio atividade do sector de pesca, exigindo infraestruturas de apoio aos navios, traineiras, arrastões costeiros, infraestruturas de apoio ao tratamento e conservação de pescado, incluindo a produção e silagem de gelo hídrico destinado ao arrefecimento de pescado a bordo ou em terra. Estes entrepósitos podem servir para receção e expedição de produtos congelados.

## 4. Ciclo frigorífico

### 4.1 Ciclo Teórico Simples (Ideal)

Um ciclo térmico real deveria ter para comparação o ciclo de Carnot, por ser este o ciclo reversível ideal [26]. No entanto, dadas as peculiaridades do ciclo de refrigeração por compressão de vapor, definiu-se um outro ciclo ao qual o ciclo real mais se aproxima. Este ciclo ideal é aquele que terá melhor eficácia operando nas mesmas condições do ciclo real.

Nenhum sistema pode realizar trabalho sobre o meio, equivalente à quantidade de calor cedida pela fonte quente, e assim atingir um rendimento térmico de 100%.

O ciclo teórico simples de refrigeração por compressão de vapor é mostrado na Figura 1 construído sobre um diagrama de Mollier no plano P-h. A figura 2 é um esquema básico com os componentes principais de um sistema frigorífico suficientes teoricamente para obter o ciclo indicado na Figura 1. Os dispositivos indicados na Figura 2 representam genericamente qualquer equipamento que consiga realizar o processo específico [27].

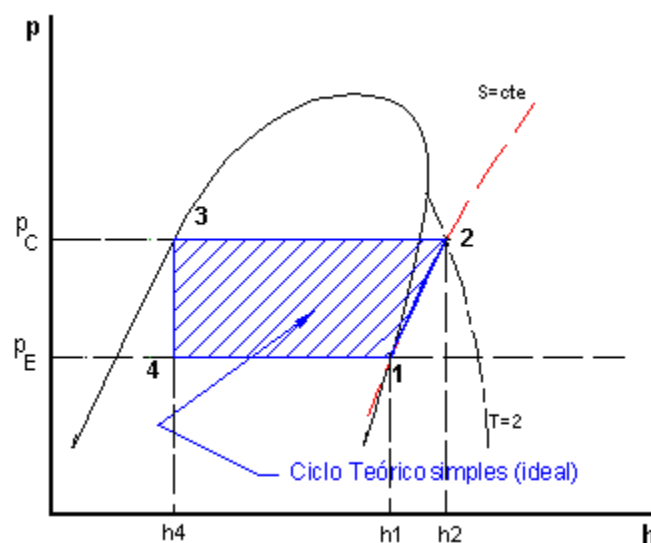
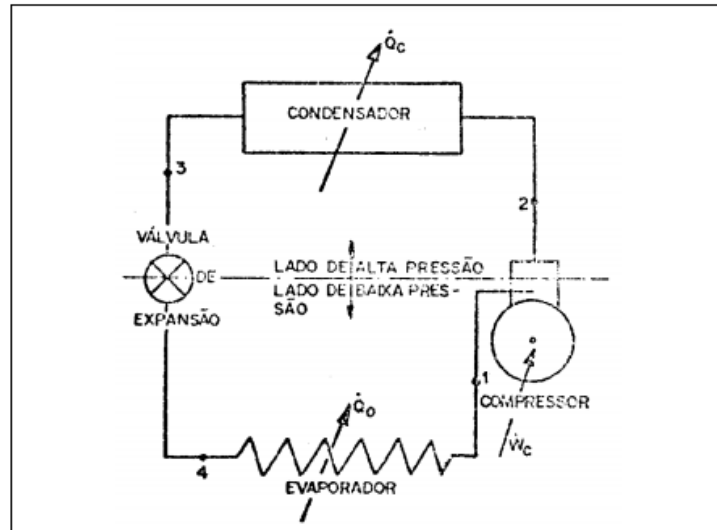


Figura 1 - Ciclo teórico simples sobre um diagrama de Mollier no plano p-H

Fonte: [http://www.argo.furg.br/btdt/tde\\_arquivos/7/TDE-2011-02-07T090252Z-](http://www.argo.furg.br/btdt/tde_arquivos/7/TDE-2011-02-07T090252Z-)

<265/Publico/CICLOS%20TERMODINAMICOS.pdf>

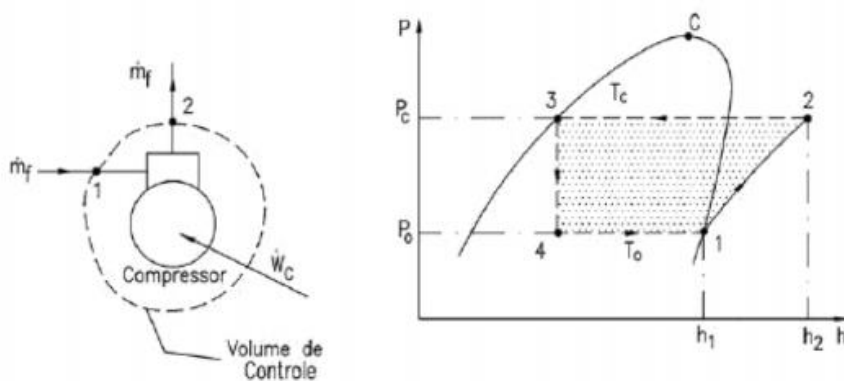


**Figura 2 - Esquema do Sistema de Refrigeração com os Equipamentos Básicos**  
 Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5d/Refrigeration.png/200px-Refrigeration.png>

Os processos termodinâmicos que constituem o ciclo teórico, e os seus respetivos equipamentos são [27]:

a) Processo 1-2, ocorre no compressor. A função do compressor é comprimir o vapor sobreaquecido, aumentando a sua pressão. Num ciclo ideal, a compressão é considerada adiabática reversível (isentrópica), ou seja, desprezam-se as perdas. Na prática perde-se calor para o ambiente nessa etapa, porém não é significativo em relação à potência de compressão necessária. A potência de compressão, em W, pode ser expressa pela seguinte equação:

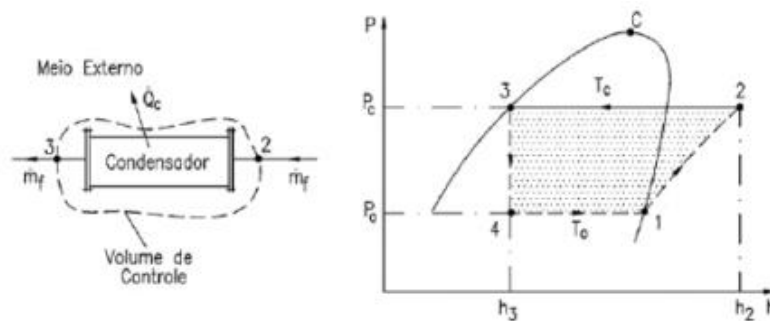
$$W_c = \dot{m}_f \times (h_2 - h_1) \quad (1.1)$$



**Figura 3 - Representação da Pressão vs Entalpia para a Compressão**  
 Fonte: <http://dc721.4shared.com/doc/xzEUzYHA/preview.html>

b) Processo 2-3, ocorre no condensador. A condensação é a etapa onde ocorre a rejeição de calor do ciclo. No condensador, o fluido na forma de gás sobreaquecido é condensado ao longo do permutador de calor, que em contacto com o ar cede calor ao meio ambiente. O calor rejeitado pelo condensador, em W, pode ser expresso pela equação:

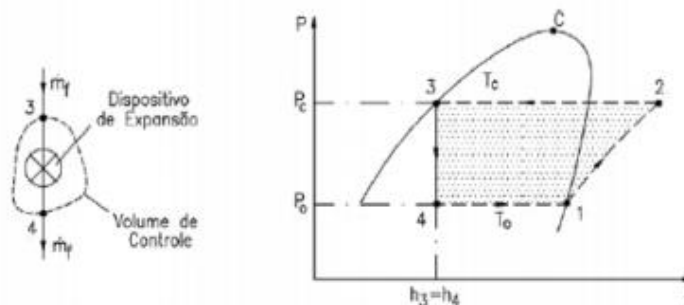
$$Q_H = m_f \times (h_2 - h_3) \quad (1.2)$$



**Figura 4 - Representação da Pressão vs Entalpia para a Condensação**  
 Fonte: <http://dc721.4shared.com/doc/xzEUzYHA/preview.html>

c) Processo 3-4, ocorre na válvula de expansão. A expansão é a etapa onde ocorre uma perda de pressão brusca, porém controlada que vai reduzir a pressão do fluido da pressão de condensação para a pressão de evaporação. Num ciclo ideal ela é considerada isentálpica, despreza-se as variações de energia cinética e potencial.

$$h_2 = h_3$$



**Figura 5 - Representação da Pressão vs Entalpia para a Expansão**  
 Fonte: <http://dc721.4shared.com/doc/xzEUzYHA/preview.html>

d) Processo 4-1, ocorre no evaporador. A evaporação é a etapa onde o fluido refrigerante entra na serpentina como uma mistura predominantemente líquida e irá absorver o calor do ar forçado pelo ventilador que passa entre os tubos. Ao receber o calor, o fluido saturado vaporiza-se, utilizando o calor latente para poder maximizar a troca de calor. A capacidade de refrigeração, em W, pode ser descrita através da equação:

$$Q_L = \dot{m}_f \times (h_1 - h_4) \quad (1.3)$$

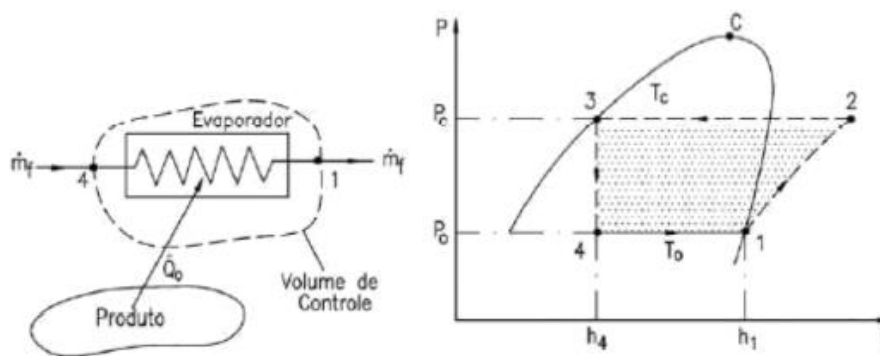
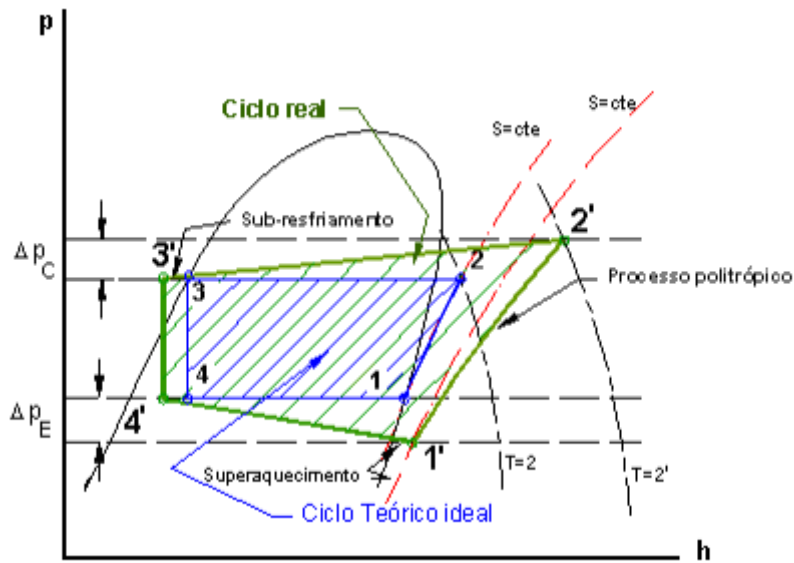


Figura 6 - Representação da Pressão vs Entalpia para a Evaporação  
 Fonte: <http://dc721.4shared.com/doc/xzEUzYHA/preview.html>

## 4.2 Comparação entre Ciclo Real e Ciclo Teórico Simples

Uma instalação frigorífica real funciona em condições diferentes daquelas que teoricamente podem ser conseguidas, pelo que o ciclo frigorífico real será diferente do ciclo frigorífico ideal [26].

As diferenças principais entre o ciclo real e o ciclo ideal simples por compressão de vapor estão mostrados na Figura 7.



**Figura 7 - Diferenças entre o Ciclo Real e o Teórico Simples**  
 Fonte: [http://www.argo.furg.br/bdtd/tde\\_arquivos/7/TDE-2011-02-07T090252Z-265/Publico/CICLOS%20TERMODINAMICOS.pdf](http://www.argo.furg.br/bdtd/tde_arquivos/7/TDE-2011-02-07T090252Z-265/Publico/CICLOS%20TERMODINAMICOS.pdf)

Uma das principais diferenças entre os ciclos de refrigeração mecânica por compressão de vapores real e teórico, representados na figura 7, está na queda de pressão devido a perda de carga sofrida pelo refrigerante, nas tubagens do condensador ( $\Delta p_C$ ) e evaporador ( $\Delta p_E$ ) [26].

Outros dois importantes fatores que fazem os ciclos diferenciarem-se entre si, são o sub-arrefecimento do refrigerante na saída do condensador, o qual poderá ou não ocorrer, dependendo do modelo de sistema adotado e do superaquecimento na aspiração do compressor.

É importante também considerar, que a compressão no ciclo real é um processo politrópico, com  $S_1 \neq S_2$ , enquanto no ciclo teórico o processo é realizado isentropicamente.

A compressão politrópica, associada ao diferencial de pressão necessária para a compressão do fluido frigorígeno, depende do regime de trabalho e da natureza do próprio fluido, podendo fazer com que a temperatura de saída ( $T_2$ ) atinga valores muito elevados, este facto torna-se um problema em relação aos óleos lubrificantes usados em compressores frigoríficos.

Com o intuito de minimizar esta situação é adotado um arrefecimento forçado na cabeça dos compressores, principalmente para aqueles que operam com refrigerante tipo R-717 [26].

### **Coeficiente de desempenho (COP):**

Ciclo teórico ideal:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Onde os índices das entalpias se referem aos estados da Figura 1.

Ciclo real:

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{W_C} \text{ (arrefecimento)}$$

O coeficiente de eficiência, COP, é um parâmetro importante na análise das instalações frigoríficas. Embora o COP do ciclo real seja sempre menor que o do ciclo teórico para as mesmas condições de operação.

No ciclo teórico, o COP é função somente das propriedades do refrigerante, consequentemente, depende das temperaturas de condensação e vaporização. Para o ciclo real, entretanto, o desempenho dependerá em muito das propriedades na aspiração do compressor, do próprio compressor e dos demais equipamentos do sistema [26].

## **5. Refrigeração**

A refrigeração é a ação de remover calor de forma controlada, tanto para viabilizar processos como conservar produtos, ou para permitir um conforto térmico (climatização). Para diminuir a temperatura é necessário retirar energia térmica de um determinado corpo ou meio, e através de um ciclo termodinâmico, o calor é extraído desse corpo ou meio a ser refrigerado e é enviado para um ambiente externo onde este calor, não prejudica em geral nenhuma atividade.

Esta ação de remover calor de forma controlada tornou-se fundamental no cotidiano das populações com o passar dos anos, visto que é graças à mesma que hoje em dia se consegue fazer a conservação de muitos alimentos e alcança um conforto maior principalmente nas estações mais quentes [25].

### **5.1 Principais sistemas de refrigeração**

#### **5.1.1 Refrigeração mecânica**

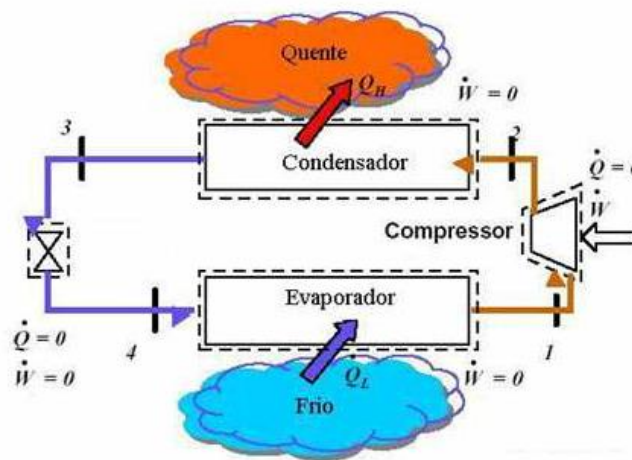
A refrigeração mecânica é o sistema de refrigeração mais utilizado. O aparecimento de microprocessadores melhorou bastante o sistema, permitindo uma gestão mais eficiente do ciclo de refrigeração. Todas as inovações diminuem tanto o consumo de combustível como a emissão de poluentes, e contribuem também para a redução geral dos níveis de ruído.

#### **Princípios da Refrigeração Mecânica**

O processo de refrigeração, ou ciclo de refrigeração, inclui quatro partes, como se mostra o esquema na Figura 8 [28]:

- **Compressão:** No compressor, o gás refrigerante é comprimido, logo isto implica um aumento de pressão e temperatura do gás. O gás com maior pressão (vapor sobreaquecido) é descarregado no condensador;
- **Condensação:** No condensador, o gás é arrefecido através de ar ou água, passa para o estado líquido saturado, ainda a uma pressão elevada;

- Expansão: A válvula de expansão controla o fluxo do refrigerante, que vem do condensador permitindo assim que a quantidade correta de refrigerante passe para o evaporador. Serve também para medir o caudal do refrigerante;
- Evaporação: Ao entrar na secção de evaporação o refrigerante passa do lado com uma maior pressão, através de um pequeno orifício na válvula de expansão, para o lado com menor pressão do sistema. A menor pressão causa a sua evaporação. O calor latente da evaporação é extraído do meio envolvente, por exemplo pela passagem de ar pela serpentina de evaporação. O gás refrigerante retorna então ao compressor e o ciclo repete-se.



**Figura 8 - Ciclo frigorífico**  
**Fonte:** Çengel, et al., 2001

Nos equipamentos de transporte mais modernos, as unidades de refrigeração mecânica possuem um mecanismo de controlo da capacidade de refrigeração, de forma a atingir temperaturas do ar praticamente constantes. Isto é essencial para muitos alimentos refrigerados, onde o controlo com precisão das temperaturas que os alimentos podem tolerar é necessário. A unidade de refrigeração funciona constantemente, permitindo um controlo mais preciso da temperatura mas aumentando o consumo de energia quando comparado com um controlo do tipo “on/off”. Em muitos reboques o compressor funciona a elevada velocidade quando o ar está alguns graus mais quente do que o necessário, e a baixa velocidade quando a temperatura do ar está próxima da temperatura necessária.

## Fluidos frigoríficos

Os fluidos frigoríficos têm um papel muito importante no ciclo frigorífico dado que as suas características influenciam direta e indiretamente o funcionamento de todos os equipamentos da instalação.

A escolha do fluido frigorífico deve adaptar-se às necessidades do projeto. No entanto o fluido deve respeitar outros parâmetros e não só os que estão diretamente relacionados com a sua capacidade e transferência calor, ou seja:

Um bom fluido frigorífico deve caracterizar-se por: baixo ODP e GWP, COP elevado, calor latente do fluido elevado, boa condutividade térmica, barato e de fácil aquisição, não deverá ter odor nem ser tóxico e não deverá ser corrosivo [15].

Ao longo dos tempos têm sido utilizados vários fluidos frigoríficos, hoje muitos deixaram de ser utilizados pelo impacto que causam ao meio ambiente e por isso foram substituídos por outros menos nocivos. A maior preocupação é com os que destroem a camada de ozono e agravam o efeito de estufa como é o caso do R22, que foi substituído pelo R404A, que é um fluido do tipo HFC composto por uma mistura de outros 3 fluidos frigoríficos (R143A, R125, e R134A).

Para além do R404A outro fluido frigorífico muito utilizado é o R717.

A seguir apresentam-se as características principais de cada um destes fluidos.

Características do R404A [29]:

- Não é tóxico;
- Não é inflamável (apesar do R143A o ser, mas perante a presença do R125 torna-se não inflamável);
- ODP = 0;
- GWP = 3,9;
- Temperatura ebulição é  $-46.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  á pressão de 1 atmosfera;
- Densidade  $0.485\text{ g/cm}^3$ ;
- É incolor;
- Não é miscível com o óleo mineral, logo terá dificuldade em arrastar o óleo dos evaporadores onde exista grande quantidade de vapor de fluido frigorífico;
- Bastante usado em frios de supermercado, entrepostos, frigoríficos, camiões entre outros;

Características do R717 (NH<sub>3</sub>) [30]:

- Tóxico;
- É gás a PTN;
- Solúvel na água (a 0°C, um litro de água admite mil litros de gás);
- Não é miscível com o óleo mineral, logo terá dificuldade em arrastar o óleo dos evaporadores onde exista grande quantidade de vapor de fluido frigorígeno;
- Densidade 0,59 g/cm<sup>3</sup>;
- Temperatura de ebulição -34°C;
- ODP = 0;
- GWP = 0;
- Liquefaz-se com facilidade, a baixa pressão, quando se expande, passando do estado gasoso a líquido e leva a uma descida acentuada da temperatura, sendo por isso usado como fluido frigorígeno;
- Utilizado como fluido frigorígeno em grandes instalações industriais, quer em fase líquida, quer em fase gasosa;
- É incolor;
- Quando aquecido arde e pode ser explosivo a altas temperaturas;
- A principal desvantagem do amoníaco é a grande exigência dos seus elevados requisitos de segurança;
- O efeito refrigerante é elevado, o que é favorável para grandes instalações.

### 5.1.2 Refrigeração criogénica

Os sistemas criogénicos foram desenvolvidos no Reino Unido para responder as necessidades específicas de veículos com três compartimentos de maneira a garantir temperaturas diferentes em cada compartimento. Isto é muito importante para as cadeias de supermercado, permitindo que num único veículo se façam entregas de produtos com regimes de temperatura diferentes.

Os sistemas de refrigeração criogénicos utilizam dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ou azoto sólido (N<sub>2</sub>) ou líquido (LN<sub>2</sub>).

Estes sistemas são usados principalmente no transporte quando é necessário realizar entregas num dia ou menos.

Os sistemas de refrigeração criogénicos operam geralmente com um líquido refrigerante em tanque pressurizado. Um sensor de temperatura dentro do compartimento ativa um controlo, que liberta o líquido refrigerante através de um bocal de pulverização para o tecto do recipiente.

Ao entrar em contato com o ar mais quente do recipiente, a pulverização de CO<sub>2</sub> ou gás N<sub>2</sub> provoca absorção de calor. Ao atingir a temperatura desejada, o elemento de controlo do sensor envia um sinal de comando para cortar o fluxo de refrigerante.

Num outro tipo de sistema, o CO<sub>2</sub> líquido flui através de uma serpentina do permutador de calor ou placa e o gás vaporizado é libertado.

