



ISEL

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**



## **Projecto de Concepção de Entreposto Frigorífico para Produtos Alimentares Congelados**

**Maria Gabriela do Val Lopes Martins Ângelo**  
(Licenciada em Engenharia Mecânica)

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

**Orientadores:**

Eng.º Francisco Manuel Gonçalves dos Santos  
Eng.º António Manuel Matos Guerra

**Júri:**

Presidente: Prof. Francisco Fernandes Severo

Vogais: Prof. José Trindade Jorge Duque  
Prof. João Vinhas Frade  
Prof. Francisco Gonçalves dos Santos  
Prof. António Manuel Matos Guerra

**Novembro de 2009**



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

## **Projecto de Concepção de Entreposto Frigorífico para Produtos Alimentares Congelados**

**Maria Gabriela do Val Lopes Martins Ângelo**  
(Licenciada em Engenharia Mecânica)

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

**Orientadores:**

Eng.º Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

Eng.º António Manuel Matos Guerra

**Júri:**

Presidente: Prof. Francisco Fernandes Severo

Vogais: Prof. José Trindade Jorge Duque

Prof. João Vinhas Frade

Prof. Francisco Gonçalves dos Santos

Prof. António Manuel Matos Guerra

**Novembro de 2009**

## **Resumo**

Pretende-se com este trabalho de projecto de Mestrado, conceber um entreposto frigorífico para conservar produtos alimentares perecíveis, de grandes dimensões, energeticamente otimizado

O trabalho inicia-se com a definição dos principais objectivos de uma unidade frigorífica deste tipo.

O projecto propõe o dimensionamento do entreposto frigorífico na sua vertente de produção de frio e serviços complementares. Será feita a descrição do edifício, com instalações técnicas para manter temperaturas e humidades adequadas. Serão também dimensionadas as áreas de apoio às tarefas e processos tecnológicos desenvolvidos na recepção e expedição dos produtos alimentares perecíveis.

Será analisado o enquadramento técnico-funcional e as condições higio-sanitárias exigidas para o funcionamento correcto desta unidade, de acordo com a regulamentação comunitária e nacional existente. Para complementar estas matérias abordaremos o sistema preventivo de controlo de riscos de Segurança Alimentar designado por HACCP (Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos).

De seguida, teremos uma abordagem teórica de dois fluidos frigoríficos, designadamente o NH<sub>3</sub> e o R404A, ambos de impacto ambiental nulo, os quais poderão ser utilizados na instalação frigorífica do entreposto, com características específicas conforme o fluido utilizado.

Também foi objecto deste estudo, o enquadramento desta unidade como um dos elos fundamentais da chamada cadeia do frio.

Após o dimensionamento das instalações, define-se o respectivo isolamento e realiza-se o balanço térmico a partir dos quais as instalações frigoríficas serão dimensionadas.

Serão abordados, do ponto de vista termodinâmico e tecnológico, dois conceitos diferentes para a instalação frigorífica desta unidade. Num deles, a produção de frio faz-se por expansão directa do R404A como fluido frigorigéneo nos evaporadores. No outro, a produção de frio processa-se com alimentação forçada dos evaporadores, com NH<sub>3</sub> líquido a temperaturas negativas, por bombeamento a partir de um separador de líquido.

Os custos de aquisição e montagem destas instalações frigoríficas são diferentes, mas os consumos energéticos durante a sua vida útil também variam.

Finalmente, um estudo comparativo dos dois conceitos concluirá na solução com maior eficácia energética e menor custo a médio prazo.

**Palavras-chave:** Entrepasto Frigorífico, Compressores, Evaporadores, Condensadores, Separadores de Líquido, Câmara frigorífica, HACCP, Paletes.

## **Abstract**

The intent of this work is to design a refrigeration plant for frozen food. After specifying the main project objectives, we describe a memoir and dimension a refrigeration plant with two chambers.

We do a presentation of technical procedures and hygienic-sanitary requirements plus the implementation of HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Points.

With the phase-out of CFC and HCFC, the preferred HFC replacement for freezing temperatures is R404A for direct expansion in evaporators.

Another refrigerant we can use in flooded evaporators connected with a liquid separator is Ammonia, a natural fluid.

We proceed with the facility's thermal balance. After finishing that, we dimension the refrigeration equipment for the existing chambers.

We design two refrigeration options, one with R404A and another with Ammonia - NH<sub>3</sub>.

To finish the project we compare installation costs, maintenance and electric consumption of refrigeration systems, and choose the most efficient.

**Key Words** - Refrigeration plant, frozen food, cold chambers, evaporator, liquid separator.

## **Agradecimentos**

Aos Professores Francisco Manuel Gonçalves dos Santos - Orientador, e António Manuel Matos Guerra - Co-orientador, pela sua orientação, apoio e total disponibilidade no esclarecimento de dúvidas.

Ao Sr. Clemente Costa, da empresa Frio Gelalentejo, pela disponibilidade na visita às instalações do entreposto frigorífico

À minha filha Ana Cristina, por sempre me ter incentivado e apoiado assim como pela sua colaboração.

À minha amiga Ana, pela sua disponibilidade, colaboração e amizade.

Aos meus colegas Ilda, Sandra, António, Joaquim Machado e Neto, pela sua colaboração, apoio e amizade.