As vantagens dos sistemas criogénicos passam por estes serem constituídos por peças móveis, serem fáceis de manter e substituir, e o facto de permitirem um rápido ajuste do termostato de temperatura após entrega do produto.

Embora a refrigeração criogénica seja o método com maior capacidade de refrigeração, possui algumas desvantagens. A principal desvantagem é a sua capacidade limitada devido à necessidade de reabastecimento de fluido frigorígeno

As vantagens e desvantagens da refrigeração mecânica com base na refrigeração criogénica são na maior parte complementares. Por um lado os sistemas mecânicos são económicos, com uma grande amplitude e podem fornecer calor. No entanto, os sistemas criogénicos são mais poderosos, precisos, não são ruidosos e são flexíveis [31].

## **Fluidos criogénicos**

- Azoto

O azoto é um gás inerte, não-metálico, incolor, insípido e inodoro, que possui uma elevada eletronegatividade. Nas condições de temperatura e pressão normais, encontra-se no estado gasoso e constitui cerca de 78,01 % do ar da atmosfera terrestre.

A mais importante aplicação do azoto é na obtenção do gás amoníaco. Este posteriormente é utilizado na produção de fertilizantes e ácido nítrico. Quando obtido pela destilação do ar líquido, atinge temperaturas extremamente baixas, pelo que é utilizado na criogenia.

Quase inerte, o azoto gasoso utiliza-se na indústria química como solvente, como protetor de outros produtos contra eventuais riscos de oxidação ou deterioração ou como inibidor de possíveis combustões e explosões.

Na indústria alimentar, é utilizado no estado gasoso para prevenir a oxidação e o aparecimento de mofo ou insetos. No estado líquido, é usado nos sistemas de refrigeração e como congelante seco. O baixo ponto de ebulição do azoto recomenda que seja usado como agente criogénico para a maioria das substâncias químicas e proporciona valiosos dados sobre o comportamento da matéria a baixas temperaturas [32].

Nas tabelas 4 e 5 são apresentadas as características e fatores de conversão do Azoto.

**Tabela 3 - Características do Azoto**

<b>Símbolo químico</b>	<b>N2</b>
Massa Molar:	28,01 g/mol
Ponto Triplo:	Temperatura: 63,2 k (-210,0°C) Pressão: 125,3 mbar Calor latente de fusão: 25,8 kJ/kg
Ponto de ebulição a 1013 mbar:	Temperatura: 77,4 k (-195,8°C) Calor latente de ebulição: 198,7 kJ/kg
Ponto crítico:	Temperatura: 126,2 k (-147,0°C) Pressão: 34,0 bar Densidade: 0,314 kg/litro
Estado gasoso a 1 bar e 15°C:	Densidade relativa ao ar: 0,967

**Tabela 4 - Fatores de conversão do Azoto**

<b>m<sup>3</sup> gás (1 bar e 15°C)</b>	<b>Litros de gás liquefeito (em equilíbrio a 1,013 bar)</b>	<b>kg</b>
1	1,447	1,170
0,691	1	0,809
0,855	1,237	1

- Dióxido de carbono

O dióxido de carbono é um agente criogénico fundamental em aplicações de arrefecimento, refrigeração e congelação, protegendo o sabor e a textura dos produtos alimentares ao manter um controlo de temperatura adequado. O dióxido de carbono também reduz a necessidade de conservantes em produtos embalados, sendo ainda o ingrediente essencial para a efervescência das bebidas gaseificadas.

Está associado a muitos produtos de consumo em massa que requerem gás pressurizado pelo facto de ser barato e não-inflamável e também pelo facto de sofrer uma transição de fase de gás para líquido à temperatura ambiente e ser difícil atingir uma pressão de

60 bar. Isto permite assim o seu armazenamento em contentores numa maior quantidade (massa) que outros géneros de gases [33].

Nas tabelas 6 e 7 são apresentadas as características e fatores de conversão do Dióxido de carbono.

**Tabela 5 - Características do Dióxido de carbono**

<b>Símbolo químico</b>	<b>C02</b>
Massa Molar:	44,01 g/mol
Ponto Triplo:	Temperatura: 216,58 k (-56,57°C) Pressão: 5,19 bar Calor latente de fusão: 196,7 kJ/kg
Ponto de ebulição a 1013 mbar:	Temperatura: 194,67 k (-78,48°C) Calor latente de sublimação: 573 kJ/kg
Ponto crítico:	Temperatura: 304,21 k (31,06°C) Pressão: 73,83 bar Densidade: 0,466 kg/litro
Pressão de condensação	50 bar (a 15°C) 58,8 bar (a 20°C)
Estado gasoso a 1 bar e 15°C:	Densidade relativa ao ar 1,528

**Tabela 6 - Fatores de conversão do Dióxido de carbono**

<b>m<sup>3</sup> gás (1 bar e 15°C)</b>	<b>Litros de gás liquefeito (em equilíbrio a 1,013 bar)</b>	<b>kg</b>
1	1,569	1,848
0,637	1	1,178
0,541	0.849	1

- Oxigénio

O Oxigénio é um gás incolor e inodoro faz parte do ar atmosférico em aprox. 20,95% vol.

O oxigénio não é tóxico. É intensamente oxidante, devendo evitar-se o contacto com substâncias inflamáveis, já que pode provocar a sua combustão. Tudo o que entrar em contacto com o oxigénio deve estar isento de óleos, gorduras e lubrificantes.

Essencial para a vida, o oxigénio é utilizado na aquacultura para permitir os níveis de oxigénio dissolvido necessários para níveis elevados de produção e para a saúde dos peixes [34].

Nas tabelas 8 e 9 são apresentadas as características e fatores de conversão do Oxigénio.

**Tabela 7 - Características do Oxigênio**

<b>Símbolo químico</b>	<b>O<sub>2</sub></b>
Massa Molar:	32,00 g/mol
Ponto Triplo:	Temperatura: 54,4 k (-218,8°C) Pressão: 1,5 mbar Calor latente de fusão: 13,9 kJ/kg
Ponto de ebulição a 1013 mbar:	Temperatura: 90,2 k (-183°C) Calor latente de ebulição: 213 kJ/kg
Ponto crítico:	Temperatura: 154,6 k (-118,6°C) Pressão: 50,4 bar Densidade: 0,436 kg/litro
Estado gasoso a 1 bar e 15°C:	Densidade relativa ao ar: 1,105

**Tabela 8 - Fatores de conversão do Oxigênio**

<b>m<sup>3</sup> gás (1 bar e 15°C)</b>	<b>Litros de gás liquefeito (em equilíbrio a 1,013 bar)</b>	<b>kg</b>
1	1,172	1,337
0,835	1	1,141
0,748	0.876	1

- Gelo seco

O Dióxido de Carbono é um gás incolor, inodoro e não combustível, formando parte do ar atmosférico em aprox. 0,03% vol. Não é tóxico, no entanto em ambientes de trabalho contínuo não se deve superar a concentração de 5000 ppm/v (segundo Air Liquide).

O Gelo Seco é dióxido de carbono no estado sólido. É asséptico, inodoro e sem sabor.

Sublima diretamente do estado sólido para o estado gasoso sem se liquefazer e deixar resíduos [35].

Nas tabelas 10 e 11 são apresentadas as características e fatores de conversão do Gelo seco.

**Tabela 9 - Características do Gelo seco**

<b>Símbolo químico</b>	<b>C02</b>
Massa Molar:	44,01 g/mol
Ponto Triplo:	Temperatura: 216,58 k (-56,57°C) Pressão: 5,19 bar Calor latente de fusão: 196,7 kJ/kg
Ponto de ebulição a 1013 mbar:	Temperatura: 194,67 k (-78,48°C) Calor latente de sublimação: 573 kJ/kg
Ponto crítico:	Temperatura: 304,21 k (31,06°C) Pressão: 73,83 bar Densidade: 0,466 kg/litro
Pressão de condensação	50 bar (a 15°C) 58,8 bar (a 20°C)
Estado gasoso a 1 bar e 15°C:	Densidade relativa ao ar 1,528

**Tabela 10 - Fatores de conversão do Gelo seco**

<b>m<sup>3</sup> gás (1 bar e 15°C)</b>	<b>Litros de gás liquefeito (em equilíbrio a 1,013 bar)</b>	<b>kg</b>
1	1,569	1,848
0,637	1	1,178
0,541	0,849	1

- Comparação entre o Azoto líquido e o Dióxido de carbono líquido

É importante esta comparação dado que estes fluidos criogénicos são os mais utilizados (tabela 12).

**Tabela 11 - Comparação entre azoto líquido e dióxido de carbono líquido**

	<b>Azoto Líquido</b>	<b>Dióxido de carbono Líquido</b>
<b>Segurança e Condições ambientais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Um aumento nos níveis de N<sub>2</sub> de cerca de 2% não é perigoso para os seres humanos</li> <li>• O azoto é mais fácil de conduzir para o exterior que o dióxido de carbono</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limite de exposição na atmosfera de apenas 0,5% CO<sub>2</sub> é um pouco reativo e tóxico</li> </ul>
<b>Qualidade da comida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhor qualidade devido ao menor tempo de congelação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pior qualidade devido ao maior tempo de congelação</li> </ul>
<b>Custo de investimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas de congelação inferiores. Tamanho e custo do equipamento são menores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas de congelação superiores. Tamanho do equipamento proporcionalmente superior</li> </ul>
<b>Custo de operação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tem mais 18% de capacidade calorífica logo na congelação é necessário menos 18% de azoto do que de dióxido de carbono</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É mais barato que o azoto, mas o custo de congelação é mais caro pois é necessário mais fluido</li> </ul>
<b>Custo de manutenção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamento simples que requer pouca manutenção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamento complexo que requer uma grande manutenção</li> </ul>
<b>Taxa de produção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas de operação baixas.</li> <li>• Tamanho do equipamento 50% do de dióxido de carbono</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas de operação altas.</li> <li>• Equipamento maior para produzir a mesma quantidade de produto</li> </ul>
<b>Flexibilidade operacional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequenos equipamentos</li> <li>• Fácil de operar</li> <li>• Funciona de modo eficiente mesmo quando se sai de fora das especificações de projeto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes equipamentos</li> <li>• Requer constante vigilância do processo</li> <li>• Dimensionado para produtos específicos</li> </ul>

## **5.2 Fatores a ser considerados no armazenamento dos alimentos sob refrigeração**

### **Temperatura**

A temperatura a ser escolhida depende:

- Tipo do produto;
- Tempo de armazenamento;
- Condições de armazenamento.

As câmaras de refrigeração devem ser projetadas de tal forma que não permitam oscilações de temperatura superiores a 10 °C.

O fluxo de trabalho no interior da câmara deve ser o mínimo possível e a colocação de alimentos não refrigerados numa câmara de armazenamento deve ser evitado [36].

### **Humidade relativa**

A humidade relativa do ar dentro da câmara varia com o tipo de alimento a conservar.

Uma humidade relativamente baixa irá contribuir para a perda de humidade do alimento, podendo ocorrer uma desidratação, enquanto uma humidade relativamente alta, facilitará o crescimento de microrganismos

Para períodos de armazenamento prolongados, recomenda-se o uso de embalagens capazes de evitar esse desequilíbrio [36].

### **Circulação do ar**

A circulação do ar ajudará na distribuição do calor dentro da câmara, permitindo assim uma temperatura uniforme.

O ar da câmara deve ser renovado diariamente, com a finalidade de eliminar os maus odores que poderão formar-se, principalmente se houver necessidade do armazenamento de diferentes produtos, na mesma câmara ou de alimentos sem embalagens [36].

## **Atmosfera de armazenamento**

A temperatura, humidade relativa e composição da atmosfera variam de acordo com o produto.

Uma composição ideal, geralmente, é constituída por 3% de oxigênio, 5% de dióxido de carbono e 92% de azoto [36].

## 6. Congelação

A congelação é atualmente um método muito utilizado para a conservação de alimentos em indústrias de vários segmentos. Portanto, é importante que seja realizada de forma a preservar ao máximo as características dos alimentos, seja aqueles que têm a congelação como única forma de preservação, seja para aqueles que requerem algum tratamento anterior ou posterior.

Na conservação de alimentos pela congelação, utilizam-se temperaturas mais baixas do que na refrigeração, a redução da temperatura abaixo do ponto de congelação tem como principais objetivos inibir o crescimento microbiano e retardar os processos metabólicos.

Quando congelamos um determinado produto, estamos a diminuir a sua temperatura, que deverá ser inferior a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura limite da atividade da água, à qual a atividade microbiana é inexistente e as reações enzimáticas e químicas são mínimas [10].

Quando retiramos calor de um corpo, subtraímos energia da sua estrutura molecular, diminuindo o seu estado de agitação molecular. A atividade dos átomos e moléculas diminui gradualmente com a descida da temperatura, que se dá por transferência de calor dos corpos (fonte quente) para o meio que as envolve (fonte fria), podendo esta transferência de calor ser feita por três métodos diferentes: condução, convecção e radiação.

- Condução

A transferência de calor por condução é efetuada através de um corpo sólido ou das camadas imóveis mais espessas dos líquidos e gases por agitação atômica e molecular da matéria que os forma.

Quando fornecemos energia a uma das faces de um corpo, o calor vai-se propagar ao longo do corpo por agitação atômica.

Para que haja transferência de calor entre dois sólidos diferentes terá obrigatoriamente que haver contacto direto entre eles para que a energia térmica possa transitar de um corpo para o outro, sempre no sentido do corpo com maior atividade molecular (mais quente), para o de menor agitação atômica e molecular (menos quente).

A quantidade de calor por condução pode ser calculada pela seguinte expressão [28]:

$$Q = -K \times dS \times dT/dX$$

- Convecção

A transmissão de calor por convecção faz-se entre dois corpos ou elementos em estados diferentes (líquido ou sólido) graças à movimentação das partículas móveis das substâncias líquidas ou gasosas.

A transmissão de calor por convecção é a que ocorre nos tuneis de congelação. O ar em contacto com o evaporador é arrefecido, transferindo energia térmica para o fluido frigorígeno que usa essa energia para mudar do estado líquido para o gasoso. O ar mais quente e menos denso sobe e toma o lugar do ar arrefecido junto do evaporador, enquanto o ar frio desce e entra em contacto com o produto na passadeira rolante, congelando-o. Forma-se deste modo, um fluxo de ar contínuo que transfere o calor do produto (fonte quente) até o evaporador (fonte fria), o qual será mais intenso quanto maior for o gradiente de temperatura entre as fontes.

A quantidade de calor por convecção pode ser calculada pela seguinte expressão [28]:

$$Q = hc \times A \times (T_s - T_\infty)$$

- Radiação

A radiação térmica, também conhecida como irradiação é uma forma de transferência de calor que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. Como essas ondas podem propagar-se no vácuo não é necessário que haja contacto entre os corpos para haver transferência de calor. Todos os corpos emitem radiações térmicas que são proporcionais à sua temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de calor que o objeto irradia

A quantidade de calor emitido por radiação pode ser calculado pela seguinte expressão [28]:

$$.E = \epsilon \times A \times \sigma \times T^4$$

Na congelação normalmente tem-se um processo de transmissão de calor principal, contudo a extração de energia térmica pode resultar da junção de dois ou mais processos de transmissão falados anteriormente.

A congelação permite o armazenamento dos alimentos classificados como perecíveis por períodos de tempo relativamente longos sem alterações das suas características como o aroma, a cor, o sabor, a textura e valor nutritivo.

A congelação é um método caro e exige a continuidade da cadeia de frio, isto é, o produto deve ser conservado a baixas temperaturas, desde a produção até o consumo.

A escolha da temperatura utilizada no armazenamento depende do aspeto económico e das características de cada produto.

## **6.1 Congelação lenta e congelação rápida**

### **6.1.1 Congelação lenta**

Durante a congelação lenta, a temperatura do produto permanece próxima do ponto de congelação inicial durante bastante tempo. A água extracelular congela mais rapidamente que a intracelular, porque tem uma menor concentração de solutos. A congelação lenta resulta em fenómenos de cristalização de gelo, formando-se este sob a forma de cristais de gelo que vão crescendo ao longo do tempo de congelação, sendo tanto maiores quanto mais tempo demorar a congelação. Neste processo os cristais de gelo tomam a forma de dendrites, formação em agulha, que levam ao rebentamento das células constitutivas do produto, originando perda da água que faz parte do produto, alterando assim as suas características, como seja, sabor, textura, etc [37].

### **6.1.2 Congelação rápida**

Durante a congelação rápida, os cristais de gelo, essencialmente os intercelulares, forma-se rapidamente quando, de pequena dimensão e de forma geométrica mais esférica, não deteriorando as células do produto.

Na tabela 12, pode-se visualizar as velocidades típicas de congelação em função do tipo de congelação [37]:

**Tabela 12 - Velocidades de congelação típicas**

<b>Tipos de Congelamento</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
Congelamento lento	$5,56 \times 10^{-7}$
Congelamento rápido (túnel ou placas)	1,38 a $8,33 \times 10^{-6}$
Congelamento rápido de pequenos produtos	1,39 a $2,78 \times 10^{-5}$
Congelamento muito rápido (azoto ou neve carbônica)	$2,78 \times 10^{-5}$ a $2,78 \times 10^{-4}$

## **6.2 Vantagens que a congelamento rápido apresenta sobre a lento**

- Formação de cristais de gelo menores e portanto menor destruição mecânica das células do alimento;
- Tempo de solidificação menor e portanto menor o tempo para a difusão dos materiais solúveis e para a separação do gelo;
- Previne o crescimento microbiano;
- Retardamento da ação enzimática é mais rápido;

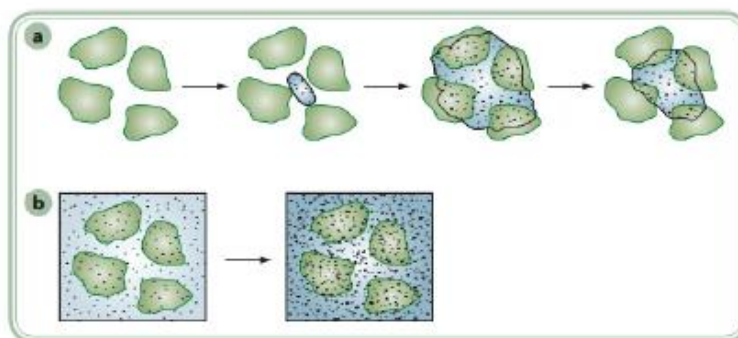
A duração da congelamento é o tempo necessário para baixar a temperatura do produto desde da sua temperatura inicial no centro térmico do produto devendo ter-se sempre em conta que a evolução da temperatura é diferente á superfície e no centro do produto. O tempo de congelamento depende de vários fatores além da temperatura, como o tamanho e a forma do produto e o material da embalagem.

A escolha da temperatura a ser utilizada depende da finalidade do congelamento. No pescado congelado, a atividade microbiana é paralisada, a enzimática, bem como a velocidade de reações químicas é substancialmente reduzida. A congelamento é um excelente método de conservação porque ocorrem alterações menores do que em qualquer outro método de conservação de alimentos [24].

## **6.3 Cristais de gelo**

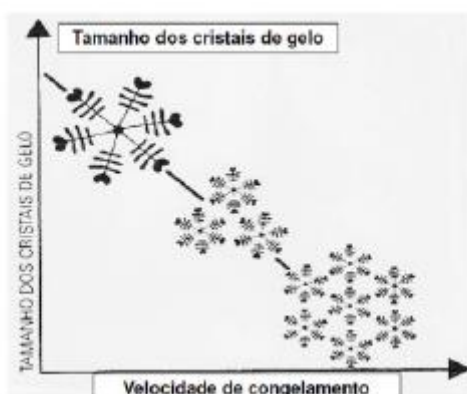
Os cristais de gelo, que se formam durante a congelamento, são muito importantes, dado que quer o seu número quer o seu tamanho vão influenciar diretamente a qualidade do produto. Através da formação de cristais, há a possibilidade de rutura celular. A velocidade lento de arrefecimento (até  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) causa formação de cristais de gelo intercelulares. Esta formação de gelo produz cristais grandes que incham e causam uma separação física das fibras. Estes empurram as células formando sulcos alternados (ranhuras) nas fibras e cristais de gelo.

Através da descongelamento, muitos fluidos intercelulares são perdidos na forma de gotejamento. Na congelação rápida os cristais formados são intracelulares e pequenos e a quando da descongelamento são facilmente reabsorvidos pelos componentes celulares (Figura 9).



**Figura 9 - Efeito do congelamento em tecidos vegetais: a) congelação lenta; b) congelação rápida**  
Fonte: [http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lopesvieira/operacoes-unitarias/trabalhos/turma-2013-2/refrigeracao-e-congelamento/congelamento.pdf/at\\_download/file](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lopesvieira/operacoes-unitarias/trabalhos/turma-2013-2/refrigeracao-e-congelamento/congelamento.pdf/at_download/file)

Na Figura 10 pode-se ver também a relação entre o tamanho dos cristais de gelo e a velocidade de congelamento:



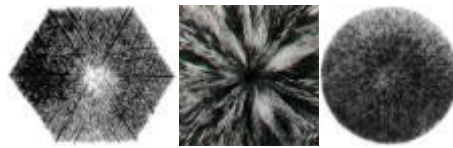
**Figura 10 - Relação entre tamanho dos cristais de gelo e velocidade de congelação**  
Fonte: [http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lopesvieira/operacoes-unitarias/trabalhos/turma-2013-2/refrigeracao-e-congelamento/congelamento.pdf/at\\_download/file](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lopesvieira/operacoes-unitarias/trabalhos/turma-2013-2/refrigeracao-e-congelamento/congelamento.pdf/at_download/file)

Os alimentos congelam-se dentro de uma grande variação de temperaturas dependendo da concentração de sais e água em suspensão coloidal na célula. A velocidade de congelação dependerá da quantidade de água livre presente dentro da célula, e a água livre na célula congelará de acordo com a quantidade de sais nela dissolvidos.

A formação de cristais pode ocorrer de diferentes formas, dependendo do meio. Assim, por exemplo, cristais hexagonais regulares (Figura 11a) são formados por moléculas de água em períodos longos no congelamento da água pura. Na presença de solutos em

solução, as moléculas de água cristalizam junto ao sólido, levando à formação de cristais irregulares (Figura 11b), nos quais várias colunas são formadas a partir do centro de cristalização.

Em altas taxas de congelamento, o número de fragmentos formados a partir do centro é muito grande e não se observa a formação das colunas, sendo as unidades formadas esféricas (Figura 11c). O tipo e número de unidades cristalinas formadas dependem da taxa de congelamento e da concentração de um soluto em solução [38].

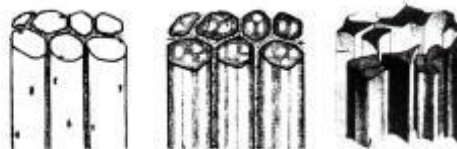


**Figura 11- Unidades principais de cristalização. (a) Hexágonos regulares, (b) Dendritos irregulares, (c) Unidades esféricas**

**Fonte: TRESSLER; ARSDEL; COPLEY**

Quanto à taxa de congelamento, é certo que através da congelamento rápida se obtêm produtos finais congelados de melhor qualidade, devido à formação de pequenos cristais de gelo entre as estruturas das células, nos espaços intercelulares e intracelulares, sendo que o tamanho dos cristais é tão pequeno que não ocorrem danos nas células [39].

A Figura 12 mostra a congelamento de um peixe. Em (a) está representado o tecido não-congelado, em (b) a formação de pequenos cristais de gelo e em (c) a formação de grandes cristais de gelo.



**Figura 12 - (a) Diagrama do tecido de peixe não-congelado; (b) Diagrama do tecido congelado com formação de pequenos cristais de gelo; (c) Diagrama do tecido congelado com formação de grandes cristais de gelo**

**Fonte: FENNEMA; POWRIE; MARTH**

Pesquisas recentes acerca dos métodos de congelamento e descongelamento de alimentos têm o objetivo de minimizar os danos decorrentes da formação de cristais de gelo, perda de peso na armazenagem e saída de água e nutrientes na descongelamento.

Na congelamento, o uso de elevadas pressões promove um rápido e uniforme crescimento dos cristais de gelo em todo o alimento que está a ser congelado [40].

## **7. Descongelamento**

A descongelamento é outra fase crítica para os produtos congelados pois é um processo sensível e que introduz fenômenos físicos e químicos no produto.

As condições de temperatura e humidade, durante o processo, criam condições excelentes para o desenvolvimento de germes microbianos e fúngicos e nomeadamente de germes patogénicos.

O modo de descongelamento mais usado, tanto no sector doméstico como no sector industrial, é a descongelamento lenta em ambiente frio, normalmente realizada em câmaras de descongelamento a convecção natural ou artificial à temperatura de +4 °C.

Existem diferentes processos de descongelamento como por exemplo para produtos de consumo rápido e consumo doméstico, podendo mudar de estado congelado a refrigerado por processo direto através da cozedura, água a ferver para os legumes e forno ou frigideira para os produtos de origem animal. Mas há outras técnicas simples e não recomendáveis, como sejam por exemplo, descongelar o alimento em água corrente, pois é simples, mas se o produto não estiver embalado, há alterações de aspeto do produto. Descongelar os produtos à temperatura ambiente, é um processo muito usado no sector doméstico, constituindo também um risco do ponto de vista higiénico e uma diminuição do seu valor nutritivo.

Existem processos de descongelamento que conciliam as exigências de higiene e de boa reidratação, como seja túneis de descongelamento rápida (usado na industria), câmaras micro-ondas, fornos a micro-ondas muito utilizados atualmente, etc [19].

### **7.1 Influência que a congelação e a descongelamento exercem sobre a qualidade dos alimentos**

A congelação não destrói todos os microrganismos presentes nos alimentos e, portanto, a descongelamento deve ser feita obedecendo a todos os aspetos de higiene e segurança, sob pena de haver crescimento microbiano durante esta etapa do processo.

Se as normas de higiene não forem respeitadas, pode ocorrer ainda uma contaminação adicional, visto que, após a congelação, o produto tem a suas resistências reduzidas.

Portanto, a congelação e a descongelamento realizadas mais que uma vez são prejudiciais à maioria dos alimentos.

Assim, a descongelamento deve ser feita cuidadosamente, devendo-se fazer uso imediato do alimento descongelado.

## **8. Métodos de congelação**

O processo de congelação está presente em várias áreas da engenharia, mas na tecnologia de produtos alimentares, principalmente no pescado, o processo de congelação afeta não apenas a qualidade do produto congelado, mas, também, o desempenho do equipamento utilizado [41]. Assim, a análise do tipo de processo de congelação é muito importante durante o projeto industrial e, conseqüentemente, na produção do produto congelado.

O ciclo da qualidade na indústria de alimentos tem tomado outro rumo, da garantia da qualidade para gestão de qualidade, onde o processo de aumento de qualidade e maximização da aceitação do produto congelado pelo consumidor tem sido usado para otimizar as condições do processo de congelamento (tipo de congelação, taxa de congelação), níveis de aditivos e ingredientes utilizados ou condições de armazenamento [42].

Dependendo do processo e do objetivo da congelação a opção pelos sistemas e congeladores disponíveis no mercado deve ser estudada criteriosamente em termos energéticos, económicos e produtivos.

Termos Económicos – Deve-se ter em conta o capital investido, o custo de manutenção do equipamento e as amortizações financeiras.

Termos Produtivos – Deve-se ter em conta aspetos como a continuidade do sistema de congelação, a logística interna de processamento e a dimensão do produto.

Termos Energéticos – Deve-se ter em conta a possibilidade de montagem e utilização do sistema de congelação, menos consumidor de energia e adequado à linha e ao produto.

### **8.1 Congelação por meio de sistemas frigoríficos**

#### **8.1.1 Túneis de ar clássico**

Para processos de congelação de produtos, o mais indicado é a utilização de túneis de congelação. Como o próprio nome indica, o túnel de congelação parte do princípio de um local “restrito”, segregado e confinado, onde se procura maximizar a circulação de ar frio sobre o produto, visando a congelação no menor tempo possível.

Um fator fundamental na vida útil dos produtos congelados (tempo de armazenamento do congelado) é a velocidade de congelação. Quanto mais rápida for a congelação, mais se preservam as qualidades e propriedades do produto.

Por outro lado um túnel de congelação faz com que uma grande quantidade de ar frio esteja em contato com o produto, fazendo com que a congelação ocorra em minutos ou poucas horas. É bastante comum que os processos demorem desde minutos até uma ou duas horas. Com isto, os cristais formados são pequenos (não há tempo para o crescimento) e a estrutura do produto mantém-se sem alterações.

Como são inúmeros os produtos que requerem congelação para armazenagem prolongada: carne, peixe, polpas de frutas, pães, salgados, massas e pratos prontos entre outros, fica claro que um projeto de túnel de congelação, para ser eficiente, deve ter em conta a natureza do produto a ser congelado, o seu aspeto aquando da congelação (a granel, embalado, formato/dimensões), entre outros requisitos.

Os túneis de congelação apresentam sempre o mesmo princípio de adequada potência frigorífica e elevada ventilação sobre o produto. Há túneis estáticos, em que os produtos são congelados em lotes e os dinâmicos, com movimentação dos produtos durante o processo [43].

### **8.1.1.1 Túneis contínuos**

#### **8.1.1.1.1 Túnel de congelação por ar parado (*Still air sharp freezing*)**

A congelação com ar parado (Anexo I – figura 1) depende da transmissão do calor por convecção e radiação, traduzindo-se por uma congelação mais lenta e pouco homogénea.

Este tipo de congelamento é lento, quando comparado com outros sistemas de congelamento, porém é realizado sob uma temperatura na faixa entre -25°C a -30°C o que garante um produto congelado de qualidade [44].

#### **8.1.1.1.2 Túnel de congelação por ar forçado (*Air blast freezing*)**

Diferentes tipos de congeladores por ar forçado (Anexo I – figura 2) são amplamente utilizados na indústria do pescado devido à sua alta versatilidade. O ar frio circula a uma velocidade de 3 a 5 m/s. A temperatura de evaporação é de  $-45^{\circ}\text{C}$  e a temperatura média no túnel é de  $-35^{\circ}\text{C}$ , com uma humidade relativa do ar entre 60 e 70% [45].

Uma velocidade de circulação de ar acima de 5 m/s não diminui significativamente o tempo de congelação e, ainda, pode favorecer a secagem e a perda de peso do produto, além de aumentar o gasto de energia.

Os congeladores mais utilizados são os com passagem de ar frio na gama entre  $-18^{\circ}\text{C}$  e  $-40^{\circ}\text{C}$ , no qual os peixes são acomodados em bandejas e percorrem lentamente um túnel de ar frio, onde o ar passa em contra corrente com o produto.

Um congelador por ar forçado congela em média 8 toneladas de peixes em 4 horas, só que, nesse caso, os peixes têm que estar acomodados em bandejas especiais, de alumínio ou aço inox, cujos lados são abertos. Além disso, os intervalos entre prateleiras devem ser suficientes para passagem de ar frio. A escolha do condensador é feita conforme as condições climáticas da região, a disponibilidade e custo de água [46].

A velocidade de circulação do ar dentro deste túnel deve ser escolhida, cuidadosamente, em virtude da necessidade de uma transferência de calor adequada aos custos envolvidos. Normalmente utiliza-se uma velocidade de 5 m/s, no entanto velocidades de 10 ou 15 m/s por vezes são justificadas em túneis contínuos.

#### **8.1.1.1.3 Túnel de congelação de leito fluidizado**

Os congeladores de leito fluidizado (Anexo I – figura 2), uma variante dos congeladores de ar forçado, permitem a congelação individual de produtos de pequenas dimensões, como por exemplo, camarão ou filetes. Nestes congeladores os produtos são colocados numa rede transportadora e submetidos a uma corrente de ar frio de baixo para cima [24].

#### **8.1.1.1.4 Túnel de congelação em espiral (*Spiral air blast freezer*)**

O túnel de congelação em espiral (Anexo I – figura 3), é um dos mais utilizados industrialmente. Foi desenvolvido para a congelação IQF, ou para embalagens

congeladas individualmente, considerando-se a temperatura de congelação no mínimo -30°C, podendo chegar até -45°C, com capacidade que varia de 400 a 7000 kg/hora. O produto permanece no interior do túnel num período entre 10 minutos a duas horas, dependendo do seu tamanho [47].

Este processo tem uma eficiência muito grande, extraíndo o calor dos produtos o mais rápido possível, sem submeter os mesmos a velocidades excessivas de ar, o que poderia danificar produtos delicados.

Os congeladores em espiral permitem aumentar a capacidade de congelamento, sem que ocorra perda de espaço físico. Os alimentos são distribuídos em esteiras transportadoras metálicas flexíveis e autoempilháveis. Funcionam automaticamente e podem ser utilizados para processar diversos alimentos ao mesmo tempo. O congelamento é contínuo e projetado de forma a minimizar as perdas de produto e garantir a qualidade ao longo de todo o processo. Os produtos são alimentados uniformemente da linha de produção diretamente para a esteira do congelador. Esta transporta o produto rapidamente para a zona de baixas temperaturas. A esteira circular vai em direção ao topo, onde o produto chega totalmente congelado. Devido à grade superfície da esteira, os produtos podem ser congelados em uma única camada, possibilitando o congelamento rápido e individual (IQF). Como os produtos mantem a mesma ordem de carregamento durante todo o processo de congelamento, a separação de produtos mistos congelados simultaneamente é facilitada.

#### **8.1.1.1.5 Túnel de congelação em cintas transportadoras**

É um túnel de refrigeração e/ou congelação multifunções (Anexo I – figura 4).

Durante o processo, o produto é distribuído uniformemente sobre toda a largura da cinta transportadora, onde é arrefecido com ar frio. Primeiro, o ar é arrefecido num refrigerador de ar. Os refrigeradores são dimensionados para que o gelo possa ser depositado nas aletas sem afetar a capacidade durante o período de produção.

Depois, o ar frio é expelido para a cinta transportadora e para os produtos através de ventiladores.

Uma distribuição precisa do ar promove a refrigeração e/ou congelação uniformes do produto individual. O design dos ventiladores e das cintas transportadoras prevê uma distribuição uniforme do ar ao longo de toda a largura da cinta transportadora. Além

disso, a configuração do design toma em consideração as velocidades de ar e descompressão [48].

### **8.1.1.2 Túneis descontínuos**

Estes túneis são usados normalmente para congelação de grandes quantidade de produto de uma só vez, geralmente possuem uma só porta para carga e descarga e podem ser utilizadas paletes no seu carregamento.

### **8.1.2 Congelador de placas (Contact freezing)**

Os congeladores de placas são constituídos por duas partes principais: a unidade de congelação e o respetivo isolamento ou cabine.

As placas podem ser posicionadas horizontalmente ou verticalmente.

Os produtos a congelar são colocados entre as placas de metal, onde estas exercem uma pressão sobre o produto, por ação de um cilindro hidráulico no caso dos congeladores horizontais e por um macaco hidráulico nos congeladores de placas verticais. Este bom contacto entre as placas e o produto vai permitir que a transmissão de calor por condução se dê mais rapidamente. No entanto para haver um bom contacto é necessário que as embalagens tenham dimensões uniformes e que as placas não estejam cobertas por gelo [47].

Os congeladores de placas horizontais (Anexo I – figura 6) são indicados para a congelação de pescado ou produtos com dimensões uniformes.

Os congeladores de placas verticais (Anexo I – figura 5) são especialmente adequados para congelar pescado inteiro a granel.

Em alguns casos é conveniente adicionar água ao peixe para facilitar a formação de blocos [45].

As placas recebem diretamente o fluido frigorígeno a uma temperatura de  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $-40^{\circ}\text{C}$ .

De referir que os congeladores de placas são muito utilizados em navios, devido aos condicionalismos de espaço disponível a bordo, pela potência instalada, pela rapidez de congelação, pelo material de qualidade e higiene garantida, não danificam os produtos e protegem-nos contra a desidratação. Na indústria em geral, servem para congelar pescado, frutos do mar, carne e vegetais embalados em pequenos pacotes.

Os congeladores de placas têm um ótimo rendimento térmico, porém têm a restrição de poderem ser utilizados apenas para produtos que possam ser contidos em embalagens do tipo de "blocos" retangulares.

Os congeladores de placas são desenvolvidos e evoluídos constantemente, para garantir as necessidades do mercado.

## **8.2 Salmouras (Brine immersion freezing)**

As salmouras (Anexo II – figura 1) são uma mistura de água com um sal dissolvido, muitas vezes cloreto de sódio.

A imersão em salmouras de cloreto de sódio foi um dos primeiros processos de congelação a ser usado na congelação de pescado e é ainda hoje bastante utilizada em Portugal para congelar sardinhas. A utilização deste processo permite que a sardinha absorva uma certa percentagem de sal, importante principalmente para potenciar o sabor na sardinha de conserva [45].

No sistema de congelamento por imersão, a salmoura é circulada a uma velocidade de 0,04 a 0,09 m/s. Quando se utiliza uma salmoura de NaCl, a transmissão de calor é bem maior e rapidamente a superfície do alimento é congelada, entretanto pode ocorrer uma leve penetração do sal no alimento. No caso de CaCl<sub>2</sub>, congela-se o alimento embalado. Neste tipo de congelação é preciso assegurar a circulação do fluido refrigerante e controlar a concentração da salmoura bem como a relação pescado/salmoura [46].

As principais desvantagens resultam da absorção de sal pelo pescado, da temperatura relativamente alta a que ocorre a congelação (cerca de -20°C) e da perda de escamas.

## **8.3 Congelação criogénica**

Neste processo o congelamento faz-se através da aplicação de “sprays” de azoto e/ou dióxido de carbono líquido nos alimentos. O azoto líquido evapora a -193,56°C sob pressão atmosférica e retira 47,65 kcal/kg de calor latente do ambiente circundante, enquanto que o dióxido de carbono líquido evapora a -78,9°C e retira 37,33 kcal/kg de calor latente do ambiente.

Este método não é aplicável em alimentos espessos, devido à possibilidade de fendas e deformações do produto, além de ser mais caro, tendo em vista a não recuperação do agente criogénico (N<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>). No caso do azoto, ocasionalmente, o produto poderá apresentar fendas na superfície.

Tanto na congelação total ou na superficial (crusting), o arrefecimento através da criogenia reduz significativamente as perdas por desidratação, mantendo as características sensoriais do produto fresco [49].

A rápida congelação através da criogenia traz grandes benefícios ao produto congelado, prevenindo, o aparecimento de cristais de gelo, mantendo alta qualidade após o descongelamento, a oxidação lipídica, pois pode ser minimizada pela exclusão do oxigênio pelo congelamento, a perda de aroma e perda por desidratação [45].

Como já foi referido anteriormente os principais fluidos utilizados são o azoto líquido e o dióxido de carbono, ambos incolores, inodoros e inertes.

Quando azoto líquido é pulverizado sobre um alimento, 48% da capacidade de congelação total (entalpia) é utilizada como calor latente de vaporização necessário para formar o gás. Os restantes 52% da entalpia ficam disponíveis no gás refrigerado, que deve, portanto, ser recirculado para otimizar o uso da capacidade de congelamento.

O dióxido de carbono possui uma entalpia menor do que a do azoto líquido, mas a maior parte da capacidade de congelamento (85%) é disponibilizada pelo sólido sublimado e o menor ponto de ebulição produz um choque térmico menos agressivo. Além disso, o dióxido de carbono sólido, na forma de uma fina neve, sublima em contato com o produto, e o gás não é recirculado [47].

O consumo de dióxido de carbono é maior do que o de azoto líquido mas as perdas na armazenagem são menores.

O equipamento utilizado para realizar este método de congelação consiste geralmente em túneis de funcionamento contínuo com esteiras rolantes para transportar o produto. O esquema da instalação deve possibilitar o contato do alimento com o azoto líquido, que apresenta grande capacidade de arrefecimento.

O equipamento é simples e de baixo custo.

A obtenção de cristais menores de água no produto, característica do congelamento rápido, leva a que as características originais do produto se mantenham após a descongelação.

### **8.3.1 Congeladores de Contacto direto**

#### **8.3.1.1 Congelador de imersão**

Neste caso, o alimento é imerso diretamente no meio refrigerante, o que propicia uma congelação quase instantânea (Anexo III – figura 1).

O líquido refrigerante deve cumprir certos requisitos, como não ser tóxico, ter um grau de pureza adequado, não ter odores nem sabores, ser limpo, etc..

As principais vantagens do sistema de congelação por imersão são o contato do alimento ou da embalagem com o líquido refrigerante, levando a um congelamento rápido do produto, num curto período de tempo.

Estes congeladores mantêm a qualidade em alimentos sensíveis à oxidação e à desidratação (sem contato com ar), a obtenção de produtos IQF (supercongelados) e um baixo custo.

Os produtos congelados por estes sistemas são por exemplo hambúrgueres, pizzas, filetes de peixe, sendo que o tipo de formato destes produtos propicia uma boa área de exposição ao frio, facilitando a congelação [4].

#### **8.3.1.1.1 Congelador de imersão por cintas transportadoras**

Este congelador (Anexo III – figura 2) consiste, no transporte dos produtos a congelar através da cinta transportadora em banho de fluido criogénico. (LN<sub>2</sub>).

Este equipamento é simples e de fácil controlo, o tempo que o fluido está em contacto com o produto pode ser ajustado através da velocidade do tapete (Figura 21).

É utilizado nas pequenas indústrias, dado que é possível congelar grandes quantidades de produto num espaço reduzido. Neste processo não há alteração de sabor nem perdas de peso, no entanto devido ao choque térmico a textura do produto é afetada [4].

#### **8.3.1.1.2 Congelador de imersão em espiral**

É constituído por uma cinta transportadora em espiral (anexo III – figura 3) em volta de um tambor central, localizado dentro de uma caixa bem isolada, que contém no seu interior fluido criogénico no estado líquido, por onde passa a cinta que transporta o produto. Este tipo de congelador tem desvantagens, pois não é possível controlar a taxa de congelação do produto nem os danos causados nas células [4].

### **8.3.1.2 Congeladores por pulverização**

Os congeladores por pulverização são muito utilizados por serem menos agressivos com o produto.

#### **8.3.1.2.1 Congelador por pulverização em túnel**

Este túnel está dividido em quatro partes, pré-arrefecimento, congelação, equilíbrio térmico e zona de vitrificação (anexo III – figura 4). O produto é transportado pela cinta e entra em contacto com o fluxo em contracorrente de nitrogénio gasoso a uma temperatura de  $-50^{\circ}\text{C}$ . À medida que o produto entra no túnel o azoto gasoso congela-o parcialmente retirando-lhe até 50% do seu calor. Depois a seguir dá-se a congelação onde o produto perde o restante calor, quando é borrifado pelo nitrogénio líquido. Passados poucos segundos o equilíbrio é atingido devido à estabilização da temperatura do produto e finalmente é feita a vitrificação deste [1].

#### **8.3.1.2.2 Congelador por pulverização em espiral**

Este congelador (anexo III – figura 5) é constituído por um grande tambor circular, envolvido pela cinta transportadora desde o topo até ao fundo.

O azoto líquido é pulverizado diretamente no interior do túnel e os ventiladores asseguram simultaneamente a agitação e a homogeneização do gás, criando um movimento de convecção forçada ao nível do produto.

Este congelador é mais económico que o congelador por pulverização em túnel com a mesma capacidade, porque tem menor consumo de fluido criogénico.

Tem altas taxas de produção devido ao grande comprimento da cinta transportadora [1].

### **8.3.2 Congeladores de Contacto indireto**

A congelação de contacto indireto é obtida em congeladores de placas e é conseguida colocando-se o produto em placas de metal através das quais circula um fluido criogénico ( $\text{LCO}_2$  ou  $\text{LN}_2$ ). Uma vez que o produto está em contacto térmico direto com a placa refrigerada, a transmissão de calor, ocorre principalmente por condução, de

modo que a eficiência do congelador depende na maior parte, da quantidade de superfície em contacto.

Estes tipos de congeladores (Anexo III – figura 6 e 7) são uteis, principalmente quando os produtos são congelados em pequenas quantidades.

Como o fluido criogénico não está em contacto direto com o produto, vai diminuir a probabilidade de ocorrerem queimaduras devido ao frio e de haver desidratação do produto.

Estes congeladores são fáceis de instalar, ocupam pouco espaço e têm um período longo de funcionamento, sem grandes gastos em manutenção.

Tem a desvantagem de congelarem pequenas quantidades de produto por hora [14].

#### **8.4 “Capsule packed freezing”**

Este tipo de congelação refere-se a uma combinação do método criogénico com outros processos de congelação, sendo realizado em quatro etapas distintas, as quais incluem: congelação rápida, congelação lenta, congelação rápida e congelação lenta. Com isto evita-se fendas na superfície do alimento que acontecem em virtude de a pressão interna provocar expansão de volume, destruição de tecidos musculares e aparecimento de microcristais de gelo na célula [46].

#### **8.5 Congelação Criomecânica**

A congelação criomecânica consiste na associação de dois sistemas de congelação: o criogénico (utilizando LCO<sub>2</sub> ou LN<sub>2</sub>) combinado com o congelador mecânico [50]. Nesse sistema, a congelação criogénica promove uma congelação rápida superficial com a consequente formação de uma fina crosta congelada (crusting), que é completada pela congelação convencional até que o centro do produto atinja a temperatura final requerida.

O uso deste sistema combinado de congelação promove uma redução do tempo de congelação e de perda de água durante o processamento. Esta redução pode causar uma melhoria na qualidade final do produto congelado, além de oferecer uma solução simples e económica para aumentar a capacidade de congelação do alimento [45].

No entanto, a mais importante aplicação desse processo está direcionada para produtos delicados, como o camarão, por exemplo. Uma outra consideração importante é o alto custo causado pelo consumo do azoto líquido, que só poderá ser compensado pela obtenção de um produto com baixas perdas de peso e alta qualidade final.