## Índice

1. Objectivos .....	1
2. O entreposto frigorífico como entidade de armazenagem de produtos alimentares perecíveis congelados .....	2
3. Enquadramento do projecto nos aspectos técnico-funcionais .....	4
4. Condições higio-sanitárias e implementação do HACCP de acordo com os Regulamentos Comunitários.....	7
4.1 Condições higio-sanitárias.....	7
4.2 Requisitos relativos aos equipamentos utilizados .....	8
4.3 Legislação e Regulamentos comunitários aplicáveis aos produtos alimentares congelados .....	10
4.4 Sistema de segurança do haccp - Hazard Analysis and Critical Control Points (análise de perigos e controlo de pontos críticos).....	10
4.4.1 Princípios do haccp.....	10
4.4.2 Historial .....	11
4.4.3 Legislação .....	11
4.4.4 Vantagens do haccp .....	12
4.4.5 Terminologia .....	13
4.4.6 Implementação do haccp .....	14
5. Enquadramento do projecto em matéria ambiental, (no que respeita à utilização do NH <sub>3</sub> e do R 404A como fluidos frigorigénios) .....	18
5.1 R404A.....	18
5.2 R717 (amoníaco - NH <sub>3</sub> ).....	20
6. Integração do entreposto frigorífico na cadeia de frio.....	22
6.1 Períodos/temperaturas de armazenagem de produtos alimentares perecíveis .....	25
7. Balanço térmico manual e informático - Fundamentação Termodinâmica.....	27

7.1	Balanço manual de uma câmara de conservação de congelados.....	27
7.2	Fundamentos termodinâmicos do ciclo de compressão de um andar a R404A ...	29
7.3	Fundamentos Termodinâmicos para uma instalação frigorífica de bombeamento a NH <sub>3</sub> para congelados de dupla compressão com injeção total .....	32
7.4	Balanço informático da câmara de conservação de congelados.....	38
8.	Cálculos do projecto e equilíbrio dos equipamentos frigoríficos .....	42
8.1	Isolamento térmico das câmaras e portas .....	42
8.1.1	Concepção do isolamento térmico das câmaras de conservação de congelados ...	43
8.1.2	Dimensionamento e características das portas .....	44
8.2	Dimensionamento dos equipamentos de produção de frio, controlo e protecção.....	45
8.2.1	Câmaras de conservação de congelados com instalação frigorífica de expansão directa a R404 A com um andar de compressão.....	45
8.2.2	Solução para instalação frigorífica com alimentação dos evaporadores por bombeamento de amoníaco em sistema inundado com dois andares de compressão. ....	52
9.	Plantas do entreposto frigorífico.....	68
9.1	Planta do 1º piso (câmaras).....	68
9.2	Planta do 2º piso (área administrativa) .....	69
10.	Circuitos frigoríficos das duas soluções .....	70
10.1	Circuito Frigorífico a amoníaco .....	70
10.2	Circuito Frigorífico de expansão directa a R404A, para uma câmara frigorífica.....	71
11.	Escolha da melhor solução entre o ciclo com um andar (R404A) e dois andares de compressão (NH <sub>3</sub> ). Análise da escolha em função do consumo energético, custos de aquisição e montagem, durabilidade e custos de manutenção.....	72
11.1	Instalação frigorífica a R404A .....	74

11.2	Instalação frigorífica a NH <sub>3</sub> .....	75
12.	Análise conclusiva do projecto .....	77
12.1	Cálculos Termodinâmicos e valores reais .....	77
13.	Referências .....	79
13.1	Bibliográficas.....	79
13.2	Outras.....	80
13.3	Dados técnicos, tabelas e ábacos .....	80

## Índice de Figuras

Figura 1 – Circuito da instalação frigorífica a R404A.....	29
Figura 2 - Diagrama de Mollier ou entálpico da instalação frigorífica a R404A .....	30
Figura 3 - Circuito da instalação frigorífica a NH <sub>3</sub> .....	33
Figura 4 - Diagrama de Mollier ou entálpico da instalação frigorífica a NH <sub>3</sub> .....	33
Figura 5 - Separador de líquido de baixa pressão .....	35
Figura 6 - Depósito intermédio com injeção total.....	36
Figura 7 - Estação de válvulas de um evaporador .....	55

## **Lista de Abreviaturas**

**HACCP** - *Hazard Analysis and Critical Control Points* (Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos).

**PCC** - Pontos Críticos de Controlo.

**NASA** – *National American Spacial Agencia*.

**CE** - Comunidade Europeia.

**DL** – Decreto-lei.

**ASAE** - Autoridade de Segurança Alimentar e Económica.

**O<sub>3</sub>** – Ozono.

**NaOH** – Hidróxido de Sódio.

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de carbono – anidrido carbónico.