## **9. Dimensionamento de equipamentos de congelação**

Como se pretende fazer uma análise comparada entre diversos tipos de equipamentos de congelação vai-se começar por realizar um dimensionamento de um túnel de congelação clássico e depois seleccionar um congelador de placas e um túnel criogénico para a congelação da mesma quantidade de produto.

O dimensionamento e escolha dos equipamentos vai ser feito para a congelação de 12,5 toneladas camarão por dia.

Estas 12,5 toneladas foram escolhidas após pesquisa de mercado e definiu-se este valor com sendo uma situação real e ideal.

### **9.1 Propriedades do produto a congelar**

Dado que cada produto tem as suas características específicas que vão influenciar o seu processo de congelação, para os cálculos devemos ter em conta os seguintes fatores:

- Calor específico do marisco, para temperaturas superiores ao ponto de congelação.
- Calor específico do marisco, para temperaturas inferiores ao ponto de congelação.
- Calor latente de congelação do marisco.
- Temperatura de congelação

As propriedades fundamentais para a conservação e congelação do marisco são indicadas na seguinte tabela:

**Tabela 13 - Propriedades de conservação e congelação do marisco**  
 Fonte: [http://www.git.uji.es/docencia/Apuntes/Balances/BAL\\_1\\_ENFRIAMIENTO.pdf](http://www.git.uji.es/docencia/Apuntes/Balances/BAL_1_ENFRIAMIENTO.pdf)  
<http://www.histarmar.com.ar/Legales/AlmacProdsRefr.htm>

Marisco	Conservação	Temperatura aconselhável [°C]	0
		Humidade relativa [%]	90 - 95
		Calor específico superior ao ponto de congelação [kJ/(kg.°C)]	3,52
	Congelamento	Ponto de congelamento [°C]	-2,2
		Calor específico inferior ao ponto de congelamento [kJ/(kg.°C)]	1,84
		Calor latente [kJ/Kg]	263,77

## 9.2 Congelador de placas horizontais

O congelador de placas horizontais escolhido terá de ter uma potência frigorífica que permita retirar energia térmica ao produto, diminuindo a sua temperatura, desde a temperatura de captura até à temperatura desejada de armazenamento.

### 9.2.1 Congelamento do produto

A congelamento do produto pelo congelador de placas efetua-se em três etapas:

1. Proceder-se ao arrefecimento do marisco, desde a sua temperatura de captura até o seu ponto de congelamento, aproximadamente -2,2 °C;

2. Atingida a temperatura de congelação, ocorre um espaço de tempo, no qual a temperatura do produto não sofre alteração e toda a energia retirada é usada na solidificação total dos tecidos que formam os crustáceos;
3. Efetua-se então um arrefecimento desde o ponto de congelação (-2,2 °C) até à temperatura de entrada no porão (-20 °C).

### ***[Q<sub>s1</sub>] Calor sensível de arrefecimento***

A energia necessária para arrefecer o produto, desde a temperatura a que foi capturado até à temperatura do seu ponto de congelação, é apresentada a seguir:

$$Q_{s1} = M \times C_{p1} \times (T_i - T_f) = 12500 \times 3,52 \times (37 - (-2,2)) = 1724800 \text{ kJ}$$

$Q_{s1}$  – calor sensível de arrefecimento

$M$  – massa do produto a arrefecer = 12500 kg

$C_{p1}$  – calor específico acima da temperatura de congelação = 3,52 kJ/kg°C

$T_i$  – temperatura à entrada para o congelador = 37°C

A temperatura à entrada do congelador foi determinada com base na temperatura da água do oceano onde o marisco é pescado, adicionando um gradiente de 5 °C (por exemplo Moçambique) [19].

$T_f$  – temperatura antes do ponto de congelação = -2,2 °C

### ***[Q<sub>L</sub>] Calor latente de congelação***

A energia consumida neste processo é apresentada a seguir:

$$Q_L = M \times C_L = 12500 \times 263,77 = 3297125 \text{ kJ}$$

$Q_L$  – calor latente de congelação

$M$  – massa do produto a congelar = 12500 kg

$C_L$  – calor latente = 263,77 kJ/kg

### ***[Q<sub>s2</sub>] Calor sensível de congelação***

O congelador de placas absorve a carga térmica correspondente à diminuição da temperatura do camarão, desde o seu ponto de congelação até à temperatura de armazenamento.

O cálculo é realizado da seguinte maneira:

$$Q_{s2} = M \times C_p \times (T_i - T_f) = 12500 \times 1,84 \times (-2,2 - (-20)) = 409400 \text{ kJ}$$

$Q_{s2}$  – calor sensível de congelação diário

$M$  – massa do produto = 12500 kg

$C_p$  – calor específico = 1,84 kJ/kg.K

$T_i$  – temperatura após congelação = -2,2 °C

$T_f$  – temperatura à saída do congelador = -20 °C

### ***[Q<sub>T</sub>] Energia total do congelador***

A energia total é a energia que o congelador tem de absorver para levar a temperatura do produto, desde a sua temperatura de captura até à temperatura de armazenamento na câmara frigorífica.

É obtida pela soma dos três itens calculados anteriormente.

$$Q_T = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_L = 1724800 + 409400 + 3297125 = 5431325 \text{ kJ}$$

### ***[Q] Carga térmica total horária do congelador***

Para sabermos a carga térmica consideramos que o circuito frigorífico funciona 22 horas diárias, sendo adicionado um coeficiente de segurança de 10% tendo em conta as pausas, o arrefecimento do compressor e descongelamento do evaporador.

$$Q = (Q_T \times C_s) / T_f = (5431325 \times 1,1) / (22 \times 3600) = 75,4 \text{ kJ/s} = 75,4 \text{ kW}$$

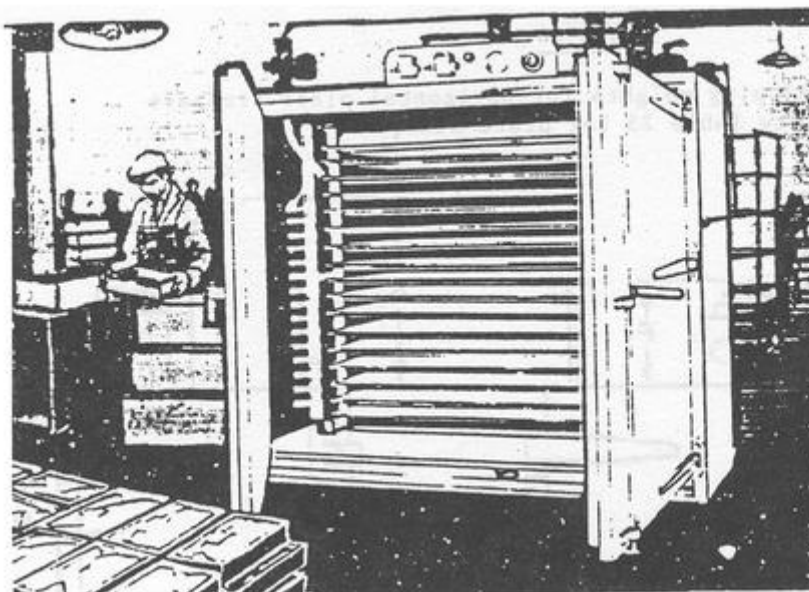
$Q$  – carga térmica horária total do congelador [kW]

$Q_T$  – perdas totais diárias = 5431325 kJ

$C_s$  – coeficiente de segurança = 1,1

$T_f$  – tempo diário de funcionamento = 22 h

## 9.2.2 Seleção do congelador horizontal de placas



**Figura 13 - Congelador de placas**

Fonte: <http://www.fao.org/docrep/003/r1076e/R1076E00.HTM#Contents>

A capacidade de um congelador de placas depende da espessura do produto, tamanho das placas e número de estações. Dentro dos limites extremos das várias combinações disponíveis os congeladores podem ser construídos de modo a atender às necessidades individuais.

O acesso às estações do congelador é feito por meio de portas, na parte da frente e de trás.

Os tamanhos das placas podem variar entre fabricantes. Evidentemente quanto mais largo for o espaço entre as placas, menor será o número máximo de estações, com o objetivo de se manter razoável a altura do congelador.

Ao selecionarmos o espaço necessário entre as placas é normal ter-se uma abertura entre placas de 25 milímetros a mais do que a espessura do produto de modo a permitir uma fácil carga e descarga.

Para cálculo do peso do produto a ser congelado temos de ter em conta o número de embalagens e o peso do produto contido em cada embalagem.

As dimensões da placa e tamanhos de embalagem devem estar relacionados para evitar o desperdício excessivo de espaço de congelamento.

Embora existam congeladores com maior espaços entre placas, é habitual que para o congelamento de produtos de pescado em embalagens, tabuleiros ou quadros se utilize um espaçamento entre 50 mm a 75 mm.

Antes de qualquer seleção poder ser feita é necessário estabelecer informações básicas:

- Quantidade de produto congelado que é necessário por dia
- Espessura do produto
- Natureza dos produtos
- O sistema de refrigeração a ser usado

A seleção do congelador de placas vai ser feita para a seguinte situação:

Pretende-se congelar 12,5 toneladas de camarão em 24 horas de trabalho. O camarão deve ser congelado em embalagens com 62 mm de espessura.

O fluido frigorífero escolhido foi o R404A.

Na tabela 14 estão as exigências de refrigeração.

**Tabela 14 – Exigências de refrigeração**

<b>Produto</b>	<b>Exigências de refrigeração (kJ/kg)</b>
Filetes de peixe em bandejas, a 50 mm de espessura	<b>489,86</b>
Peixe inteiro em bandejas, 75 milímetros de espessura	<b>439,61</b>
Camarão em embalagens em bandejas de 62 milímetros de espessura	<b>431,24</b>

O número de ciclos por dia é:

$$\frac{\text{tempo de operação por dia}}{\text{tempo de congelação + tempo de carregamento/descarregamento}}$$

Ao seleccionar os congeladores de placa horizontais para 24 h de operação, temos de descontar 1-2 h para descongelação e limpeza.

O peso do produto a ser congelado, durante cada ciclo é:

$$\frac{\text{quantidade de produto total diário}}{\text{n}^{\circ} \text{ de ciclos por dia}}$$

O número de estações necessário:

$$\frac{\text{peso do produto a ser congelado por ciclo}}{\text{peso de carga por estação}}$$

Capacidade de refrigeração necessária:

$$\frac{\text{total de calor por Kg} \times \text{peso do produto a ser congelado por ciclo}}{\text{tempo de congelação}}$$

Antes de se efetuar cálculos é necessário mais alguns dados:

- Tempo de congelação

Para sabermos o tempo de congelação basta consultar a tabela 15, sabendo o produto e a espessura retira-se o tempo de congelação.

Tabela 15 - Tempos de congelação

Product	Product thickness and freezing times			
	50 mm	62 mm	76 mm	100 mm
Fish fillets	60 min	75 min	105 min	165 min
Whole fish	75 min	90 min	120 min	180 min
Herring/Sprat	60 min	75 min	110 min	170 min
Shrimps in cartons	90 min	135 min	160 min	230 min

O tempo de descongelação é o tempo necessário para carregar e descarregar o congelador que, também tem ser levado em conta para o cálculo da capacidade de congelação.

Na maioria das instalações é apenas necessário descongelar uma vez por dia, se não for derramado líquido sobre a superfície das placas do congelador. A descongelação diária pode ser alcançado durante a noite, deixando as portas abertas.

Pode também ser necessário uma descongelação se o congelador for utilizado 24 h / dia, sendo necessário assim 1/2 h para o descongelação e limpeza.

Assumindo que as bandejas são pré-carregadas à carga completa, o tempo de carga e descarga combinado para cada ciclo em condições ideais deve ser de cerca de 15-20 min para congeladores médios, e proporcionalmente mais curto ou mais longo para outros tamanhos.

- Peso por estação e tamanho placas

Considerando que o peso por estação será 100 Kg, conseguimos através da tabela 16 retirar o tamanho das placas já definido que será 1930x1120 mm.

Estes 100 kg por estação foram escolhidos aleatoriamente, estando contudo entre 71-106 como na tabela 16.

**Tabela 16 - Peso por estação (kg)**

Product and thickness (mm)		Standard plate dimensions (mm)		
		1 550 x 820	1 550 x 1 120	1 930 x 1 120
Whole fish	50	45	59	71
	75	68	88	106
Fish fillet	50	59	77	95
	75	88	116	143

Dados finais e cálculos:

Tempo de congelação	135 min
Peso por estação	100 kg
Nº ciclos por dia	$\frac{24\text{h}}{135\text{ min} + 20\text{min}}$ 9 ciclos, mas consideramos 8 ciclos para deixarmos 1/2 h para degelo e limpeza
Carga de congelamento em cada ciclo	$\frac{12500\text{ kg}}{8} = 1562,5\text{ kg por ciclo}$
Nº de estações necessárias	$\frac{1562,5\text{ kg/ciclo}}{100\text{ kg/estação}} = 16\text{ estações}$

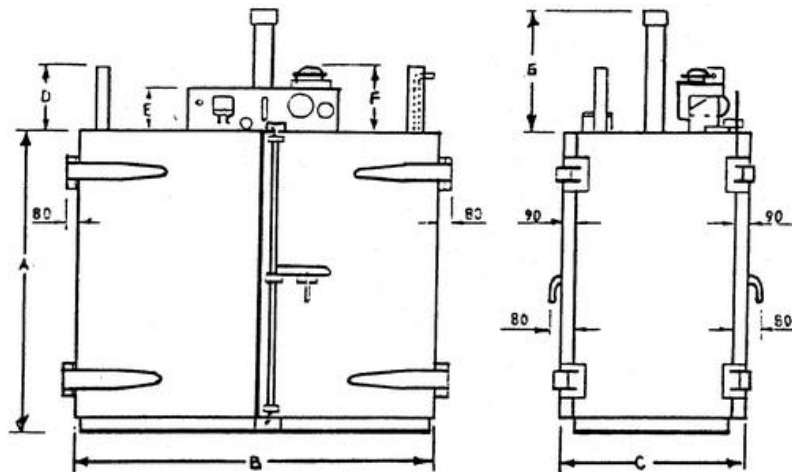
O congelador selecionado terá, portanto 16 estações e será equipado com placas de 1930 x 1120 mm.

Potência Térmica:

$$\frac{103 \text{ Kcal/Kg} \times 1562,5 \text{ Kg}}{135 \text{ min}} = 71527,8 \text{ Kcal/h} = 83,2 \text{ kW}$$

De seguida apresentam-se as tabelas com a seleção feita depois de todos os cálculos realizados.

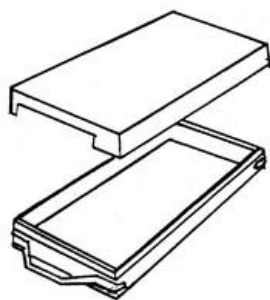
**Tabela 17 - Dimensões para congeladores de placas horizontais**



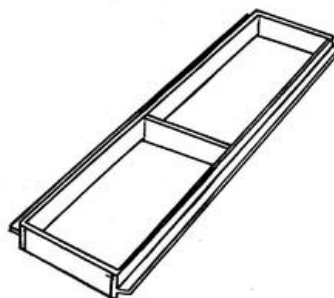
No. of stations	Dimensions (mm)							Weight (kg)
	A	B	C	D	E	F	G <sub>a</sub>	
5	1 460	2 360	1 400	350	200	420	425	1 840
6	"	"	"	"	"	"	"	1 890
7	"	"	"	"	"	"	"	1 940
8	1 880	"	"	"	"	"	640	2 020
8	"	"	1 650	"	"	"	"	2 420
9	"	"	1 400	"	"	"	"	2 100
9	"	"	1 650	"	"	"	"	2 550
10	"	"	1 400	"	"	"	"	2 160
10	"	"	1 650	"	"	"	"	2 670
11	"	"	"	"	"	"	"	2 800
12	2 155	"	"	"	"	"	"	2 930
12	"	2 790	"	"	"	"	"	3 250
13	"	2 360	"	"	"	"	"	3 040
13	"	2 790	"	"	"	"	"	3 400
14	"	2 360	"	"	"	"	"	3 270
14	"	2 790	"	"	"	"	"	3 580
15	2 580	2 360	"	"	"	"	"	3 400
15	"	"	"	"	"	"	"	3 630
16	"	"	"	"	"	"	"	4 130
17	"	"	"	"	"	"	"	4 210
18	"	"	"	"	"	"	"	4 290
19	"	"	"	"	"	"	"	4 370
20	"	"	"	"	"	"	"	4 450

**Tabela 18 – Tamanho das placas e abertura**

No. of stations	Dimensions (mm)		
	Plate sizes	Plate openings	
		(max)	(min)
5	1 550 x 820	108	38
6	"	95	38
7	"	90	38
8	"	108	38
8	1 550 x 1 120	108	38
9	1 550 x 820	100	38
9	1 550 x 1 120	100	38
10	1 550 x 820	94	38
10	1 550 x 1 120	94	38
11	"	89	38
12	"	102	38
12	1 930 x 1 120	102	38
13	1 550 x 1 120	90	32
13	1 930 x 1 120	90	32
14	1 550 x 1 120	83	32
14	1 930 x 1 120	83	32
15	1 550 x 1 120	90	32
15	1 930 x 1 120	90	32
16	"	86	32
17	"	82	32
18	"	79	32
19	"	75	32
20	"	70	32



**General purpose metal freezer tray**  
Trays are normally designed to hold a number of packages or cartons and dimensioned to achieve optimum use of the freezer plate area



**Horizontal plate freezer frame**  
Freezer frames may be constructed for one or more packages. The double frame shown above has strengthened T-section sides but flat sides are also widely used

**Figura 14 - Diferentes tipos de tabuleiro**

Características técnicas do modelo selecionado:

Tabuleiro	Dimensões [mm]			Massa [kg]	Quantidade por estação
	Espessura	Largura	Comprimento		
	80	1120	1930	100	2x1 = 2
Tempo de congelação	135 min				
Número de estações	16				

Pratos	Material	Quantidade	Área de congelação		
	Alumínio	10		Largura	Comprimento
			6 m <sup>2</sup>	2580	2360
Capacidade de congelação	1562,5 kg/h				
Capacidade do compressor	83,2 kW				

### 9.2.3 Características Técnicas

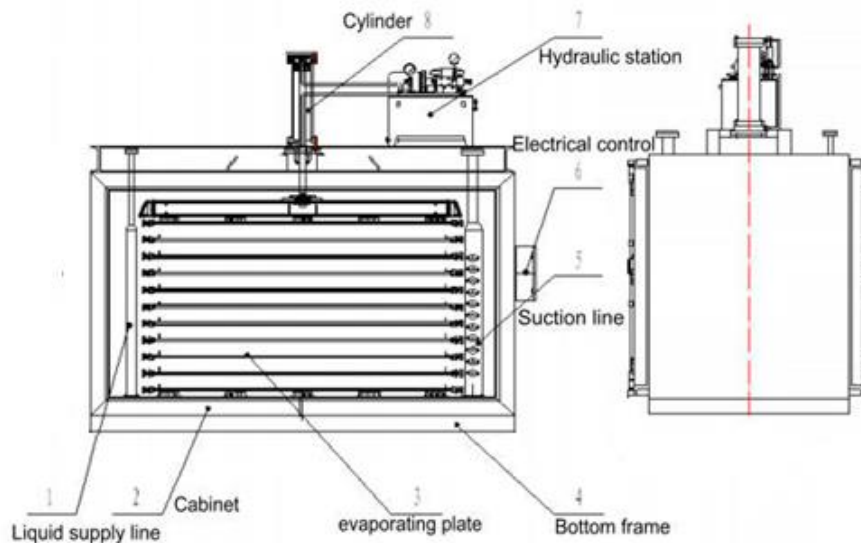


Figura 15 - Congelador de placas  
Fonte: <http://www.yangtzecool.com/equipment/>

O congelador de placas horizontal é composto por duas partes fundamentais:

- Cabine
- Sistema de congelação

#### 9.2.3.1 Cabine

A cabine é a estrutura que envolve o sistema de congelação e tem como função isolá-lo termicamente, impedido que ocorra transferência de calor do exterior para o interior e assim limitar ao máximo as fugas de energia térmica que possam acontecer.

A outra função da cabine é proteger o interior da câmara e os produtos que nela se encontram de qualquer tipo contaminação do exterior, garantindo as condições higio-sanitárias.

Neste caso a cabine possui portas em ambos os lados, o que vai facilitar muito as operações de carga e descarga, as quais poderão ser efetuadas por portas diferentes e diminuindo-se assim o tempo de carga e descarga aumentando-se a produtividade.

### **9.2.3.2 Sistema de congelação**

O sistema de congelação é constituído por:

- Armação de suporte;
- Sistema hidráulico de pressão das placas;
- Conexões flexíveis;
- Placas.

#### **9.2.3.2.1 Armação de suporte**

A sua finalidade é suportar todo o conjunto formado pelas tubagens, prato de pressão, cilindro hidráulico e placas.

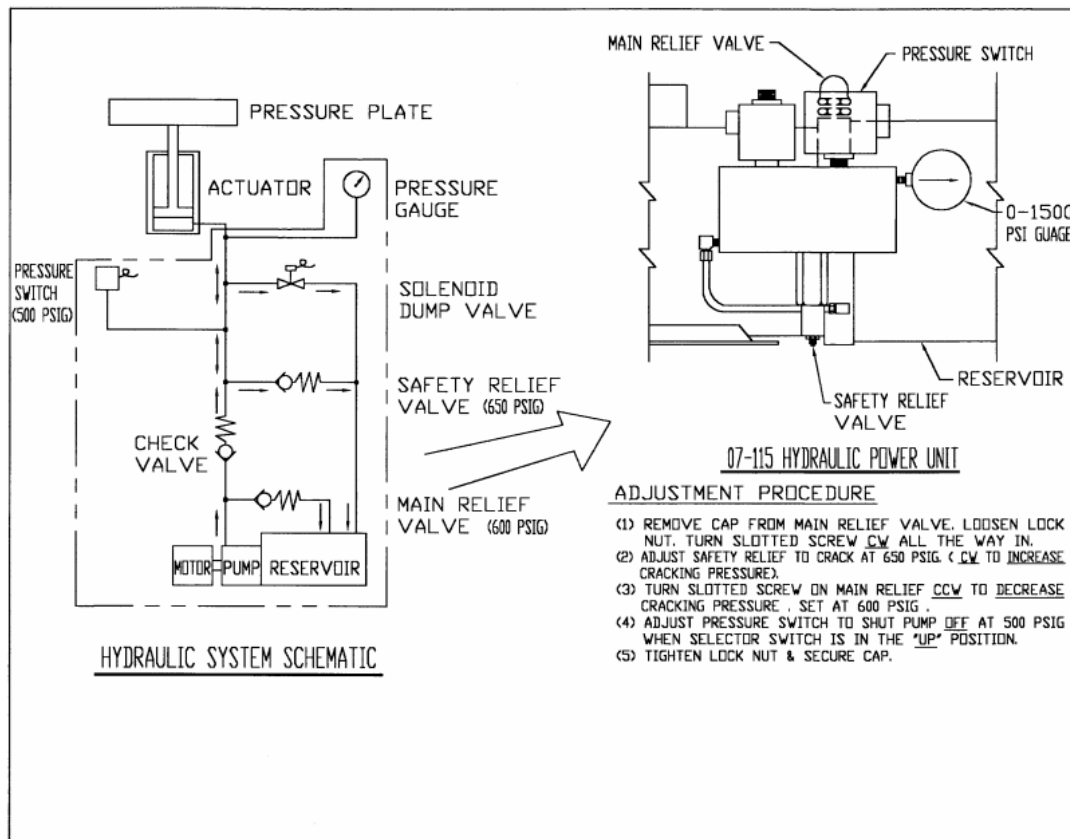
A armação de suporte tem também um papel fundamental nas operações de carga e descarga do sistema mantendo prato de pressão e as placas perfeitamente nivelados, garantindo assim um contacto perfeito.