**Hg** – Mercúrio.

**CFC** – Clorofluorocarbonato.

**HFC** - Hidrofluorocarbonato

**NH<sub>3</sub>** – Amoníaco.

**ODP** - Ozone Depletion Potential (Potencial de Eliminação de Iões de Ozono).

**GWP** – Global Warning Potential (Potencial de Aquecimento Global).

**R717** - Fluido frigorigéneo (amoníaco - NH<sub>3</sub>).

**R404A** - Fluido frigorigéneo (constituído por R125, R134a e R143a).

**R125** – Pentafluoroetano (CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>).

**R134a** – Tetrafluoroetano (CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>).

**R143a** – Trifluoroetano (CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>).

**PTN** - Pressão e Temperatura Normal (76 mm Hg, 25°C).

**TIR** – *Transports Internationaux Routiers* (Transporte Internacional Rodoviário).

## Lista de Símbolos

- $Q_1$  – Entrada de calor diária através das superfícies da câmara frigorífica (kJ/24 h).  
 $Q_2$  – Entrada de calor devido à renovação de ar (kJ/24 h).  
 $Q_3$  – Arrefecimento dos produtos (kJ/24 h).  
 $P$  – Quantidade de calor parcial ( $Q_1 + Q_2 + Q_3$ ) (kJ/24 h).  
 $Q_{\text{diário}}$  – Quantidade de calor a retirar por dia (kJ/24 h).  
 $\dot{Q}_{\text{projecto}}$  – Potência Frigorífica de uma câmara (kW).  
 $\dot{Q}_{\text{total}}$  – Potência Frigorífica das duas câmaras (kW).  
 $\theta$  – Temperatura interior da câmara (°C).  
 $\theta_c$  – Temperatura exterior no cais (°C).  
 $\Delta\theta$  – Diferencial térmico entre a temperatura dos produtos à entrada na câmara e a temperatura interior da câmara (°C).  
 $S$  – Área total das câmaras (m<sup>2</sup>).  
 $V$  - Volume interior das câmaras (m<sup>3</sup>).  
 $\dot{m}$  – Caudal mássico.  
 $t$  - Tempo de funcionamento dos compressores/evaporadores (h).  
 $C_p$  – Calor específico (kJ/kg °C).  
 $q$  – Fluxo unitário admissível (W/m<sup>2</sup>).  
 $e$  – Espessura do isolamento (m).  
 $\lambda$  - Coeficiente de condutividade térmica (W/m °C).  
 $\dot{V}$  - Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/h).  
 $v_f$  – Volume específico do líquido.  
 $m$  – Massa de produto em toneladas.

## **1. OBJECTIVOS**

1. Adequar os processos de conservação de acordo com as normas.
2. Optimizar energeticamente a produção de frio.
3. Utilizar fluidos frigoríficos de impacto ambiental nulo.
4. Optimizar em termos de economia de energia os isolamentos térmicos dos espaços frigoríficos.
5. Racionalizar os circuitos de movimentação de cargas em função da eficiência energética.
6. Encontrar a solução otimizada para a instalação frigorífica do Entrepasto a médio prazo.

## **2. O ENTREPOSTO FRIGORÍFICO COMO ENTIDADE DE ARMAZENAGEM DE PRODUTOS ALIMENTARES PERECÍVEIS CONGELADOS**

Os produtos alimentares perecíveis, produzidos pela indústria transformadora têm, consoante o produto, um prazo mais ou menos longo para serem consumidos.

Para tal, terão de ser armazenados sob diferentes processos de conservação. Os processos ancestrais eram a conservação por secagem e salmoura, os quais atenuavam a actividade bacteriológica, aumentando substancialmente a durabilidade desses produtos, com alguma qualidade organolética mas, perdendo grande parte das proteínas e vitaminas constituintes do produto.

Outro processo utilizado, sobretudo pelos povos do centro norte da Europa, com invernos rigorosos, era a utilização do frio natural para a conservação dos alimentos nessa estação até à chegada da estação quente, altura em que era possível produzir alimentos para consumo imediato.

No início do século XX, deu-se um desenvolvimento gradual na produção de frio artificial. Esse desenvolvimento originou o aparecimento de unidades de armazenagem de frio, como:

- Câmaras frigoríficas refrigeradas, a temperaturas positivas próximas dos 0°C;
- Câmaras para produtos congelados, a temperaturas negativas, junto dos produtores alimentares, distribuidores grossistas e retalho.

Por outro lado, as famílias nas suas casas, passaram a possuir um equipamento designado por frigorífico doméstico, que permite a conservação de pequenas quantidades de produtos, durante alguns dias.

Mais tarde, com o desenvolvimento estratégico das empresas produtoras dos produtos e das distribuidoras dos mesmos, verificou-se a necessidade de existirem instalações frigoríficas autónomas especializadas em armazenagem de produtos perecíveis, sobretudo no estado congelado em condições de temperatura e humidade relativa capazes de garantir uma armazenagem de vários meses e, por vezes, um ou dois anos.

Desta forma, desenvolveu-se o conceito do entreposto frigorífico para armazenagem de produtos alimentares perecíveis no estado congelado. Caracterizam-se por câmaras frigoríficas de grande capacidade, capazes de armazenar centenas ou milhares de toneladas de vários produtos perecíveis embalados e protegidos, dispostos em paletes e que podem coabitar a temperaturas de armazenagem de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Um entreposto para produtos congelados-tipo é constituído por duas ou três grandes câmaras frigoríficas com abertura directa para um grande cais de movimentação de carga para recepção/expedição. Este cais estará equipado com plataformas hidráulicas adaptáveis às caixas isotérmicas dos camiões que encostam às portas de guilhotina do cais. Este deverá ter climatização apropriada (cerca de  $+15^{\circ}\text{C}$ ) que atenuará eventuais choques térmicos durante a movimentação das cargas paletizadas com os empilhadores

Dado o exposto, concebe-se um entreposto frigorífico para conservação de produtos alimentares perecíveis no estado congelado, constituído por duas câmaras frigoríficas de conservação de congelados, com o volume total aproximado de  $25\ 000\ \text{m}^3$ , tendo cada câmara dimensões exteriores de  $50 \times 24\ \text{m}$  e pé direito de  $10,6\ \text{m}$ , para um volume interno de cerca de  $12\ 500\ \text{m}^3$ , com uma capacidade de armazenagem de cerca de  $3\ 750\ \text{t}$ , de produto congelado por câmara, donde resulta uma capacidade global de  $7500\ \text{t}$ .

A temperatura das câmaras será de  $-25^{\circ}\text{C}$ , permitindo o armazenamento de produtos alimentares perecíveis congelados e embalados até 12 meses.

A humidade relativa será de cerca de 90% de modo a evitar a sublimação do gelo nos produtos armazenados.

O acesso às câmaras será realizado pelo cais de recepção/expedição/*picking* que se encontrará, como referido, à temperatura de  $+15^{\circ}\text{C}$ , com a dimensão de  $48 \times 20\ \text{m}$ , com quatro plataformas hidráulicas, que permitirão a continuidade entre o piso do cais e a caixa isotérmica de vários camiões.

### **3. ENQUADRAMENTO DO PROJECTO NOS ASPECTOS TECNICO-FUNCIONAIS**

Como foi referido, o entreposto frigorífico é uma unidade industrial destinada à armazenagem de produtos alimentares perecíveis e embalados no estado congelado.

A maioria dos entrepostos presta um serviço de armazenagem misto (Público e Privado), misturando produtos da própria empresa, transformados noutras instalações e produtos de terceiros, que são colocados nas câmaras frigoríficas, mediante um pagamento mensal por quilograma armazenado. Alguns entrepostos também prestam serviços complementares à armazenagem dos produtos alimentares, os quais serão debitados aos clientes.

Os produtos alimentares congelados provenientes de Unidades de Transformação (matadouros, unidades de pescado, hortícolas, panificação etc.) chegam ao entreposto em camiões TIR com semi-reboque e caixa isotérmica equipada com unidade autónoma de produção de frio, com cargas de 30 a 40 toneladas, à temperatura de -18°C.

Um camião, ao chegar ao entreposto, ajusta a traseira da caixa frigorífica a lamelas de borracha, a porta em guilhotina do cais sobe e a plataforma hidráulica ajusta-se à soleira da porta pivotante dupla da retaguarda da caixa.

Os empilhadores eléctricos entram na caixa e transportam as paletes normalizadas com a respectiva carga para as câmaras frigoríficas.

A utilização de paletes normalizadas segundo a UE, de 1,2 x 1,0 x 0,15 m ou 1,2 x 0,8 x 0,15 m (G. Santos), permitirá aumentar, substancialmente, o rendimento das operações de estiva e reduzir os tempos de abertura das portas das câmaras frigoríficas.

A abertura e fecho das portas devem ser rápidos, sendo montadas portas de duas folhas para limitar a entrada de ar quente com o conseqüente aumento de temperatura e humidade relativa. Para limitar a entrada de ar novo, cada porta possui uma cortina com lamelas de plástico flexível.

Nas câmaras estará montado um modo de estiva mecanizada, automatizada através de sistema de comando numérico e de gestão computadorizada, podendo ser posicionadas cinco paletes na vertical, inseridas numa estrutura metálica com módulos de 2 m de altura, atingindo um total de 10 m.

O posicionamento, da paleta com a carga, será realizado directamente pelo empilhador, na estrutura metálica da câmara, que se desloca lateralmente com accionamento de motores eléctricos, ao longo de carris inseridos na laje do pavimento da câmara, permitindo colocar a paleta com o produto congelado no local previamente seleccionado pelos meios computadorizados.

O plano de massa ou plano de estiva inclui, por câmara, duas áreas reservadas às duas estruturas metálicas com dimensões aproximadas de 10 x 45 m, para os produtos paletizados. Na zona central e no alinhamento da porta encontra-se o corredor com uma largura de 4 m e comprimento de 50 m, sendo esta área pintada de amarelo no pavimento para facilitar a gestão e a estiva.

Para que exista uma correcta circulação do ar nas câmaras, entre os produtos existirá um espaço de circulação de ar entre a estiva e o tecto, de 0,8 a 1 m. Também para circulação de ar junto às paredes está previsto um rodapé de 30 x 30 cm.

Todos os produtos congelados armazenados no entreposto vêm embalados, sendo obrigatório que a embalagem, por estar em contacto directo com o produto, deva ser fabricada com materiais próprios e regulamentados que permitam o contacto com produtos alimentares, com dimensão e concepção adequada ao produto. Também deverá estar apta a receber inscrições regulamentares impostas pela legislação nacional ou do país destinatário nomeadamente, o número de controlo veterinário, o lote, a data de fabrico e/ou de consumo e as características do conteúdo.

As caixas de cartão canelado (ou material similar com as embalagens) devem apresentar resistência à compressão para proteger os produtos embalados e armazenados nas camadas inferiores evitando, assim que sejam esmagados.

A saída dos produtos congelados do entreposto é verificada por um controlador para assegurar que os produtos se encontram no prazo de validade para consumo humano.

Por vezes, a distribuição de vários produtos congelados a retalho obriga a operações de *picking*, em que uma palete leva vários tipos de produtos para determinado cliente. Esta operação é, por vezes, demorada e obriga a várias movimentações dos empilhadores para encher uma única palete com produtos diferenciados, sendo cobrado um valor adicional ao cliente, por esta operação.

A distribuição, destas paletes com vários produtos, será realizada em viaturas de menores dimensões de caixa isotérmica e grupo de frio, para garantir os  $-18^{\circ}\text{C}$ , que se deslocam facilmente entre os retalhistas.

#### **4. CONDIÇÕES HIGIO-SANITÁRIAS E IMPLEMENTAÇÃO DO HACCP DE ACORDO COM OS REGULAMENTOS COMUNITÁRIOS**

##### **4.1 CONDIÇÕES HIGIO-SANITÁRIAS**

Todas as instalações ligadas ao sector alimentar, deverão ser mantidas higienizadas, em boas condições de conservação e, os trabalhadores deverão ter todas as condições de modo a permitir que as suas tarefas sejam efectuadas nas condições exigidas, no respeitante à higiene. Assim, as instalações do entreposto serão construídas e dimensionadas de forma a permitir que evitem a acumulação de sujidade.