#### **9.2.3.2.2 Sistema Hidráulico**

O sistema hidráulico tem como função mover o prato de pressão verticalmente de modo a garantir-se um contacto direto entre as placas e o produto colocado em bandejas ou tabuleiros originando assim um congelamento mais rápido e total.

O sistema hidráulico é constituído por:

- Tubagens;
- Filtros;
- Válvulas;
- Pressostato;
- Circuito Hidráulico;
- Reservatório de óleo;
- Bomba pressão.



**Figura 16 - Esquema do sistema hidráulico**  
 Fonte: [http://www.doleref.com/support\\_manuals/junior.pdf](http://www.doleref.com/support_manuals/junior.pdf)

### 9.2.3.2.3 Distribuidores

Os distribuidores têm como finalidade distribuir o fluido refrigerante pelas placas, através de um circuito de tubagens flexíveis ajustado para as baixas temperaturas e altas pressões.

### 9.2.3.2.4 Placas

São construídas em alumínio extrudido com uma elevada condutividade térmica e têm dimensões de 1930 x 1120 mm

No interior existe uma rede de canais de circulação do líquido refrigerante, que estão organizados de forma a ter-se uma distribuição uniforme da temperatura nas superfícies das placas.

O fluido refrigerante circula pelas placas através de circulação forçada, o que resulta num tempo de congelação muito mais baixo devido ao coeficiente de transmissão de calor por condução elevado.

Podemos utilizar diferentes fluidos refrigerantes mas neste caso está a usar-se o R-404A.

#### 9.2.4 Carga e descarga do produto

O congelador permite acesso por ambos os lados e esta situação facilita em muito as operações de carga e descarga do produto a congelar.

Os produtos são distribuídos sobre placas.

Após os produtos serem colocados nas placas fecha-se as portas é aciona-se o sistema hidráulico que aplica uma leve pressão para aumentar o contato entre o produto e as superfícies frias, resultando em uma maior transferência de calor e maior velocidade de congelamento.

A pressão aplicada leva a que os pratos façam pressão em ambas as superfícies dos tabuleiros e assim a transmissão de energia térmica por condução ocorre nas condições mais favoráveis de modo a atingirmos a temperatura final no menor tempo possível.

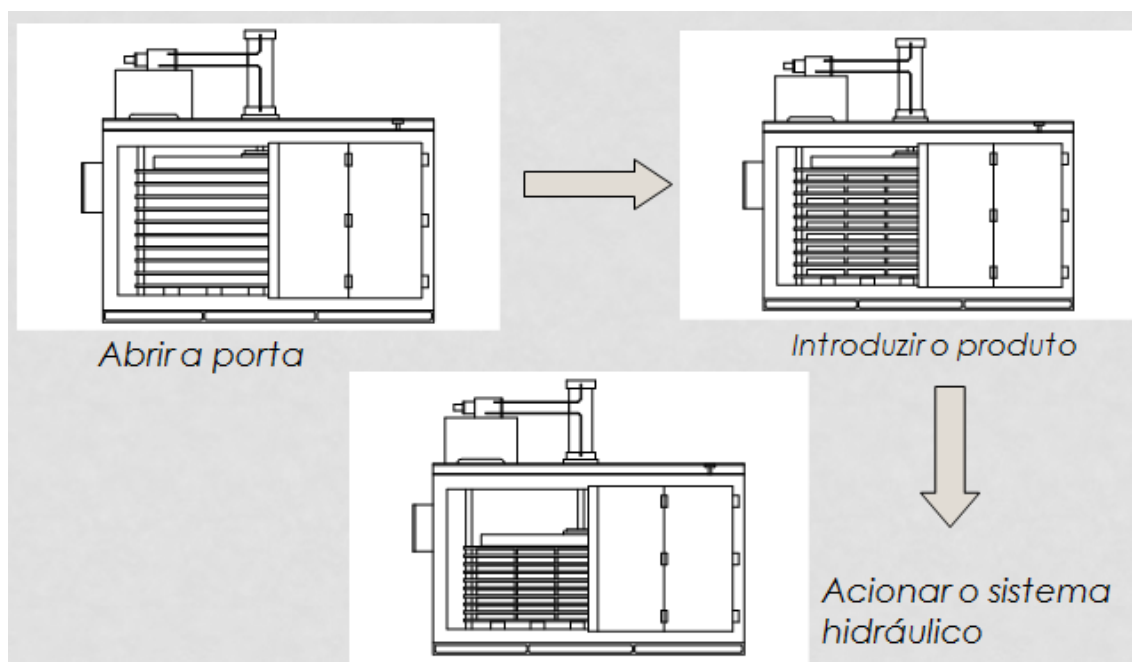


Figura 17 – Princípio de funcionamento do congelador de placas

Fonte: <http://www.ecarnesistemas.com/plate-freezer/>

### **9.3 Túnel de congelação**

Irá agora efetuar-se o dimensionamento do túnel selecionando todos os principais componentes de forma a garantir o funcionamento do sistema.

#### **9.3.1 Características a considerar**

- Produto: Camarão
- Temperatura local (condições extremas) = 30°C
- Temperatura Ambiente (do interior do entreposto) = +25°C
- Temperatura de entrada do produto: +37°C
- Temperatura de saída do produto: -20°C

O túnel vai se projetado para congelar 12,5 toneladas de produto diariamente sendo que cada ciclo tem uma duração de uma hora, ou seja por ciclo congela-se 1500 kg de produto.

Assim irá realizar-se até nove ciclos de congelação por dia.

As características do túnel clássico são:

- Dimensões: 7m x 2m x 2,5m (Comprimento x Largura x Altura)
- Temperatura: -35°C
- Duração do ciclo: 1 hora
- Carga por ciclo: 1500 Kg

A tonelada e meia de produto por ciclo será distribuída por 9 paletes com aproximadamente 167 kg cada, dispostas em 3x3, Cada paleta será normalizada com a dimensão de 1500mmx500mm.

#### **9.3.2 Sistema de Refrigeração**

Os fluidos frigorigéneos mais utilizados para o circuito frigorífico de um túnel de congelação são R404A e o R717

Comparando o R404A com o R717 pode-se concluir que R404A é mais caro e mais prejudicial ao ambiente de que o R717. Contudo os equipamento que utilizam R717, embora com maior eficiência e fiabilidade, são mais caros que os sistemas a R404A.

Outra vantagem do R404A em relação ao R717 é o facto de não ser tóxico.

Nesta situação optou-se por escolher o R404A devido ao custo elevado dos equipamentos que utilizam R717, sendo esse um factor muito importante.

### 9.3.3 Isolamento do túnel

#### 9.3.3.1 Coeficiente de transmissão de energia térmica da envolvente da câmara

O coeficiente de transmissão de energia térmica [K] depende da espessura e do material isolante aplicado.

O cálculo dos coeficientes de transmissão de energia térmica tem como base o fluxo unitário máximo diário. Na tabela seguinte apresenta-se valores do fluxo térmico unitário.

O valor de fluxo unitário escolhido foi aleatório mas tinha de estar entre 6,95 a 8,34.

Tabela 19 - Fonte: F.A.O.

Fluxo térmico unitário máximo diário		
Refrigerados	35 [kJ/h.m <sup>2</sup> ]	9,73 [W/m <sup>2</sup> ]
Congelados	20 a 30 [kJ/h.m <sup>2</sup> ]	6,95 a 8,34 [W/m <sup>2</sup> ]

$$K = q/(\theta_e - \theta_i)$$

$K$  – coeficiente de transmissão térmica [W/°C. m<sup>2</sup>]

$q$  – fluxo unitário = 6,95 W/m<sup>2</sup>

$\theta_e$  – temperatura exterior paredes e tecto = 30°C

$\theta_e$  – temperatura exterior pavimento = 20°C

$\theta_i$  – temperatura interior = -35°C

$$K_{paredes\ e\ tecto} = 6,95/(30 - (-35)) = 0,107\ W/°C.\ m^2$$

$$K_{pavimento} = 6,95/(20 - (-35)) = 0,126\ W/°C.\ m^2$$

### **9.3.3.2 Condutividade térmica**

A condutividade térmica, ou coeficiente de condução térmica de um material, não é mais que a resistência que o material oferece à passagem da energia térmica. Quanto mais baixo for o valor da condutividade térmica, maior será o valor da resistência que o material oferece à passagem da energia térmica, ou seja, melhores serão as propriedades do isolante.

De seguida podemos ver a relação entre a condutividade térmica [ $\lambda$ ] e o coeficiente de transmissão de calor [K]:

$$\lambda = K \times e$$

$\lambda$  – condutividade térmica [W/°C.m]

$K$  – resistência térmica [W/°C.m<sup>2</sup>]

$e$  – espessura do isolamento [m]

### **9.3.4 Escolha do material isolante**

#### **9.3.4.1 Isolamento Térmico**

A finalidade do isolamento térmico é reduzir as trocas térmicas indesejáveis e, manter a temperatura da parede externa do recinto isolado, próximo à do ambiente externo, para evitar problemas de condensação.

O isolamento térmico é formado por materiais de baixo coeficiente de condutividade térmica [ $\lambda$ ]. Os materiais isolantes são porosos, sendo que a elevada resistência térmica se deve à baixa condutividade térmica do ar contido nos seus vazios. A transferência de calor ocorre, principalmente, por condução. Nos espaços vazios ocorre também convecção e irradiação, porém com valores desprezáveis.

#### **9.3.4.2 Escolha do Isolamento Térmico**

Muitos materiais têm sido utilizados para isolamento, não se pretende aqui fazer um exaustivo detalhamento dos mesmos.

Serão somente apontadas as principais qualidades exigidas num bom isolamento.

Quanto menor a densidade e maior o número de poros, maior o poder do isolamento.

Um bom isolamento deve apresentar as seguintes qualidades:

- Um coeficiente de transferência de calor de acordo com o custo do isolamento;
- Boa impermeabilidade à água e humidade;
- Um baixo coeficiente de expansão térmica;
- Pouca variação da condutividade térmica;
- Total ausência de odores;
- Resistência ao apodrecimento;
- Resistência a roedores e outros animais;
- Material à prova de fogo;
- Baixa densidade; especialmente para isolamento do piso e do teto, apesar de uma boa resistência à compressão ser necessária para o isolamento do piso;
- O gás utilizado no isolamento não deve afetar a camada de ozono e possuir um baixo potencial de aquecimento.

A espessura do isolamento é calculada através de diversos fatores, dentre eles o tipo de material, o custo e a energia gasta na operação, como será analisado adiante.

Após estudo dos diferentes isolantes e suas propriedades, optou-se por utilizar o poliestireno expandido como material isolante.

#### ***9.3.4.3 Propriedades do material isolante escolhido***

O material isolante escolhido para paredes e tecto foi o poliestireno expandido.

O EPS é um plástico celular e rígido, que apresenta uma multitude de formas e aplicações. É uma espuma de poliestireno moldada, constituída por um aglomerado de grânulos, e é um material muito utilizado para placas para isolamento.

A matéria-prima do EPS é o poliestireno (PS) expansível. O poliestireno expansível, um polímero de estireno que contém um agente expensor é obtido, a partir do petróleo, por meio de diversas transformações químicas.

As densidades do EPS variam entre os 10 e 30 kg/m<sup>3</sup>, permitindo uma redução substancial do peso das construções.

A mais importante propriedade do EPS é a sua capacidade de resistir à passagem do calor, tal deve-se à sua estrutura celular, que é constituída por muitos milhões de células fechadas com diâmetros de alguns décimos de milímetro e com paredes de

1 mm. O fator decisivo para a boa capacidade de isolamento térmico do EPS é o de este manter permanentemente uma grande quantidade de ar, quase imóvel, dentro das suas células. A capacidade de isolamento térmico é expressa no coeficiente de condutibilidade térmica. Um coeficiente mais pequeno demonstra uma capacidade de isolamento térmico superior.

Para efeitos de cálculo, o valor coeficiente de condutibilidade térmica do EPS considerado será de 0,035 W/m°C como podemos ver nas tabelas (Anexo IV – tabelas 1 e 2).

Em relação ao pavimento este será isolado com aglomerado de cortiça, o qual possui, na sua generalidade, o seguinte coeficiente de condutividade térmica [51]:

$$\lambda = 0,041 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

### 9.3.5 Cálculo das espessuras do material isolante

Para o isolamento do túnel, foi escolhido o EPS 250 não inflamável para paredes e tecto e a um aglomerado de cortiça para o pavimento pois estes isolantes escolhidos garantem todas a exigências necessárias.

Agora podemos calcular as espessuras para o túnel:

$$e = \lambda/K$$

$\lambda$  - condutividade térmica ESP= 0,035 W/°C.m

$\lambda$  - condutividade térmica aglomerado de cortiça = 0,035 W/°C.m

$K$  – coeficiente de transmissão térmica [W/°C. m<sup>2</sup>]

$e$  – espessura do isolamento [mm]

$$e_{paredes \ e \ tecto} = 0,035/0,107 = 327 \text{ mm}$$

$$e_{pavimento} = 0,041/0,126 = 324 \text{ mm}$$

### 9.3.6 Balanço térmico do túnel

A carga térmica é definida como a quantidade de calor latente e sensível que deve ser retirado para o ambiente de modo a serem mantidas as condições de temperatura e humidade estabelecidas para o túnel de congelação.

O primeiro cálculo a ser efetuado é o cálculo das cargas térmicas.

Através do cálculo das cargas térmicas pode-se efetuar uma previsão dos consumos de energia associados ao sistema projectado e deste modo proceder a uma análise económica.

#### 9.3.6.1 [Q<sub>1</sub>] Cargas térmicas introduzidas pela envolvente

Através da seguinte fórmula podemos calcular a carga térmica introduzida pela envolvente ao túnel:

$$Q_1 = U \times S \times \Delta T$$

$Q_1$  – Carga térmica através das superfícies do túnel [W]

$U$  – coeficiente de transmissão de calor da superfície considerada [W/m<sup>2</sup>°C]

$S$  – Superfície considerada [m<sup>2</sup>]

$\Delta T$  – diferença de temperatura entre as duas da superfície considerada [°C]

$$U_{paredes\ e\ tectos} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{34} + \frac{0,327}{0,035} + \frac{1}{30}} = 0,1063\ W/m^2\ ^\circ C$$

$$U_{pavimento} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda}} = \frac{1}{\frac{1}{34} + \frac{0,324}{0,041}} = 0,126\ W/m^2\ ^\circ C$$

$h_i$  – coeficiente de convecção interior [W/m<sup>2</sup>°C][14]

$h_e$  – coeficiente de convecção exterior [W/m<sup>2</sup>°C][14]

$e$  – espessura do isolamento [mm]

$\lambda$  – condutividade térmica [W/m°C]

$$Q_{paredes\ e\ tecto} = 0,1063 \times (2 \times 7 \times 2,5 + 2 \times 2 \times 2,5 + 7 \times 2) \times (30 - (-35))$$

$$= 407,7\ W$$

$$Q_{pavimento} = 0,126 \times (7 \times 2) \times (20 - (-35)) = 97\ W$$

$$Q_1 = Q_{paredes\ e\ tecto} + Q_{pavimento} = 504,7\ W$$

### 9.3.6.2 [Q<sub>2</sub>] Cargas térmicas introduzidas pelo produto

$$Q_2 = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_L$$

#### [Q<sub>s1</sub>] Calor sensível de arrefecimento

$$Q_{s1} = \dot{m} \times C_p \times (T_i - \theta_f) = \frac{1500}{60 \times 60} \times 3,52 \times (37 - (-2,2)) = 57,49\ kW$$

$Q_{s1}$  – calor sensível de arrefecimento [kW]

$\dot{m}$  – caudal mássico [kg/s]

$C_{p1}$  – calor específico acima da temperatura de congelação = 3,52 kJ/kg°C

$T_i$  – temperatura à entrada para o congelador = 37°C

A temperatura à entrada do congelador foi determinada com base na temperatura da água do oceano onde o marisco e pescado, adicionando um gradiente de 5 °C.

$T_f$  – temperatura antes do ponto de congelação = -2,2 °C

#### [Q<sub>L</sub>] Calor latente de congelação

$$Q_L = \dot{m} \times C_L = \frac{1500}{60 \times 60} \times 263,77 = 109,9\ kW$$

$Q_L$  – calor latente de congelação [kW]

$\dot{m}$  – caudal mássico [kg/s]

$C_L$  – calor latente = 263,77 kJ/kg

### ***[Q<sub>s2</sub>] Calor sensível de congelação***

$$Q_{s2} = \dot{m} \times C_p \times (\theta_i - \theta_f) = \frac{1500}{60 \times 60} \times 1,84 \times (-2,2 - (-20)) = 13,65 \text{ kW}$$

$Q_{s2}$  – calor sensível de congelação diário

$\dot{m}$  – caudal mássico [kg/s]

$C_{p2}$  – calor específico abaixo da temperatura de congelação = 1,84 kJ/kg°C

$\theta_i$  – temperatura após congelação = -2,2 °C

$\theta_f$  – temperatura à saída do congelador = -20°C

$$Q_2 = 57,49 + 109,9 + 13,65 = 181 \text{ kW}$$

### ***Carga térmica Intermédia***

$$Q_{int} = Q_1 + Q_2 = 504 + 181000 = 181,54 \text{ kW}$$

### ***Potência frigorífica Previsional***

A carga térmica intermédia não entra em conta com o calor introduzido pelos motores elétricos dos ventiladores do túnel.

Assim consideramos um coeficiente de segurança de 10% e tem-se:

$$P_{previsional} = 1,10 \times Q_{int} = 1,1 \times 181,54 = 199,69 \text{ kW}$$

### **9.3.7 Balanço Térmico baseado no cálculo informático**

Utilizando o Software CalCam Quíron da empresa “Centaurus” obtiveram-se os seguintes resultados:

### Túnel de Congelação Rápida

Dados Gerais | **Dados Específicos** | Dados Selecção

Medições

Comprimento (m)	7
Largura (m)	3
Altura (m)	3,5

Selecção

Tipo de Serviço

Tipo de Tunel  Factor Carga

Tipo de Construção

Temp. Exterior (°C)

Temp. Interior (°C)

Temp. Máx. Entrada do Produto (°C)

Temp. Média Produto Fim de Ciclo (°C)

Exposição Solar

Isolamento

Espessura (mm)

Figura 18 - Dados 1 do software Calcam Quirom

Dados Gerais | **Dados Específicos** | Dados Selecção

Temperatura do Ar

Densidade de Carga (kg/m<sup>3</sup>)

Capacidade de armazenagem (kg)

Entrada Diária - 10% (kg)

Produto

Quantidade a Congelar por Ciclo (Kg)

Duração do Ciclo (h)

Quantidade a Congelar (kg)

Nº de Renovações Automáticas

Tempo de Funcionamento do Compressor (h)

Nº de Pessoas  Tempo por Pessoa (h)

Iluminação (10.8 < kW < 16.2)

Figura 19 - Dados 2 do software Calcam Quirom

Figura 20 - Dados 3 do software Calcam Quirom

Figura 21 - Resultados obtidos do software Calcam Quirom

Este balanço provisório tal como foi feito por cálculos manuais vai ser submetido a 1 coeficiente de segurança de 10%

Assim fica-se com uma potência total de:

$$1,1 \times 122,70 = 134,97 \text{ kW}$$

A potência obtida difere um pouco da obtida por cálculos manuais.

Contudo para a seleção de equipamentos irá usar-se a potência calcula pelo programa informático pois vai-se utilizar softwares da mesma empresa para realizar a seleção.

### 9.3.8 Seleção de equipamentos

#### 9.3.8.1 Evaporador

Vai-se então agora selecionar o evaporador e para isso vai-se utilizar o software CProSelect da empresa “Centaurus” e vai-se introduzir os dados e escolher o evaporador.

O túnel terá dois evaporadores idênticos.

A potência necessária a cada evaporador é:

$$W = \frac{Q_{\text{evaporador}}}{n} \times F_c = \frac{135}{2} \times 1,1 = 74,25 \text{ kW}$$

$Q_{\text{evaporador}}$  – Potência a retirar do túnel

$n$  – número de evaporadores

$F_c$  – factor de correcção

Os evaporadores são equipados com ventiladores helicoidais com motores eléctricos de uma velocidade, em equilíbrio com a potência do grupo compressor.

Assim seleccionamos o DDC 8T2/80 (Anexo V – figura 1,2,3) por melhor se adaptar as nossas condições

### **9.3.8.2 Compressor**

A instalação irá ter um compressor de baixa pressão e um compressor de alta pressão.

Para escolha dos compressores vai-se utilizar o “Bitzer Software” do fabricante.

O primeiro estágio de compressão vai ser assegurado por um compressor da Bitzer modelo 8FE-70Y-40P cujos dados técnicos podem ser vistos no Anexo V (tabela 1 e figura 4).

O segundo estágio de compressão vai ser assegurado por um compressor da Bitzer modelo CSH8573-110Y-40P cujos dados técnicos podem ser vistos no Anexo V (tabela 2 e figura 5).

### **9.3.8.3 Condensador**

A potência térmica real a dissipar, que resulta na soma da potência térmica a retirar pelos evaporadores com as potências absorvidas por parte dos compressores.

Assim temos:

$$Q_{\text{condensador}} = 135 + 45,5 + 67,8 = 248,3 \text{ kW}$$

Seleccionou-se um condensador do fabricante nacional “Bitzer” modelo

“K1353T” (Anexo V – tabela 3 e figura 6), seleccionado após introdução dos dados de projeto no programa “Bitzer Software” do fabricante.

#### **9.3.8.4 Depósito de líquido**

Para o dimensionamento do depósito de líquido tem de se ter em conta o volume interno dos evaporadores, podendo ser calculado através da seguinte expressão (bibliografia):

$$V_{deposito} = n \times V_{int} \times 1,5 = 2 \times 69,1 \times 1,5 = 208 \text{ dm}^3$$

$V_{int}$  – volume interno do evaporador

$n$  – nº de evaporadores

O depósito de líquido escolhido foi o modelo vertical FS2202 (Anexo V – figura 7 e 8) da Bitzer com um volume interno total de 228 dm<sup>3</sup>.