A manutenção e a limpeza/ desinfeção deverão ser realizadas de forma adequada e de modo a evitar ou, pelo menos, minimizar a contaminação por via atmosférica.

Dever-se-à garantir que não haja contacto de materiais tóxicos com os géneros alimentícios quer evitando-se a formação de condensados nas superfícies, quer de bolores.

As superfícies envolventes (chão, tecto e paredes) deverão ser mantidas em bom estado de conservação, limpos e, sempre que se justifique, desinfectados. Para tal deverão ser utilizados materiais impermeáveis, não absorventes, laváveis e não tóxicos.

As portas e janelas deverão ser construídas em materiais adequados que permitam a sua limpeza, desinfeção e bom estado de conservação.

No que diz respeito a instalações sanitárias, estas deverão existir em número suficiente, não devendo o seu acesso dar directamente para as zonas de movimentação de produtos alimentares.

A instalação deverá dispor de iluminação (natural ou artificial) adequada e de ventilação (natural ou mecânica) adequada e suficiente, devendo evitar-se, sempre que possível, a entrada de ar exterior contaminado, sobretudo devido aos gases de escape provenientes dos camiões durante a acostagem às plataformas hidráulicas.

A abertura das portas do cais só será efectuada após o motor do camião estar desligado.

As lâmpadas das câmaras e do cais deverão estar munidas de redes protectoras que evitem a queda de estilhaços em caso de quebra.

Deverá ser providenciado um abastecimento de água potável. Quando for utilizada água não potável (para combate a incêndios, por exemplo) o seu sistema não poderá ter qualquer ligação nem com os sistemas de água potável nem possibilidade de refluxo para esses sistemas.

#### **4.2 REQUISITOS RELATIVOS AOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

Para garantir a higiene, os equipamentos utilizados deverão cumprir algumas exigências.

Todos os equipamentos deverão ser fabricados com materiais adequados e mantidos em boas condições de arrumação e bom estado de conservação, de modo a minimizar os riscos de contaminação.

A unidade deverá estar equipada com lavatórios adequado ao número de trabalhadores, devidamente localizados, sinalizados, equipados com água corrente fria e quente, materiais para limpeza e dispositivos de secagem higiénica.

Existirão instalações sanitárias em número suficiente, com sistema de esgoto próprio e equipadas com ventilação natural.

Os trabalhadores terão entrada própria para as instalações sanitárias e vestiários, para se uniformizarem devidamente, com calçado e vestuário próprios para baixas temperaturas, fornecidos pela empresa.

Os pavimentos serão em material impermeável, não absorvente, antiderrapante, lavável, não tóxico, sendo construído de forma a permitir o escoamento adequado das superfícies.

As paredes serão em material impermeável, não absorvente, lavável, não tóxico e lisas para facilitar as operações de limpeza.

As portas serão em material liso e não absorvente, de preferência, metálicas ou material plástico não tóxico.

Os empilhadores deverão ter accionamento eléctrico não libertando quaisquer gases contaminantes. A recarga das baterias deverá ser feita em local próprio devidamente arejado com ventiladores para aspirar os vapores ácidos formados.

Todos os trabalhadores da unidade deverão receber formação em matéria de higiene adequada à sua actividade.

As câmaras frigoríficas terão portas de abertura automática, com possibilidade de abertura pelo interior, manual com sirene e luz avisadora.

Existirá uma sala fechada devidamente ventilada para os produtos tóxicos de limpeza e desinfeção.

Existirá um gabinete médico na zona administrativa, munido de produtos próprios para primeiros socorros.

As viaturas de transporte devem ser mantidas limpas e desinfectadas.

Dever-se-à cumprir toda a regulamentação sobre sinalização de segurança bem como sobre a colocação de diverso material contra incêndios.

### **4.3 LEGISLAÇÃO E REGULAMENTOS COMUNITÁRIOS APLICÁVEIS AOS PRODUTOS ALIMENTARES CONGELADOS**

As principais normas e regulamentos que se aplicam ao funcionamento de um entreposto frigorífico para produtos de origem animal são as seguintes:

- Regulamento (CE) n.º 852/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Abril de 2004 relativo à higiene dos géneros alimentícios;
- Regulamento (CE) n.º 853/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Abril de 2004 que estabelece regras específicas de higiene aplicáveis aos géneros alimentícios de origem animal;
- Regulamento (CE) n.º 854/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Abril de 2004 que estabelece regras de organização dos controlos oficiais de produtos de origem animal destinados ao consumo humano;
- DL n.º 67/98 (HACCP).
- DL n.º 113/2006 de 12 de Junho (HACCP).

### **4.4 SISTEMA DE SEGURANÇA DO HACCP - HAZARD ANALYSIS AND CRITICAL CONTROL POINTS (ANÁLISE DE PERIGOS E CONTROLO DE PONTOS CRÍTICOS)**

O HACCP- (Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos) é um sistema preventivo de controlo de riscos de Segurança Alimentar usado pelas entidades do sector alimentar e afins (i.e. todas as empresas cujos produtos/actividades implicam o contacto com produtos alimentares), que é reconhecido internacionalmente, baseando-se numa abordagem sistemática e documentada.

#### **4.4.1 PRINCÍPIOS DO HACCP**

1. Análise de Perigos.
2. Identificação dos Pontos Críticos de Controlo – PCC.
3. Especificação dos limites críticos.

4. Definição do sistema de vigilância ou controlo.
5. Definição das Acções Correctivas.
6. Organização da documentação.
7. Verificação / revisão do sistema HACCP.

#### **4.4.2 HISTORIAL**

O sistema HACCP é um sistema que foi desenvolvido nos anos 60 nos EUA, em colaboração com os laboratórios do Exército dos Estados Unidos e a pedido da NASA (Agência Espacial Norte Americana).

Surgiu como resultado da identificação de intoxicações alimentares, nomeadamente como origem de doenças que poderiam afectar os astronautas no decurso de uma missão espacial, e que poderiam comprometer o sucesso da mesma.

Tal sistema foi, posteriormente publicado no *Codex Alimentarius* e foi também adoptado por empresas do sector farmacêutico.

Actualmente é obrigatório na União Europeia, no sector alimentar e, é mundialmente aplicado.

#### **4.4.3 LEGISLAÇÃO**

Em 1993, a União Europeia procedeu à harmonização das normas gerais aplicadas aos géneros alimentícios integrando os princípios do Sistema HACCP, através da adopção da Directiva nº 93/43/CEE, do Conselho, posteriormente revogada, obrigatória em todas as empresas que preparem, fabriquem, transformem, embalem, transportem, distribuam, manipulem ou vendam produtos alimentares.

O DL nº 67/98 de 18 de Março, entretanto revogado, pelo DL 113/2006 de 12 de Junho, transpôs para a legislação Portuguesa a Directiva nº 93/43/CEE, de 14 de Junho, obrigando

as empresas a laborarem em boas condições de higiene, que implicam a implementação de um sistema de Autocontrolo (Artigo 3º deste D.L.) que se assemelha à metodologia HACCP, embora menos abrangente.

Posteriormente foi publicado o DL n.º 113/2006 de 12 de Junho, que estabelece as regras de execução, na ordem jurídica nacional, do Regulamento (UE) n.º 852/2004, já referido anteriormente, relativo à higiene dos géneros alimentícios.

Têm vindo a ser publicadas diversas alterações à legislação anterior, como por exemplo, Regulamento (CE) n.º 2074/2005, Regulamento (CE) n.º 1019/2008 e DL n.º 223/2008, de 18 de Novembro.

Licenciamento de Estabelecimentos Alimentares e não Alimentares:

- DL n.º 259/2007 de 17 de Julho, estabelece o regime de declaração prévia a que está sujeita a instalação e a modificação dos estabelecimentos de comércio ou de armazenagem de produtos alimentares, bem como dos estabelecimentos de comércio de produtos não alimentares e de prestação de serviços cujo funcionamento pode envolver riscos para a saúde e segurança das pessoas;
- Portaria n.º 789/2007 de 23 de Julho – Fixa os requisitos específicos a que deve obedecer a instalação e funcionamento dos estabelecimentos comerciais e armazéns, previstos no DL 259/07 de 17 de Julho.

#### **4.4.4 VANTAGENS DO HACCP**

É essencial que todos os intervenientes na cadeia alimentar estejam cientes do seu papel em relação à protecção da saúde dos consumidores.

O sistema HACCP é, acima de tudo, uma ferramenta de gestão de segurança alimentar que possui um conjunto de benefícios associados, entre os quais:

- O aumento da segurança do consumidor decorrente da minimização da probabilidade de ocorrência de situações que possam pôr em causa a saúde pública;
- A redução de custos operacionais diminuindo a necessidade de destruição ou o reprocessamento, por razões de segurança, do produto final;
- O reforço da imagem da empresa junto dos clientes;
- O proporcionar uma evidência documentada do controlo dos processos no que se refere a segurança alimentar.

#### **4.4.5 TERMINOLOGIA**

##### **Perigo**

Qualquer propriedade ou agente microbiológico, químico ou físico, presente no alimento ou a condição em que este pode ocorrer, que pode causar um risco inaceitável para a saúde do consumidor (v. g.: gases de escape provenientes dos camiões de carga/descarga, água retida na cuba do condensador evaporativo).

##### **Critério**

Um requisito no qual pode ser baseado um julgamento ou decisão.

##### **Risco**

Grau de probabilidade de um dado perigo ocorrer.

##### **Ponto Crítico de Controlo (PCC)**

Ponto, procedimento, operação ou etapa no qual o controlo deve ser aplicado, sendo essencial para prevenir, reduzir a níveis aceitáveis ou eliminar um perigo, (v. g.: temperaturas nas câmaras, expedição, HR nas câmaras; tempo gasto em cargas/descargas/*piking* dos produtos; etc.).

##### **Limite Crítico**

Critério que deve ser definido para cada medida preventiva associada a cada PCC. Este valor indica-nos a aceitabilidade e a inaceitabilidade.

### **Acções Correctivas**

Acções a serem tomadas no caso dos resultados da vigilância dos PCC indicarem estar fora de controlo.

### **Vigilância**

Plano sequencial de observações e medidas que visam verificar se os PCC estão sob controlo.

## **4.4.6 IMPLEMENTAÇÃO DO HACCP**

### **4.4.6.1 Pré-requisitos**

Para a implementação de um sistema HACCP eficaz numa empresa é essencial que sejam assegurados alguns pré-requisitos:

- Formação dos colaboradores;
- Controlo de pragas;
- Procedimentos de higiene;
- Planos de limpeza e desinfeção;
- Controlo da potabilidade da água;
- Saúde do manipulador.

### **4.4.6.2 Nomear equipa do HACCP**

Esta equipa deve ser multidisciplinar, com elementos com formação em HACCP.