#### **9.3.8.5 Válvula de expansão**

A válvula de expansão tem uma função dupla. Por um lado regula a quantidade de fluido frigorigéneo que entra no evaporador, assegurando uma pressão de vaporização constante e por outro lado, o fluido ao passar na válvula reduz a alta pressão que sai do condensador para uma baixa pressão à entrada do evaporador.

O fluido sai do condensador a alta pressão e alta temperatura, ao atravessar a válvula, encontra uma pressão mais baixa e vaporiza-se instantaneamente absorvendo calor do próprio líquido que arrefece até atingir a temperatura correspondente à baixa pressão.

A este processo sofrido pelo líquido ao atravessar um estrangulamento sem se efetuar trabalho, ou permutar calor com o exterior dá-se o nome de laminagem. Em termodinâmica este processo é adiabático irreversível e isentálpico (entalpia constante).

Com a utilização do software da marca “Danfoss” selecionou-se a válvula de expansão do tipo TGE 40 (Anexo V – figura 9 e 10).

#### **9.3.8.6 Equipamento secundário**

Para além dos equipamentos fundamentais (evaporador, compressor, condensador e válvula de expansão) do circuito frigorífico que foram escolhidos anteriormente, o circuito é complementado com os equipamentos secundários.

Estes equipamentos secundários são: válvulas de corte, reguladores de pressão, termostatos; os pressostatos, depósito líquido, filtros, separador de óleo, tubagens, sistema de controlo etc.

Como o objetivo não é detalhar todo o circuito frigorífico vamos apenas apresentar a escolha de alguns equipamentos secundários.

- Separador de óleo (Marca: Bitzer / Modelo: OA1954) (Anexo V – figura 11 e 12)
- Filtros (Marca: Emerson Climate Technologies / Modelo:ADK083S) (Anexo V – figura 13)
- Permutador de calor de arrefecimento do óleo de lubrificação do compressor, arrefecido a água (Marca: Bitzer / Modelo: OW401) (Anexo V – figura 14 e 15)
- Válvulas de corte (Marca: Danfoss/ Modelo: SVA-ST) (Anexo V – figura 16 e 17)

#### **9.4 Congelação criogénica**

O equipamento de congelação criogénica escolhido para ser comparado com o congelador de placas e o túnel clássico foi o túnel criogénico.

O fluido criogénico utilizado no túnel é azoto líquido.

O túnel terá de ter uma potência mínima de 135 kW correspondente à carga térmica introduzida pelo produto, atrás calculada, referente à congelação de 12500 kg de camarão por dia.

O túnel escolhido foi o modelo Zip Freeze da Air Liquide (Figura 22), que tem uma capacidade de congelação entre 200 a 1000 Kg/h.

Este túnel tem uma gama de temperaturas o de 0°C a -140°C, enquanto a velocidade do tapete varia de tal maneira que temos tempos a congelação 5 e 45 minutos.

Para este estudo prevê-se que a congelação dure entre 15 a 25 minutos para que o processo seja o mais otimizado possível



**Figura 22 - Túnel Criogénico**  
Fonte: Air Liquide

Para que o túnel criogénico funcione corretamente é necessário a montagem de um depósito de azoto exterior e respectiva tubagem de alimentação ao túnel, bem como condutas de extração de azoto no estado de vapor.

Utilizando um coeficiente de segurança para o cálculo iremos ter uma potência de 135 kW.

Através de uma análise termodinâmica, é expectável que a mudança de estado, do fluido, ocorrida dentro do túnel de congelação, seja a uma pressão constante de 1 atmosfera, do estado líquido saturado até vapor sobreaquecido. Estima-se que este vapor deixará de entrar em contacto com o produto a cerca de  $-60^{\circ}\text{C}$  uma vez que o interior do túnel estará a cerca de  $-70^{\circ}\text{C}$ , temperatura considerada como ideal, para este túnel de congelação, conforme demonstrado atrás.

Através do diagrama de Mollier (Anexo VI) consegue-se chegar aos valores de entalpia.

$$h_1 = h_f(-196^{\circ}\text{C}) = 81,8 \text{ kJ/kg} \quad v_1 = 0,0012352 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_2(-60^{\circ}\text{C}) = 424,9 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \Leftrightarrow 100 = \dot{m} \times (424,9 - 81,8) \Leftrightarrow \dot{m} = 0,29 \text{ kg/s} = 1049 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{real}} = \frac{1049}{0,85} = 1234 \text{ kg/h}$$

Utiliza-se 100kW e não 135 kW obtidos anteriormente no cálculo de modo a termos um pequeno coeficiente de segurança.

Assim sabemos que para congelar 1 kg de camarão, será necessário cerca de 1,234 kg de azoto líquido. Este valor pode ser considerado correto pois em tabelas consultadas sabemos os valores se situam entre 1,2 e 1,6 kg de azoto para congelar 1 kg de produto.

## 10. Análise de custos

A análise que se irá realizar de seguida vai ter em conta o custo de energia elétrica, o custo de azoto para o caso do túnel criogénico, assim como os custos iniciais de cada um dos equipamentos.

Partir-se-á do pressuposto de que o congelador de placas tem um tempo de funcionamento de 22 horas e o túnel de congelação clássico de 9 horas, congelando um total de 12,5 toneladas por dia.

Por analogia, o túnel criogénico congelará igual quantidade de camarão diariamente ao longo de 9 horas, as mesmas horas do túnel de congelação clássico.

Em termos anuais, o cálculo será feito tendo como base um total de 6336 horas de trabalho, correspondentes a um período de 6 dias por semana durante 12 meses, ou seja, 288 dias anuais para o congelador de placas.

Para o túnel clássico e túnel criogénico teremos um total de 2592 horas de trabalho, correspondentes a um período de 6 dias por semana durante 12 meses, ou seja, 288 dias anuais.

As tarifas elétricas são apresentadas no Anexo VII.

Em relação à eletricidade esta vai ser fornecida em média tensão no período de vazio normal.

### 10.1 Congelador de Placas

Através de consulta de mercado em média um congelador de placas custa 25000€.

Contudo este valor varia com as dimensões e características do congelador.

No total há um consumo de 1830,4 kWh (83,2 kW x 22 h) de energia ativa por dia. Considerando-se a tarifa elétrica (Anexo VII) aplicada ao país que é de 0,0735€/kWh, o custo diário relativa ao consumo de energia ativa é de 134,53 €.

Estima-se que a energia reativa não ultrapasse os 3%.

Assim, o custo diário da energia reativa é:

$$1830,4 \times 0,03 \times 0,075 = 4,12 \text{ €}$$

Para saber o custo de energia durante o ano:

$$(134,53 + 4,12) \times 288 = 39931,2\text{€}$$

De modo a garantir que o consumo elétrico não é afetado por perdas, irá utilizar-se um factor de correção de 10%.

O custo anual estimado desta instalação é de:

$$39931,2 \times 1,1 = 43924,3 \text{ €}$$

## 10.2 Túnel de congelação

Através de consulta de mercado em média um túnel clássico custa 250000€.

Contudo este valor depende das dimensões e características do mesmo.

Para cálculo dos consumos elétricos vai-se considerar a potência dos compressores.

Com já foi visto anteriormente o compressor de baixa pressão tem um motor elétrico com uma potência de 45,5 kW e o compressor de alta pressão tem uma potência de 67,8 kW.

Assim, a energia elétrica ativa consumida por dia será:

$$\text{Motor BP} - 45,5 \text{ kW} \times 9\text{h} = 409,5 \text{ kWh}$$

$$\text{Motor AP} - 67,8 \text{ kW} \times 9\text{h} = 610,2 \text{ kWh}$$

No total há um consumo de 1019,7 kWh de energia activa por dia. Considerando-se a tarifa elétrica aplicada (Anexo VII) ao país que é de 0,0735€/kWh, o custo diário relativa ao consumo de energia activa é de 74,95 €.

Estima-se que a energia reativa não ultrapasse os 3%.

Assim, o custo diário da energia reativa é:

$$1019,7 \times 0,03 \times 0,075 = 2,29 \text{ €}$$

Para saber o custo de energia durante o ano:

$$(74,95 + 2,29) \times 288 = 22246,4 \text{ €}$$

De modo a garantir que o consumo elétrico não é afetado por perdas, irá utilizar-se um factor de correção de 10%.

O custo anual estimado desta instalação é de:

$$22246,4 \times 1,1 = 24471 \text{ €}$$

### 10.3 Túnel criogénico

Através de consulta de mercado em média um túnel a azoto líquido custa 120000€.

Este túnel tem um consumo de azoto de 1,236 kg por cada kg de produto a congelar e uma potência elétrica de 7500 W, resultando assim num consumo diário de 67,5 kWh (Air Liquide).

Para se congelar 12,5 toneladas de produto diariamente, vai-se consumir 15450 kg de azoto por dia.

O custo do azoto é de 0,30€/l (Air Liquide).

Sabe-se que 1 litro de azoto equivale a 0,809 kg de azoto, assim o preço de azoto por kg será 0,37€/kg.

O custo diário é então 5716,5 €, o que se traduz num custo anual:

$$5716,5 \times 288 = 1.646.352 \text{ €}$$

Considerando-se a tarifa de 0,0735€/kWh (Anexo VII) o custo diário da energia ativa é de 12,13€.

Admitindo que o factor de potência é semelhante ao do túnel clássico.

Assim, o custo diário de energia reativa é:

$$67,5 \times 0,03 \times 0,075 = 0,15 \text{ €}$$

Para saber o custo de energia durante o ano:

$$(12 + 0,15) \times 288 = 3499,7 \text{ €}$$

O custo anual estimado desta instalação é de:

$$1646352 + 3499,7 = 1649851,74 \text{ €}$$

#### 10.4 Comparação dos resultados obtidos

Fazendo uma análise aos resultados obtidos (Tabela 20) é clara a diferença entre o custo total do túnel criogénico e o custo total do congelador de placas e túnel clássico.

Esta discrepância de valor deve-se ao facto do fluido criogénico ser extremamente caro (1646352€), o que como se pode ver na tabela corresponde quase na totalidade ao custo total.

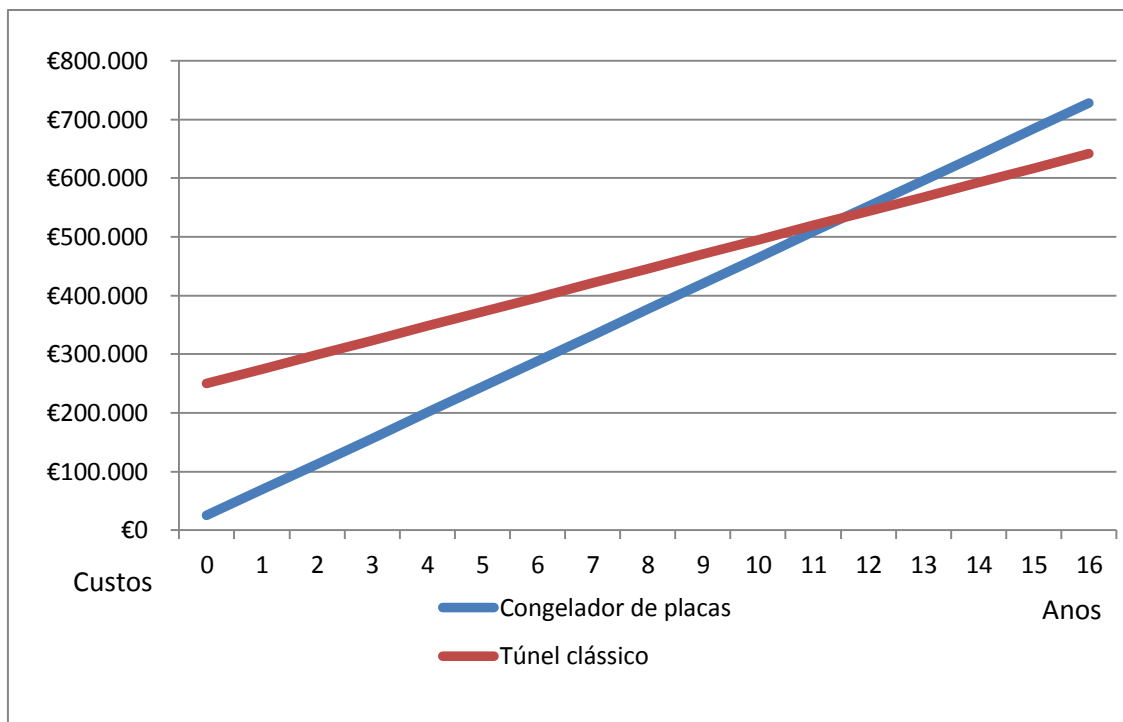
Tabela 20 - Comparação de custos

	<b>Congelador de placas</b>	<b>Túnel clássico</b>	<b>Túnel Criogénico</b>
<b>Custo inicial</b>	25000€	250000€	120000€
<b>Custo anual e operação</b>	43924,3€	24471€	1649851,74€
<b>Custo Total</b>	68924,3€	274471€	1769851,74€

Comparando agora os custos do túnel clássico e congelador de placas vemos que o custo inicial do congelador é bastante mais baixo, mas o custo a anual é mais caro.

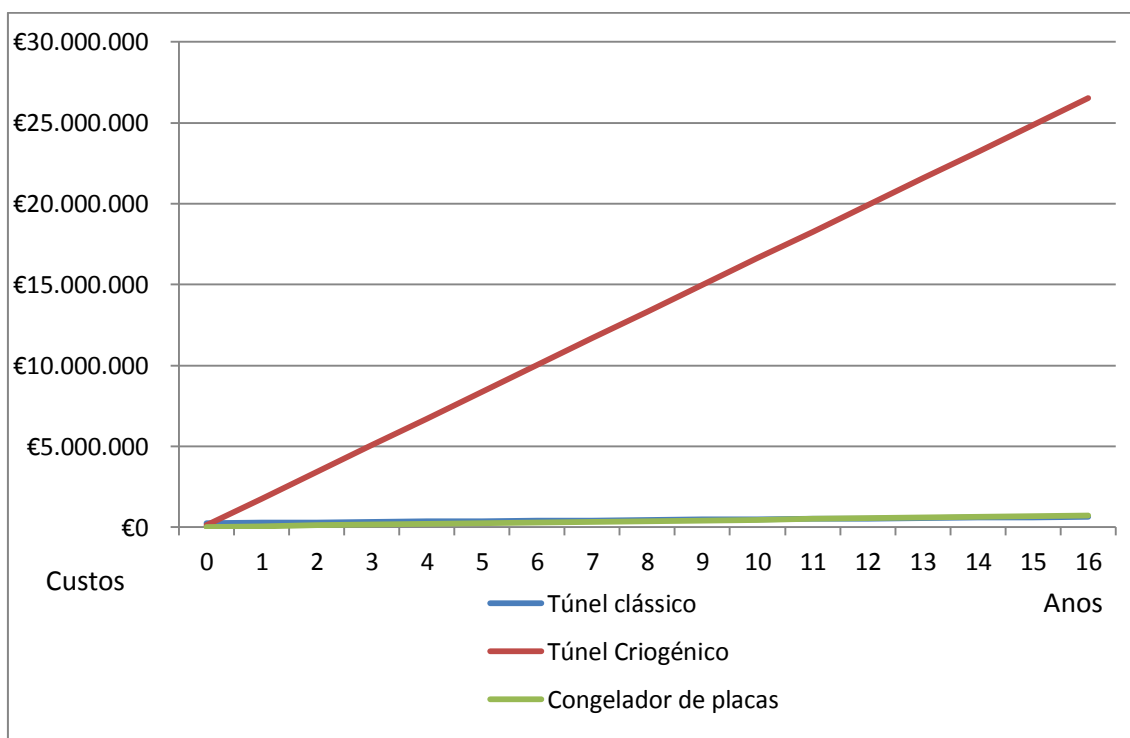
Isto leva a que com o passar dos anos o congelador tenha um custo acumulado superior ao túnel (Gráfico 1).

A conclusão que tiramos é que para compra de equipamento para utilização máxima de 10 anos compensa comprar um congelador de placas, no entanto para utilização mais duradora (> 10 anos) devemos utilizar o túnel clássico pois como pode ser visto no gráficos os seus custos acumulados a partir dos 11 anos são mais baixos que os do congelador.



**Gráfico 1 - Custos acumulados para túnel clássico e congelador de placas**

De seguida apresenta-se um gráfico que compara os custos acumulados dos três equipamentos, onde como já foi dito anteriormente, se pode ver a grande diferença do criogénico para os outros equipamentos.



**Gráfico 2 - Custos acumulados para túnel clássico, túnel criogénico e congelador de placas**

## 11. Análise comparada de apoio à decisão

Após estudos e análise de todos os custos dos principais equipamentos utilizados na congelação de produtos alimentares irá agora definir-se qual o equipamento mais lucrativo, com mais eficácia e produtividade.

Tendo em conta o custo inicial o congelador de placas é o mais barato e o túnel clássico o mais caro.

Apesar disto o túnel clássico tem um tempo de congelação bastante mais rápido e um consumo de energia muito menor, que com o passar dos anos como vimos anteriormente irá compensar diferença de preço inicial.

Continuando a comparação do congelador de placas com túnel clássico podemos ver que este tem muito mais utilização em espaços reduzidos devido as suas dimensões, contudo precisa de mais mão-de-obra e consome mais energia.

Apesar do custo do congelador ser bastante menor que o do túnel, o processo de congelação é mais demorado. O túnel ao ter uma congelação mais rápida permite congelar mais produto.

Comparando o túnel criogénico com o congelador de placas sabemos que o túnel reduz significativamente o tempo de chegada dos produtos ao mercado por ter uma congelação muito mais rápida, necessita também de menos mão-de-obra, tem uma manutenção muito mais baixa e os produtos congelados têm uma maior qualidade.

Comparando agora o túnel clássico com o túnel criogénico podemos considerar o que foi dito anteriormente para o congelador de placas pois ambos são processos clássicos, contudo o túnel criogénico também tem algumas desvantagens.

Apesar de o túnel criogénico ter custo inicial inferior comprado com o túnel clássico, este é mais resistente e robusto, o que lhe dá uma maior durabilidade. Para além disso apesar do consumo de energia no túnel criogénico ser praticamente nulo comparado com o túnel clássico, o maior investimento e prejuízo é o custo do fluido criogénico que é essencial para o seu funcionamento.

Com se viu no ponto anterior o preço por ano de azoto líquido é muito elevado o que faz este método de congelação muito dispendioso.

O alto custo dos fluidos criogénicos, no entanto, faz com que as principais aplicações deste método sejam limitadas e dirigidas para a congelação de produtos com alto valor associado, no qual a qualidade do alimento compensa o custo de obtenção e para

congelamentos de emergência de grandes quantidades de produto num curto espaço de tempo.

Como estamos em tempo de crise cada vez mais se olha para o custo/retorno, ou seja para obtermos retorno num túnel criogénico vai levar muito mais tempo do que em qualquer outro método de congelação.

Agora apresenta-se uma tabela com algumas das principais diferenças entre os métodos de congelação

<b>Características</b>	<b>Congelador de placas/túnel clássico</b>	<b>Túnel criogénico</b>
Estrutura de custos	Elevado investimento inicial de capital, custos de produção mais de produção mais baixos	Baixo investimento inicial de capital, custos subsequentes mais altos e variáveis
Localização na fábrica	Fixos, normalmente situados numa base em cimento. A situação é limitada pelo espaço disponível	Flexível, a situação é mais fácil devido a ocuparem menos espaço
Refrigerante	R404A	Azoto Líquido
Taxa de transferência térmica/velocidade de congelação	Mais lenta devido à temperatura relativamente alta do refrigerante	Mais rápida devido à grande diferença de temperatura entre a superfície do produto e o refrigerante

O túnel criogénico é o método mais indicado a ser utilizado, contudo o elevado preço do fluido criogénico limita a sua utilização.

As atuais tendências de produção de diversos produtos fomentam a utilização dos processos de ultracongelação com líquidos criogénicos capazes de fornecer frio de forma intensiva e precisa.

Respondendo às atuais necessidades do mercado estão a surgir novas soluções tecnológicas para fazer face ao surgimento de um número cada vez mais significativo de produtos que requerem soluções técnicas diferentes.

Apesar de tudo o que foi dito indicar que o túnel criogénico é o equipamento de congelação mais indicado, conclui-se que o elevado custo do seu fluido inviabiliza a sua utilização a curto prazo.

Assim o equipamento mais indicado será o túnel clássico pois para além da sua congelação rápida é o mais viável em termos de custos acumulados.

## **12. Conclusão**

Do estudo efetuado pode concluir-se como é importante conhecer os diferentes métodos de conservação de produtos alimentares perecíveis.

A congelação e refrigeração são as duas técnicas mais usadas na conservação dos alimentos e estão ligadas entre si.

É importante salientar os benefícios da congelação criogénica em relação á congelação clássica.

Como a congelação criogénica é mais rápida vai contribuir para uma melhor qualidade dos produtos e menor perda de peso, dado que na congelação rápida os cristais de gelo formados durante a congelação são muito pequenos devido à elevada velocidade da frente fria, permitindo que as paredes das células não se danifiquem.

Na congelação clássica ocorre o contrário devido à velocidade ser mais lenta, formam-se cristais de gelo de grandes dimensões que vão danificar as paredes celulares resultando em uma perda de produto e diminuição da sua qualidade.

Não foi possível obter uma comparação na qualidade do produto pelos diferentes métodos de congelação, no entanto por toda a pesquisa realizada sabemos que na congelação criogénica se obtém um produto de maior qualidade.

Os resultados obtidos em relação aos túneis clássicos e criogénicos demonstram que o preço do túnel clássico é mais caro que o criogénico, no entanto este valor não tem grande significado quando comprado com os custos de utilização onde o criogénico é bastante mais caro devido ao elevado custo do fluido criogénico.

Dado que a venda dos produtos congelados esta a aumentar a nível global, a técnica de congelação, assim como o mercado dos alimentos, está a desenvolver-se de forma a tornar-se mais rápido, mais eficiente e mais rentável.

No futuro deve-se tentar investir na congelação criogénica de modo a reduzir-se o custo do fluido criogénico que é o principal obstáculo a uma utilização mais regular deste método.

Uma maneira para reduzir o custo seria por exemplo ter reciclar o fluido criogénico não utilizado.