### **4.4.6.3 Descrever o produto e identificar o seu uso**

Quais as suas especificações, utilizações previstas e público-alvo.

#### 4.4.6.4 Construir o fluxograma

Elaborar fluxograma com a sequência de actividades e processos envolvidos.

Analisar os perigos potenciais (químicos, biológicos, físicos).

Identificar e listar perigos potenciais e especificar medidas preventivas para o seu controlo.

##### 4.4.6.4.1 Perigos Microbiológicos

**Bactérias:** *Listeria monocytogenes*; *Salmonella spp*; *Staphylococcus aureus*; *E. coli*.

**Toxinas:** toxina estafilocócica; micotoxinas.

**Vírus:** hepatite A.

##### 4.4.6.4.2 Perigos Físicos

- Vidro,
- Metal,
- Plástico,
- Tinta,
- Estuque,
- Jóias,
- Cabelos,
- Pêlos,
- Ossos,
- Espinhas,
- Pele,
- Carços,
- Sementes.

#### 4.4.6.4.3 Perigos Químicos

- Antibióticos,
- Resíduos de pesticidas,
- Agentes de limpeza e desinfeção, (nomeadamente hidróxido de sódio – NaOH - soda cáustica),
- Metais pesados,
- Óleos,
- Lubrificantes.

#### 4.4.6.5 Especificação dos Limites Críticos

Estabelecer os **Limites Críticos** que devem ser respeitados para garantir que cada Ponto Crítico esteja sob controlo. (temperaturas, tempo, pH, textura, cor...).

#### 4.4.6.6 Estabelecer medidas de controlo

Identificar os **Pontos Críticos de Controlo** (PCC), e respectivas operações de identificação de perigos para a segurança alimentar. Aplicação de controlos de prevenção, eliminação ou redução desses mesmos perigos.

#### 4.4.6.7 Definição do Sistema de Vigilância ou Controlo

Estabelecer um **Sistema de Vigilância** do controlo dos Pontos Críticos de Controlo, através de observações e/ou testes periódicos programados (**Inspeções Técnicas, Testes de Análise Microbiológica e de Avaliação, Análises**).

#### **4.4.6.8 Definição das Acções Correctivas**

Estabelecer as **Acções Correctivas** a serem tomadas quando se verificar que um Ponto Crítico se encontra fora de controlo, ou seja, quando um ou mais Limites Críticos se situam fora do domínio dos valores estipulados (**Acções Correctivas a Desvios de Critérios de Controlo**).

#### **4.4.6.9 Organização da documentação**

Organizar a documentação respeitante a todos os procedimentos e registos relativos a estes princípios e a sua aplicação (**Planos HACCP e Registos**).

#### **4.4.6.10 Verificação / Revisão do sistema HACCP**

Estabelecer os **Procedimentos de Verificação** que incluam ensaios suplementares apropriados e procedimentos que, em conjunto com uma revisão do plano **HACCP**, confirmem que o plano está a funcionar eficazmente (**Verificações e controlo permanente, Inspeções de Revisão, Auditorias**).

**5. ENQUADRAMENTO DO PROJECTO EM MATÉRIA AMBIENTAL, (NO QUE RESPEITA À UTILIZAÇÃO DO NH<sub>3</sub> E DO R 404A COMO FLUIDOS FRIGORIGÉNIOS)**

Neste projecto serão abordados dois fluidos frigoríficos, o R404A e o R717 (amoníaco - NH<sub>3</sub>), para uma análise comparativa.

O R404A e o R717 (amoníaco - NH<sub>3</sub>) são fluidos frigoríficos não abrangidos por legislação ambiental, pois não afectam a camada de Ozono – O<sub>3</sub>. Nenhum deles contém cloro nem bromo, pois o R404A é um HFC e o amoníaco um produto natural.

No entanto, os clorofluorocarbonatos CFC<sub>s</sub> estão sujeitos a legislação comunitária, Regulamento CE n.º 2037/2000 (relativo às substâncias que empobrecem a camada de Ozono) e o Regulamento (CE) n.º 842/2006 (relativo à redução de emissões de gases contendo flúor, segundo o Protocolo de Kyoto).

A análise do impacto ambiental dos fluidos frigoríficos deverá ser baseada no seu ODP e GWP.

Entende-se por ODP - OZONE DEPLETION POTENTIAL- o potencial de eliminação de iões de O<sub>3</sub>. A base é o índice 100 para o CFC, R<sub>12</sub> (Diclorodifluorometano).

O GWP - GLOBAL WARMING POTENTIAL- classifica o efeito de estufa, devido não só ao CO<sub>2</sub> mas, também, ao vapor de água e aos CFC.

**5.1 R404A**

O R404A é uma mistura azeotrópica de hidrofluorocarbonatos – HFC- constituída por:

R125 – Pentafluoroetano (CF<sub>3</sub>CHF<sub>2</sub>), 44%,

R134a – Tetrafluoroetano (CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F), 4%,

R143a – Trifluoroetano (CF<sub>3</sub>CH<sub>3</sub>), 52%.