## Referências Bibliográficas

- [1] ORDÓÑEZ-PEREDA, J. A. (2005) Tecnologia de alimentos - Alimentos de Origem Animal, v. 2. Porto Alegre: Artmed.
- [2] SETHI, S. (2007). Principles of Food Processing. New Delhi: Horticulture Post Harvest Technology.
- [3] ROCHA, A. (2008). Conservação dos produtos ao longo do tempo. Segurança e qualidade alimentar - conservação dos alimentos.
- [4] GAVA, A. J. (1984). Princípios de Tecnologia de Alimentos. 7ª edição. São Paulo: Nobel.
- [5] SILVA, J. A. (2000). Tópicos da Tecnologia de Alimentos. São Paulo: Livraria Varela.
- [6] <http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n2/a45v34n2.pdf>
- [7] <http://isabellasvoice.blogspot.pt/2013/05/desidracao-dos-alimentos.html>
- [8] EL-AQUAR, Â. A.; MURR, F. E. X. (2003). Estudo e modelagem da cinética de desidratação osmótica do mamão formosa (Carica papaya L.)
- [9] <http://www.cdt.unb.br/vitrine/files/solucoes/211.pdf>
- [10] FELLOWS, P.J. (2006). Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática- 2 ed. – Porto Alegre: Artemed.
- [11] GONÇASVES, S. S.; ANDRADE, J. S.; SOUZA, R. S. (2000). Influência do branqueamento nas características físicas químicas e sensoriais do abacaxi desidratado.
- [12] <http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/viewFile/763/108>
- [13] <http://www.ebah.pt/content/ABAAAfelIAH/processos-conservacao>
- [14] DOSSAT, R.J. (1997). Principles of Refrigeration (vol. 4). New Jersey: Prentice Hall.
- [15] KOELET, P. C. (1992). Industrial Refrigeration - Principles, design and Applications. [S.l.]: The Macmillan Press, Ltd.
- [16] BAPTISTA, P. (2006). Higiene e Segurança no transporte de produtos alimentares. Guimarães: Forvisão - consultadoria em formação integrada, s.a.
- [17] [http://www.videos.uevora.pt/quimica\\_para\\_todos/qpt\\_conservacao\\_alimentos.pdf](http://www.videos.uevora.pt/quimica_para_todos/qpt_conservacao_alimentos.pdf)
- [18] <http://xa.yimg.com/kq/groups/21782783/1171431898/name/processamento+e+estabilidade+de+vitaminas.pdf>

- [19] SANTOS, F. G. (1998). Frio Industrial. Lisboa: ISEL.
- [20] [http://200.17.98.44/pronatec/wp-content/uploads/2013/06/Microbiologia\\_dos\\_Alimentos.pdf](http://200.17.98.44/pronatec/wp-content/uploads/2013/06/Microbiologia_dos_Alimentos.pdf)
- [21] <http://www.segurancalimentar.com/conteudos.php?id=98>
- [22] <http://super.abril.com.br/ciencia/sao-alimentos-lioofilizados-439157.shtml>
- [23] EVANGELISTA, J. (2001) Tecnologia de alimentos. São Paulo: Atheneu.
- [24] [http://www.geocities.ws/rui\\_biologia/docs/pescadocongelado.htm](http://www.geocities.ws/rui_biologia/docs/pescadocongelado.htm)
- [25] COSTA, E. C., (1982). “Refrigeração”, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo.
- [26] [http://www.argo.furg.br/bdtd/tde\\_arquivos/7/TDE-2011-02-07T090252Z-265/Publico/CICLOS%20TERMODINAMICOS.pdf](http://www.argo.furg.br/bdtd/tde_arquivos/7/TDE-2011-02-07T090252Z-265/Publico/CICLOS%20TERMODINAMICOS.pdf)
- [27] [http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/b/bb/RAC\\_II.pdf](http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/b/bb/RAC_II.pdf)
- [28] ÇENGEL, Y. & BOLES, M.A. (2001). Termodinâmica (vol. 3). Lisboa: McGraw-Hill.
- [29] <http://www.gas-servei.com/componentes/sustitutos-indirectos-del-r-22/r-404a>
- [30] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Amon%C3%ADaco>
- [31] [http://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/47915/mod\\_resource/content/0/manual-vol1.pdf](http://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/47915/mod_resource/content/0/manual-vol1.pdf)
- [32] [http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/pt/images/Azoto\\_122013310\\_41540.pdf](http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/pt/images/Azoto_122013310_41540.pdf)
- [33] [http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/pt/images/Dioxido%20Carbono\\_122013310\\_41549.pdf](http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/pt/images/Dioxido%20Carbono_122013310_41549.pdf)
- [34] [http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/pt/images/Oxigenio\\_122013310\\_41566.pdf](http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/pt/images/Oxigenio_122013310_41566.pdf)
- [35] [http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/pt/images/Gelo%20Seco\\_122013310\\_41557.pdf](http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/pt/images/Gelo%20Seco_122013310_41557.pdf)
- [36] <http://farmaciaunisa2008.files.wordpress.com/2010/08/conservacao-de-alimentos-pelo-frio-2.pdf>
- [37] <http://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca109.pdf>
- [38] ARSDEL, W.; COPLEY, M. J.; OLSON, R. L. (1969). Quality and stability of frozen foods time temperature tolerance and its significance.
- [39] MARTIN, R. E.; FLICK, G. J.; HEBARD, C. E.; WARD, D. R. (1982). Chemistry and biochemistry of marine food products. Westport: AVI.
- [40] LI, B.; SUN, D. W. (2001). Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review. Journal of Food Engineering.

- [41] HUAN, Z.; HE, S.; MA, Y. (2003). Numerical simulation and analysis for quick-frozen food processing. *Journal of Food Engineering*.
- [42] GONÇALVES, A. A. (2003). Refrigeração: Resfriamento e Congelamento. *Material Técnico-Científico* nº 5, Curso de Especialização em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [43] <http://www.profrío.com.br/tunel-congelamento-tuneis-congelamento.php>
- [44] [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ALOA-7UZMMS/disserta\\_ao\\_pdf.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ALOA-7UZMMS/disserta_ao_pdf.pdf?sequence=1)
- [45] BEVILACQUA, M.; D'AMORE, A.; POLONARA, F. (2004). A multi-criteria decision approach to choosing the optimal blanching-freezing system. *Journal of Food Engineering*.
- [46] OGAWA, M. (1999). Refrigeração. In: *Manual de Pesca*, vol. I – Ciência e Tecnologia do Pescado (Ogawa, M. & Maia, E. L. eds.), Cap. 14. São Paulo: Varela.
- [47] KOLBE, E. (2000). Freezing Technology. In: *Surimi and Surimi Seafood*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- [48] <http://www.florigo-international.com/pt/equipment/cooling-freezing-tunnel/equipment/48.htm>
- [49] PINHEIRO, A. P. B. (2001). Tecnologias garantem qualidade dos pescados. *Revista Tecnologia da Refrigeração*, Ano 02, nº 11.
- [50] AGNELLI, M. E.; MASCHERONI, R. H. (2002). Quality evaluation of foodstuffs frozen in a cryomechanical freezer. *Journal of Food Engineering*.
- [51] [http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/AGLOMERADO\\_CORTICA.pdf](http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/AGLOMERADO_CORTICA.pdf)

# ANEXOS

## ANEXO I – Túneis de congelação de ar clássico

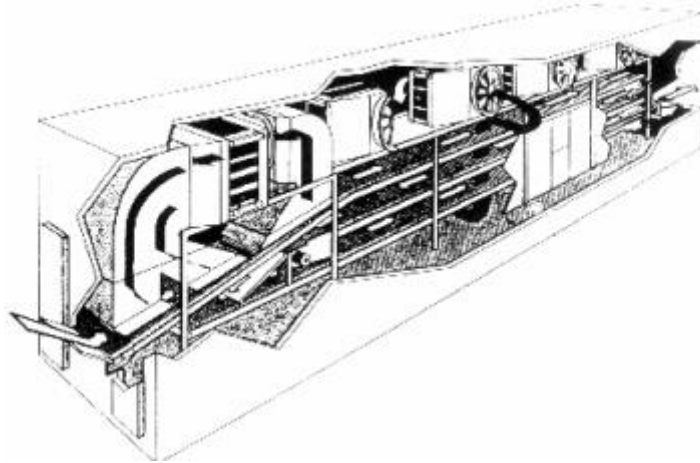


Figura 1 – Túnel de congelação por ar forçado

Fonte: [http://pt.shiningfish-tech.com/wp-content/uploads/2011/09/IQF\\_straight\\_tunnel\\_freezer.jpg](http://pt.shiningfish-tech.com/wp-content/uploads/2011/09/IQF_straight_tunnel_freezer.jpg)

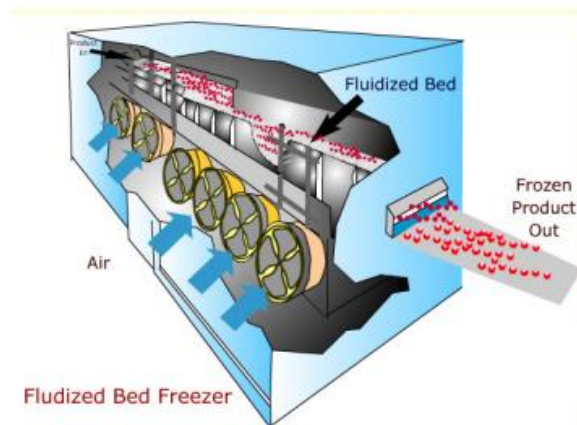


Figura 2 – Túnel de congelação de leito fluidizado

Fonte: [http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/11906301/Modular\\_IQF\\_Fluidized\\_Tunnel\\_Freezer.jpg](http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/11906301/Modular_IQF_Fluidized_Tunnel_Freezer.jpg)

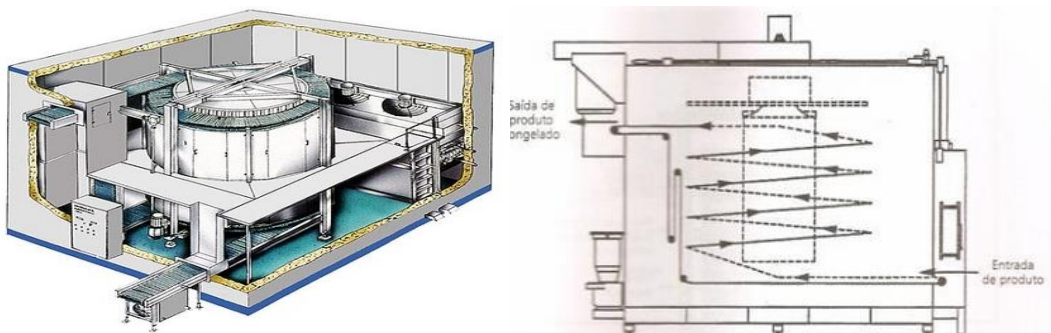
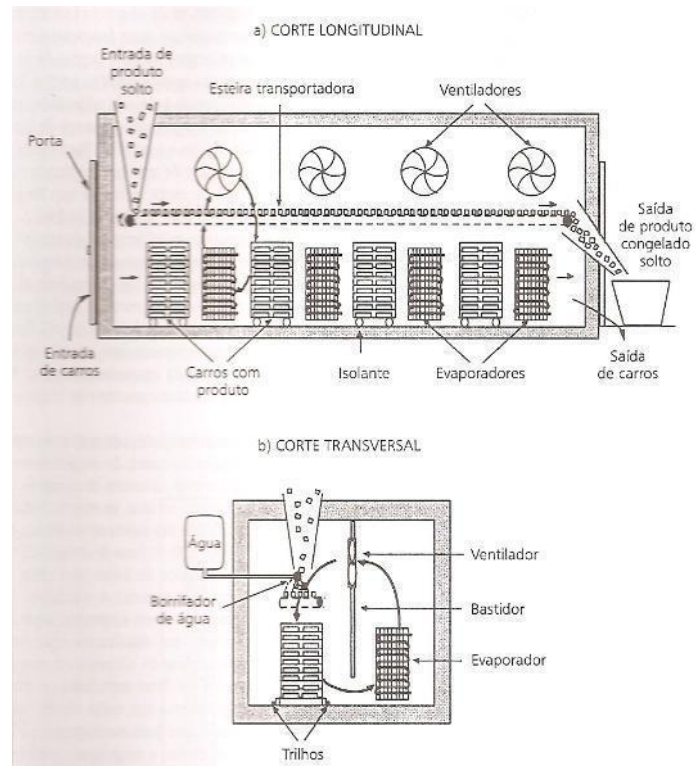


Figura 3 - Congelador em espiral

Fonte: ORDÓÑEZ PEREDA *et al.*, 2005



Túnel de congelamento de Frick, com esteira e carros para o transporte dos alimentos: a) corte longitudinal e b) corte transversal.

**Figura 4 - Congelador de cintas transportadoras**

Fonte: ORDÓÑEZ PEREDA *et al.*, 2005



**Figura 5 – Congelador de placas verticais**

Fonte: [http://www.frigostrella.com.br/Imagens/cong\\_hr.jpg](http://www.frigostrella.com.br/Imagens/cong_hr.jpg)



**Figura 6 – Congelador de placas horizontal**

Fonte: [http://www.frigostrella.com.br/Imagens/cong\\_hr.jpg](http://www.frigostrella.com.br/Imagens/cong_hr.jpg)

## ANEXO II – Salmouras

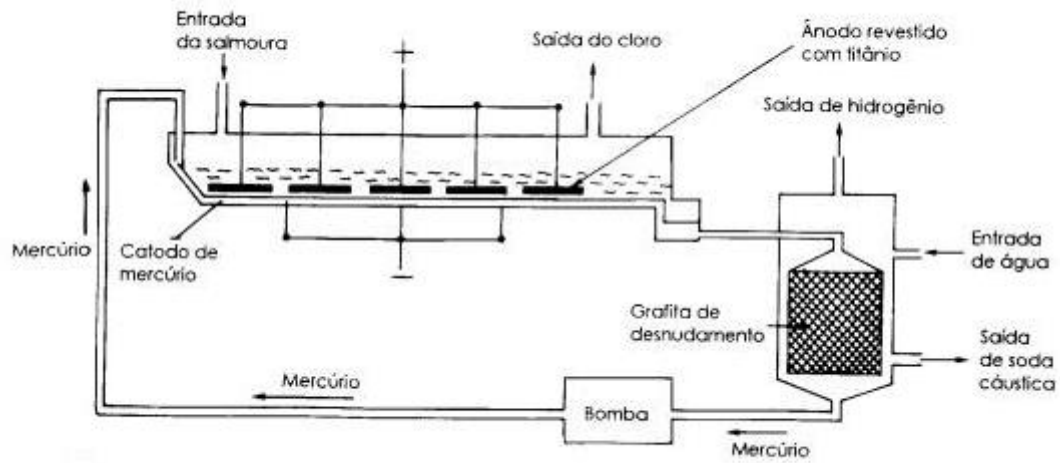
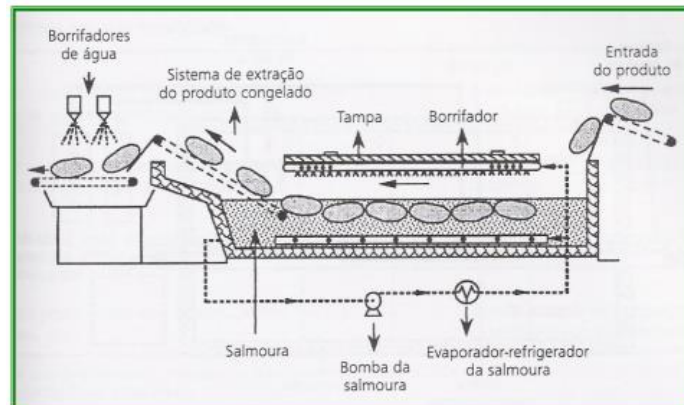


Figura 1 - Salmouras

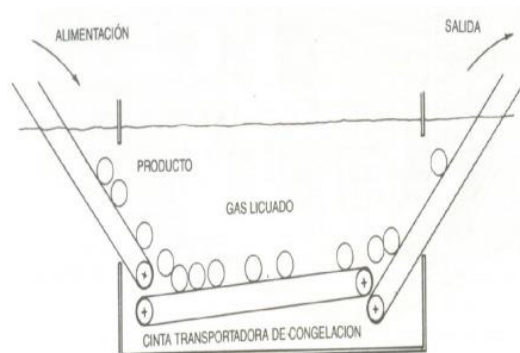
Fonte: <http://www.deboni.he.com.br/ta/sal/proces4.jpg>

## ANEXO III – Túneis de congelação criogénica



**Figura 1 – Congelador de imersão**

Fonte: ORDÓÑEZ e COLTS (2005)



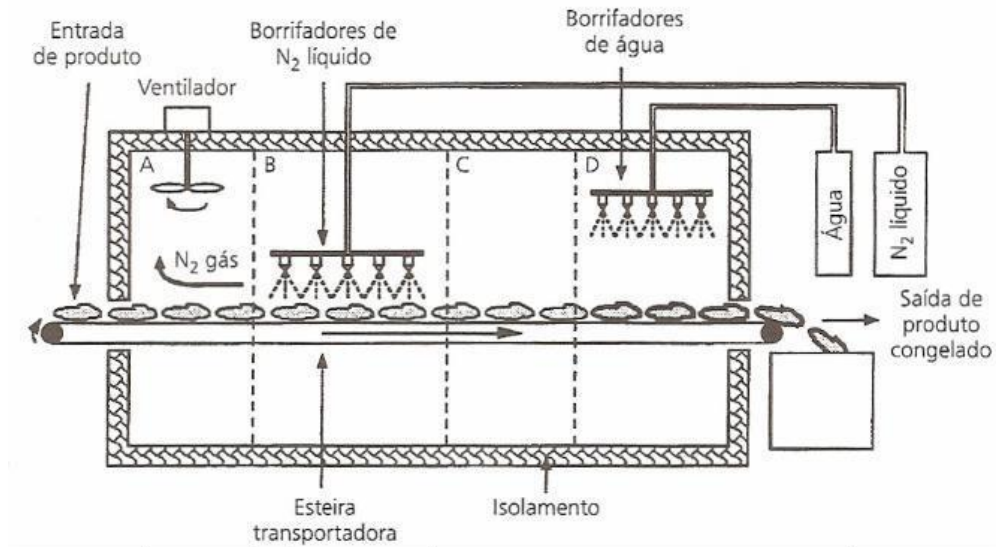
**Figura 2 - Congelador de imersão por cintas transportadoras**

Fonte: [www.coolingfreezing.com.br/prodiqf.html](http://www.coolingfreezing.com.br/prodiqf.html)



**Figura 3 - Congelador de imersão em espiral**

Fonte: refriend.en.alibaba.com



Congelador criogênico de nitrogênio líquido. A: zona de pré resfriamento; B: zona de congelamento. C: zona de equilíbrio. D: zona de vitrificação. Fonte: Ordóñez e Cols (2005).

**Figura 4 - Congelador por pulverização em túnel**

Fonte: ORDÓÑEZ e COLTS (2005)



**Figura 5 - Congelador por pulverização em espiral**

Fonte: Snowkey



**Figura6 - Congelador de contacto indireto vertical**

Fonte: Amisy Group



**Figura 7 - Congelador de contacto indireto horizontal**

Fonte: <http://perfecta.itwfeg.com.br/>

## ANEXO IV – Propriedades do material isolante

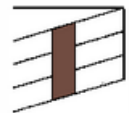
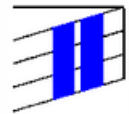

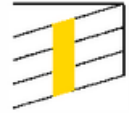
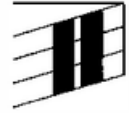
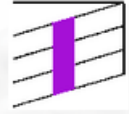
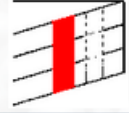
**Tabela 1 – Diferentes tipos de poliestireno expandido**

Fonte: <http://www.acepe.pt/index.php/construcao/item/100-propriedades-do-eps>

EPS TIPO	EN 13163	EPS 30	EPA 60	EPS 100	EPS 150	EPS 200	EPS 250
Condutibilidade térmica	EN 12667 ou EN 12939 W/m°C	0,044	0,040	0,038	0,036	0,035	0,035
Resistência à compressão - deformação < 2%	EN 826 kPa	5	15	25	35	50	70
Resistência à compressão - deformação 10%	EN 826 kPa	30	60	100	150	200	250
Resistência à flexão	EN 12089 kPa	50	100	150	200	250	350
Factor de difusão do vapor de água	EN 12086 $\mu$	20-40	20-40	30-70	30-70	40-100	40-100
Absorção de água por imersão	EN 12087 % volume	<5	<3	<2	<2	<2	<1
Coefficiente de dilatação térmica linear	°C <sup>-1</sup>				5-7*10 <sup>-5</sup>		
Estabilidade de forma à temperatura	°C				85		
	EN 13501-1				Euroclasse E		
Reacção ao fogo (EPS não inflamável)	Especificação LNEC E365				M1 - Não Inflamável		

**Tabela 2 - Poliestireno expandido e diversas aplicações**

Fonte: <http://www.acepe.pt/index.php/eps/propriedades-qualidades/item/106-marca%C3%A7%C3%A3o>

EPS Tipo	Marcação	Aplicação
EPS 30	 Lista castanha	Não aconselhável para isolamento térmico.
EPS 60	 Dupla lista azul	
EPS 100	 Lista preta	Isolamentos sujeitos a cargas ligeiras, tais como os empregues em caixas de ar, telhados ventilados e multicamada, sob pavimentos e em aplicações similares onde podem ocorrer temperaturas elevadas e é requerida resistência à fluência sob compressão.
EPS 150	 Lista amarela	
EPS 200	 Dupla lista preta	Isolamentos sujeitos a cargas, tais como parques de estacionamento, pavimentos de instalações frigoríficas e aplicações similares, que requeiram valores mais elevados de Resistência à compressão e à fluência sob compressão.
EPS 250	 Lista violeta	
NÃO INFLAMÁVEL	 Lista vermelha complementar	Aplicações em que o EPS não fique revestido por materiais incombustíveis.

## ANEXOS V – Seleção de equipamentos

- Evaporador

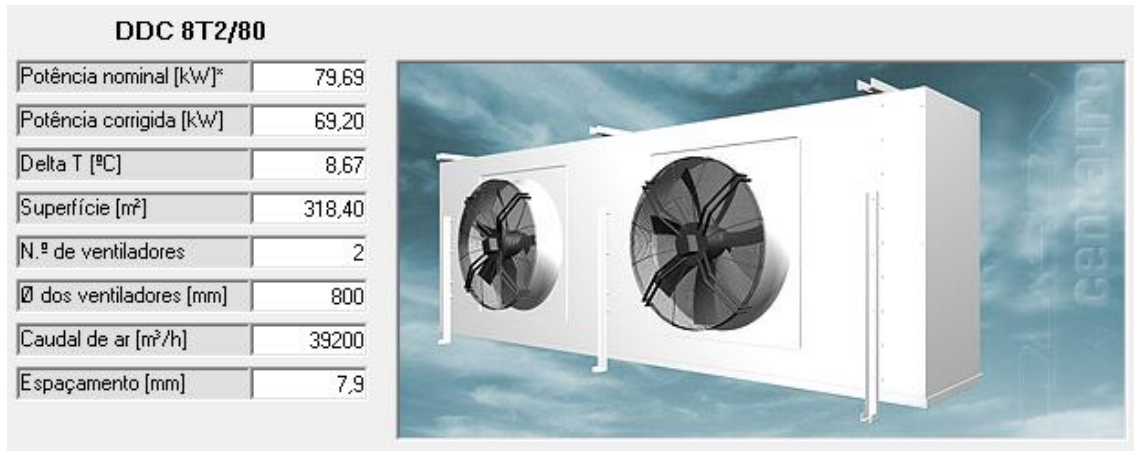


Figura 1 – Modelo do evaporador selecionado

DDC 8T2/80					
Potência nominal [kW]*	79,69	SC 1 [kW]	81,73	Vent. RPM [rpm]	890
Potência corrigida [kW]	69,20	SC 2 [kW]	55,68	Vent. alim. [V/F/Hz]	400/3/50
Delta T [°C]	8,67	SC 3 [kW]	44,50	Desc. corrente [A]	2x21,91+10,
Superfície [m²]	318,40	SC 4 [kW]	36,35	Desc. potência [kW]	37,95
N.º de ventiladores	2	Potência absorvida [W]	3600	Desc. alim. [V/F/Hz]	400/3/50
Ø dos ventiladores [mm]	800	Pressão estática [Pa]	n/d		
Caudal de ar [m³/h]	39200	Projeção [m]	39		
Espaçamento [mm]	7,9	Volume interno [dm³]	69,10		
		Vent. corrente [A]	7,8		

Figura 2 - Dados técnicos do evaporador

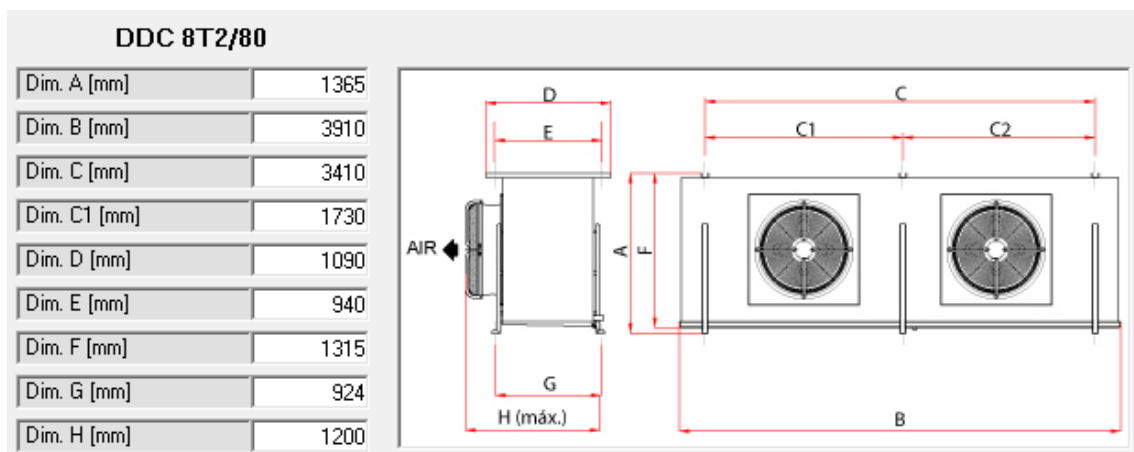


Figura 3 – Dimensões do evaporador

- Compressor

**Tabela 1 - Dados técnicos do compressor de baixa pressão**

<b>Compressor</b>	<b>8FE-70Y-40P</b>
Etapas de capacidade	100%
Capac. Refrigerica	140,7 kW
Capac. Refrigerica *	140,7 kW
Capacidade Evaporador	140,7 kW
Potência absorvida	45,5 kW
Corrente (400V)	89,4 A
Faixa de Tensão	380-420V
Capacidade do Condensador	186,2 kW
COP/EER	3,09
COP/EER*	3,09
Vazão em massa	3500 kg/h
Modo de operação	Padrão
Temp. gás de Descarga não resfriado	79,8 °C

\*segundo EN 12900

<b>Dados Técnicos</b> <input type="text" value="8FE-70Y"/>	
<b>dados técnico</b>	
Deslocamento LP/HP (1450 RPM)	221 m³/h
Deslocamento LP/HP (1750 RPM)	266,7 m³/h
No. de cilindros x diâmetro x curso	8 x 82 mm x 60 mm
Peso	374 kg
Pressão máxima (LP/H)	19 / 28 bar
Conexão da linha de sucção	76 mm - 3 1/8"
Conexão da linha de descarga	54 mm - 2 1/8"
Tipo de óleo R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F	BSE32(Standard) / R134a to >70°C: BSE55 (Option)
Tipo de óleo R22 (R12/R502)	B5.2 (Option)
<b>dados motor</b>	
Motor versão	1
Voltagem do motor (outras sob consulta)	380-420V -50Hz
Máxima corrente de trabalho	139.0 A
Relação de torque	60/40
Corrente de partida (rotor bloqueado)	401.0 A D / 590.0 A DD
Máx. Potência absorvida excedida	78,0 kW
<b>extensão do fornecimento</b>	
Proteção do motor	SE-B2
Classe da proteção	IP54 (Standard)
Coxins	Standard
Carga de óleo	5,0 dm³
<b>opções disponíveis</b>	
Proteção da temperatura de descarga do gás	Option
Controle de capacidade	100-75-50% (Option)
Controle de capacidade linear	100-50% (Option)
Resistência de aquecimento de óleo	140 W (Option)

**Figura 4 - Dados técnicos do compressor de baixa pressão**

**Tabela 2 - Dados técnicos do compressor de alta pressão**

<b>Compressor</b>	<b>CSH8573-110Y-40P</b>
Etapas de capacidade	100%
Capac. Frigorífica	193,6 kW
Capac. Frigorífica *	193,6 kW
Capacidade Evaporador	193,6 kW
Potência absorvida	67,8 kW
Corrente (400V)	115,5 A
Faixa de Tensão	380-415V
Capacidade do Condensador	2,86
COP/EER	2,86
COP/EER*	5159 kg/h
Vazão em massa	5159 kg/h
Modo de operação	Padrão
Temp. gás de Descarga não resfriado	50 °C

\*segundo EN 12900

**Dados Técnicos**

CSH8573-110Y

**dados técnico**

Deslocamento (2900 RPM 50 Hz)	410 m3/h
Deslocamento (3500 RPM 60 Hz)	495 m3/h
Peso	850kg
Pressão máxima (LP/H)	19 / 28 bar
Conexão da linha de sucção	DN 100
Conexão da linha de descarga	76 mm - 3 1/8"
Tipo de óleo R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F	BSE170 (Standard)

**dados motor**

Voltagem do motor (outras sob consulta)	380-415V -50Hz
Máxima corrente de trabalho	182.0 A
Relação de torque	50/50
Corrente de partida (rotor bloqueado)	520.0 A D / 801.0 A DD
Máx. Potência absorvida excedida	110,0 kW

**extensão do fornecimento**

Classe da proteção	IP54
Resistência de aquecimento de óleo	300 W (Standard)
Separador de óleo	Standard
Filtro de óleo	Standard
Proteção da temperatura de descarga do gás	Standard
Alívio de partida	Standard
Controle de capacidade 4-estágios	100-75-50-25% (Standard)
Controle de capacidade linear	100-25% (Standard)
Válvula de retenção interna	Standard
Proteção do motor	SE-E1 (Standard), INT69VSY-II(Standard for 660-690V)
Carga de óleo	22,0 dm3

**Figura 5 - Dados técnicos do compressor de alta pressão**

- Condensador

Tabela 3 - Dados técnicos do condensador

Condensador modelo	K1353T
Número de passos	2
Capacidade do Condensador	205 kW
Capac. Máxima permitida	262 kW
Temp. Condensação SDT	40 °C
Temp. de saída da água	36,8 °C
Vazão em volume	15,01 m <sup>3</sup> /h
Vazão em volume mínima	5,84 m <sup>3</sup> /h
Vazão em volume máxima	29,2 m <sup>3</sup> /h
Taxa de fluxo	1,28 m/s
Perda de carga	0,13 bar

#### Dados Técnicos

K1353T

##### dados técnico

Peso	103 kg
Total width	1634 mm
Peso total	381 mm
Diâmetro do envoltório do tubo	216 mm
Entrada do refrigerante	42 mm - 1 5/8"
Saída do refrigerante	35 mm - 1 3/8"
Entrada do agente congelante (2 passes)	2"
Saída do agente congelante (2 passes)	2"
Entrada do agente congelante (4 passes)	1 1/4"
Saída do agente congelante (4 passe)	1 1/4"
Capacidade de refrigerante do tanque	37,0 dm <sup>3</sup>
Carga max. refrigerante 90% à 20°C	
R22	40,3 kg
R134a	40,8 kg
R407C	38,6 kg
R404A/R507A	35,6 kg

##### opções disponíveis

Adaptador p/ válvula de alívio de pressão	Option
2 trilhos fixadores (acima)	Option
2 trilhos fixadores (abaixo)	Standard

Figura 6 - Dados técnicos do condensador

- Depósito de líquido



**Figura 7 - Depósito de líquido**

Dados Técnicos		
	SI	IP
Peso	178,0 kg	392.5 lb
Largura total	660 mm	26.0'
Profundidade total	--	--
Altura total	1425mm	56.1'
Volume do tanque de refrigerante	228,0 l	8024. fl.oz
Máxima carga de refrigerante 90% a 20°C	20°C	68°F
R22	248,3 kg	547.5 lb
R134a	251,6 kg	554.7 lb
R407C	237,8 kg	524.4 lb
R404A/R507A	219,2 kg	483.3 lb
Conexão de entrada KL	76mm - 3 1/8'	76mm - 3 1/8'
Conexão rosca / flange	140x 140	140x 140
Conexão de saída FL	54mm - 2 1/8'	54mm - 2 1/8'
Manômetro	7/4' 18 NPTF20UNF	7/4' 18 NPTF20UNF
Conexão para válvula de alívio	1 1/4'-12UNF	1 1/4'-12UNF
Adaptador para válvula de alívio	Option	Option
Controle do nível mínimo	Option	Option
Controle de nível máximo	Option	Option
Controle do nível líquido elétrico	Option	Option
Aprovado conforme PED 97/23/EC	Standard	Standard
Aprovações especiais (sob demanda)	Option	Option

**Figura 8 - Dados técnicos do depósito de líquido**

- Válvula de expansão

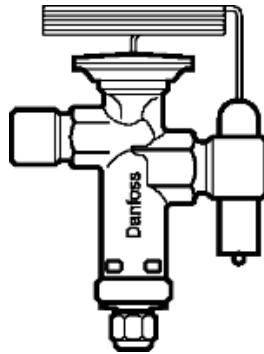


Figura 9 – Válvula de expansão  
Fonte:

[http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Approvals/Files/RAPIDFiles/01/Drawing/67N8014/Small\\_gif\\_67N8014.gif](http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Approvals/Files/RAPIDFiles/01/Drawing/67N8014/Small_gif_67N8014.gif)

**Seletor de componentes**

Controles de Refrigeração Comerc... Válvula de expansão termostática Ver todos Seleção avançada

Linha de líquido  
 Linha de gás quente  
 Linha de sucção

Criterio de procura  
 Evaporador Condensador  
 Refrigerante R404A Ponto de con -30 °C Ponto de cor 43,68 °C  
 Capacidade de refr 33,43 kW Pressão abs. 2,04 bar Pressão abs. 19,84 bar  
 Subresfriamento 4 K  
 Serie Tamanho do orificio Pressão do distribuidor 1 bar

Resultados								
	Nº de código	Desenhos	Documentação	Informação adicional	Homologações e certificados			
	Tipo	Tamanho do orificio	Capacidade produzida(kW)	Carga da válvula (%)	Tipo de orificio	Faixa de temperatura	Bifluxo	Orificio compensado
+	TE 20	8	39,5	85	Separado	N	Não	Não
+	TE 55	9B	43,1	78	Separado	B	Não	Não
+	PHT 85	1	43,5	77	Separado	N	Não	Não
▶ +	TGE 40	40	37,3	90	Fixo	N	Sim	Sim

Figura 10 – Válvula de expansão

- Separador de óleo



Figura 11 – Separador de óleo

Technical Data		
	SI	IP
Weight	54 kg	119.1 lb
Total width	352 mm	13.86'
Total depth	516 mm	20.31'
Total height	724 mm	28.5'
Oil charge	18 l	633.5 fl.oz
Receiver volume refrigerant	40 l	1407.8 fl.oz
Maximum number of compressor	2	2
Refrigerant inlet	54 mm - 2 1/8"	54 mm - 2 1/8"
Refrigerant outlet	42 mm - 1 5/8"	42 mm - 1 5/8"
Oil outlet	22 mm - 7/8"	22 mm - 7/8"
Maximum pressure	28 bar	406 psi
Maximum operating temperature	120°C	248°F
Crankcase heater	1x140 W	1x140 W
Oil level switch	Standard	Standard
Connection for pressure relief valve	1 1/4" - 12 UNF	1 1/4" - 12 UNF
Approval according PED 97/23/EC	Standard	Standard

Figura 12 – dados técnicos separador de óleo

- Filtros



### Features

- Solid copper connections
- High moisture and acid removal capacity
- Corrosion resistant epoxy powder paint finish
- Copeland™ products approved for POE oils

### Specifications

- Desiccant Blend: optimized for high water capacity and acid capacity
- Filtration: 40 microns
- Maximum working pressure: 680 psig
- UL/CUL file number: SA 3124

Figura 13 – dados técnicos filtro

- Permutador de calor de arrefecimento do óleo



Figura 14 – permutador de calor

Technical Data		
	SI	IP
Weight	32 kg	70.56 lb
Length	863 mm	33.98'
Total depth	176 mm	6.93'
Total height	310 mm	12.2'
Jacket tube diameter	159 mm	6.26'
Oil connection	22 mm	7/8'
Coolant inlet (2 passes)	2xR 3/4'	2xR 3/4'
Coolant outlet (2 passes)	R 1'	R 1'
Coolant inlet (4 passes)	R 3/4'	R 3/4'
Coolant outlet (4 passes)	R 3/4'	R 3/4'
Coolant inlet (3 passes)	--	--
Coolant outlet (3 passes)	--	--
Coolant inlet (6 passes)	--	--
Coolant outlet (6 passes)	--	--
Oil charge	10,5 dm <sup>3</sup>	369.5 fl.oz
Coolant charge	2,2 dm <sup>3</sup>	77.4 fl.oz
Maximum pressure oil side	28 bar	400 psig
Maximum pressure cooling side	10 bar	145 psig

Figura 15 – dados técnicos permutador

- Válvula de corte



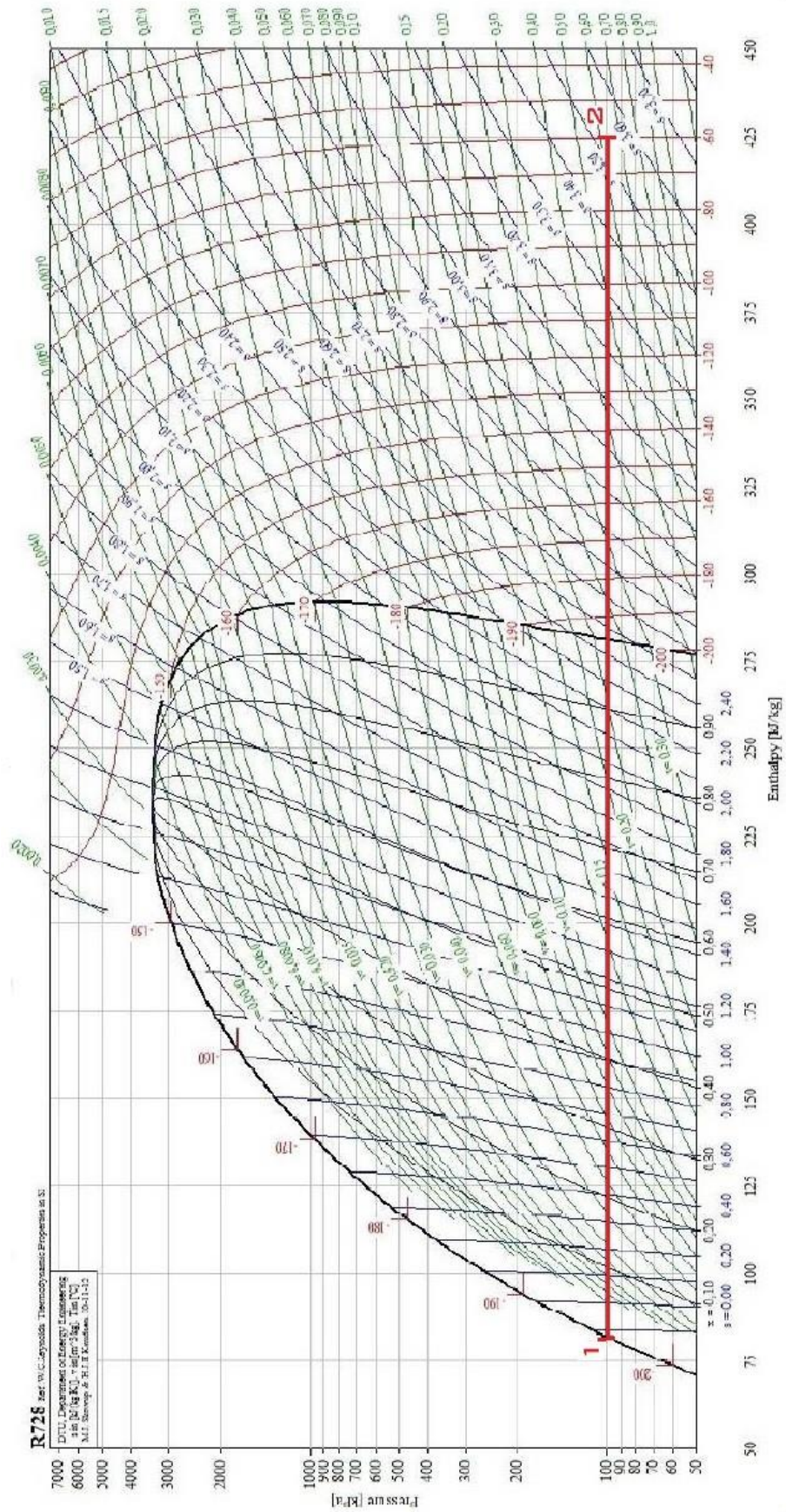
Figura 16 – válvula de corte

Válvulas de corte SVA-ST:

DIN		Em ângulo		DIN		Em linha	
Dimensão		Tipo	Códigos	Dimensão		Tipo	Códigos
mm	pol.			mm	pol.		
15	½	SVA-ST 15 D ANG Cap	148B3362	15	½	SVA-ST 15 D STR Cap	148B3402
20	¾	SVA-ST 20 D ANG Cap	148B3442	20	¾	SVA-ST 20 D STR Cap	148B3482
25	1	SVA-ST 25 D ANG Cap	148B3522	25	1	SVA-ST 25 D STR Cap	148B3562
32	1¼	SVA-ST 32 D ANG Cap	148B3602	32	1¼	SVA-ST 32 D STR Cap	148B3642
40	1½	SVA-ST 40 D ANG Cap	148B3682	40	1½	SVA-ST 40 D STR Cap	148B3712
50	2	SVA-ST 50 D ANG Cap	148B3033	50	2	SVA-ST 50 D STR Cap	148B3039
65	2½	SVA-ST 65 D ANG Cap	148B3045	65	2½	SVA-ST 65 D STR Cap	148B3051
80	3	SVA-ST 80 D ANG Cap	148B3062	80	3	SVA-ST 80 D STR Cap	148B3082
100	4	SVA-ST 100 D ANG Cap	148B3102	100	4	SVA-ST 100 D STR Cap	148B3122
125	5	SVA-ST 125 D ANG Cap	148B3142	125	5	SVA-ST 125 D STR Cap	148B3162
150	6	SVA-ST 150 D ANG Cap	148B3182	150	6	SVA-ST 150 D STR Cap	148B3202
200	8	SVA-ST 200 D ANG Cap	148B3222	200	8	SVA-ST 200 D STR Cap	148B3242

Figura 17 – dados técnicos da válvula de corte

# Anexo VI – Diagrama de Mollier do Azoto



## ANEXO VII – Tarifas

### Tarifa transitória de venda a clientes finais em MT

Termo tarifário fixo	EUR/mês	EUR/dia*
	45,19	1,4856

Encargos de potência	Termo	EUR/kW.mês	EUR/kW.dia*
Longas utilizações	Horas de ponta	9,595	0,3155
	Contratada	1,468	0,0483
Médias utilizações	Horas de ponta	9,671	0,3179
	Contratada	1,381	0,0454
Curtas utilizações	Horas de ponta	14,259	0,4688
	Contratada	0,580	0,0191

Preço da energia ativa	Período trimestral	Período horário	EUR/kWh
Longas utilizações	I e IV	Horas de ponta	0,1287
		Horas de cheias	0,1004
		Horas de vazio normal	0,0708
		Horas de super vazio	0,0604
	II e III	Horas de ponta	0,1316
		Horas de cheias	0,1030
		Horas de vazio normal	0,0735

		Horas de super vazio	0,0677
Médias utilizações	I e IV	Horas de ponta	0,1346
		Horas de chelas	0,1036
		Horas de vazio normal	0,0720
		Horas de super vazio	0,0615
	II e III	Horas de ponta	0,1403
		Horas de chelas	0,1042
		Horas de vazio normal	0,0760
		Horas de super vazio	0,0677
Curtas utilizações	I e IV	Horas de ponta	0,2025
		Horas de chelas	0,1121
		Horas de vazio normal	0,0761
		Horas de super vazio	0,0679
	II e III	Horas de ponta	0,2022
		Horas de chelas	0,1121
		Horas de vazio normal	0,0766
		Horas de super vazio	0,0713

Preço da energia reativa	EUR/kVARh
Fornecida pela Rede (indutiva)	0,0246
Recebida pela Rede (capacitiva)	0,0185

\* RRC art. 220.º, n.º 3

Factores multiplicativos a aplicar ao preço de referência da energia reativa indutiva, em 2014, de acordo com os Despachos 7253/2010 de 26 Abril e 10/2010 de 29 Julho, da ERSE:

Descrição	Factor multiplicativo	
Escalão 1 (a partir de 01.01.2012)	Para $0,3 \leq \text{tg}\varphi < 0,4$	0,33
Escalão 2	Para $0,4 \leq \text{tg}\varphi < 0,5$	1
Escalão 3	Para $\text{tg}\varphi \geq 0,5$	3

Sobre os preços constantes dos quadros, incide o IVA à taxa em vigor.

Quando exista medida separada de energia de vazio, chelas e ponta e se pretenda facturar a energia de super vazio, aplicar-se-á a seguinte regra:

Nos fornecimentos facturados pelas tarifas de média tensão com contagens tri-horárias, são considerados, para efeitos de facturação, os períodos de horas chelas, horas de ponta e horas de vazio, englobando este último os períodos de horas de vazio normal e de supervazio.

O preço da energia a aplicar no período de horas de vazio será determinado a partir dos preços da energia de horas de vazio normal e de supervazio, considerando um fornecimento uniforme no período de horas de vazio e uma duração diária de seis horas para o período de vazio normal e de quatro horas para o período de supervazio.

Os períodos I, II, III e IV correspondem aos trimestres do ano. Mais informações estão disponíveis em [www.erse.pt](http://www.erse.pt).

Tarifário em vigor desde janeiro 2014, Diretiva ERSE 25/2013