Apresenta as seguintes características:

- O R404A possui uma variação de temperatura inferior a um grau ao longo dos processos isobáricos.
- Todos os componentes são do grupo do HFC.
- Os três componentes da mistura têm uma razão de pressão na compressão isentrópica relativamente baixa.
- O R143a é inflamável; no entanto, a presença do R125 numa percentagem elevada torna a mistura não inflamável mesmo em caso de fuga.
- Os compressores têm de utilizar óleos sintéticos do tipo *Ester*, para que seja miscível com o vapor de fluido frigorígeno em ebulição no interior do evaporador.
- É necessária a substituição integral de todo o fluído da instalação frigorífica caso se verifique uma fuga superior a 10% da quantidade total da instalação. Tratando-se de uma mistura azeotrópica, quando ocorre uma fuga vai sair do circuito o fluído frigorígeno que tiver maior pressão parcial. O remanescente já não é R404A, não sendo possível restabelecer as percentagens iniciais dos componentes.
- Ponto Crítico:
  - Temperatura = 72 °C
  - Pressão = 37,2 bar
  - Densidade = 0,484 kg/dm<sup>3</sup>
- Fase líquida, a 25 °C:
  - Densidade = 1,04 kg/dm<sup>3</sup>
  - Calor específico = 1,64 kJ/kg °C
- Fase gasosa, a 1,013 bar:
  - Temperatura de ebulição = - 46 °C
  - Ponto de ebulição = - 46,4 °C
  - Calor específico = 0,88kJ/kg °C
- Vapor saturado:
  - Densidade = 5,41kg/m<sup>3</sup>
- ODP = 0
- GWP = 0,0555

## 5.2 R717 (AMONÍACO - NH<sub>3</sub>)

O amoníaco é uma substância pura com as seguintes características:

- É gás a PTN (pressão e temperatura normal).
- Composto de uma parte de Nitrogénio e três de Hidrogénio, NH<sub>3</sub>.
- Solúvel na água (a 0°C, um litro de água admite mil litros de gás).
- Não destrói a camada de Ozono – O<sub>3</sub>.
- Forte odor acre característico, sendo de fácil detecção a sua presença.
- Não é miscível com o óleo mineral, logo terá dificuldade em arrastar o óleo dos evaporadores onde exista grande quantidade de vapor de fluido frigorigéneo.
- Densidade 0,59.
- Temperatura de ebulição -34°C.
- Temperatura crítica + 132°C.
- Pressão crítica 110 bar.
- ODP = 0
- GWP = 0
- Liquefaz-se com facilidade, a baixa pressão, quando se expande, passando do estado gasoso a líquido e produz um elevado decréscimo de temperatura, sendo por isso usado como fluido frigorigéneo.
- Utilizado como fluido frigorigéneo em grandes instalações industriais, quer em fase líquida, quer em fase gasosa.
- É incolor.
- Quando aquecido arde e pode ser explosivo a altas temperaturas.
- Em grandes concentrações é tóxico e inflamável o que requer especiais cuidados no projecto e construção de instalações frigoríficas.
- Na fase gasosa tem um peso específico de cerca de metade do valor do ar.
- 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 mas, torna a regulação da injeção de fluido problemática em pequenas instalações.

- Temperaturas de descarga elevadas, devido ao elevado índice adiabático (1,31), resultando a compressão com um andar, limitada na prática a temperaturas de evaporação superiores a  $-10^{\circ}\text{C}$ . Para temperaturas de evaporação mais baixas temos de utilizar a compressão em dois andares, que é o caso presente.
- O óleo não se mistura com o fluído, o que implica a utilização de dispositivos de separação por vezes complexos, limitando a sua utilização em expansão directa.
- É corrosivo em relação ao cobre. Toda a tubagem terá de ser em aço e não poderão ser utilizados compressores semiherméticos.

## **6. INTEGRAÇÃO DO ENTREPOSTO FRIGORÍFICO NA CADEIA DE FRIO.**

O entreposto frigorífico, como entidade com condições de temperatura e humidade relativa, adequadas é um elo fundamental da chamada Cadeia do Frio.

Entende-se por Cadeira de Frio, a manutenção das boas qualidades intrínsecas de todos os produtos alimentares perecíveis, desde a captura até ao consumidor ou transformação industrial, por meio de temperatura e humidade relativa específicas para cada tipo de produto, dentro de limites rígidos e sem quebras, além de atmosfera controlada, quando os produtos assim o exigirem, de modo a controlar o seu grau de maturação, como é o caso dos produtos hortícolas e frutícolas.

Os meios técnicos que constituem a Cadeia de Frio são:

- Entrepastos frigoríficos industriais na zona de produção.
- Embarcações de pesca.
- Lotas equipadas com câmaras frigoríficas.
- Veículos frigoríficos de transporte.
- Câmaras frigoríficas de distribuição.
- Câmaras e móveis frigoríficos de armazenagem retalhista.
- Frigoríficos domésticos no consumidor final.

A manutenção ininterrupta das condições específicas de temperatura e humidade relativa características de cada produto tem, também, por finalidade controlar/retardar reacções enzimáticas e evitar o desenvolvimento microbiano, que interfeririam nas qualidades organoléticas, nutricionais e de higiene dos produtos.

É necessário não esquecer que, antes da aplicabilidade da Cadeia de Frio, existem três condições essenciais à obtenção de produtos de qualidade junto do consumidor, denominado por Tripé Frigorífico (G. Santos) que são:

- Produtos sãos.
- Refrigeração precoce.
- Frio contínuo.

### **Produtos sãos**

Entende-se por produtos sãos, os que foram colhidos/capturados/abatidos no momento adequado, utilizando os meios e técnicas específicas a cada espécie, e sem indícios de alterações devidas a causa mecânicas, microbiológicas, física ou química.

### **Refrigeração precoce**

A fim de evitar transformações microbianas e biológicas, inibindo o seu desenvolvimento, deverá aplicar-se o frio o mais precocemente possível. O momento adequado para a sua aplicação é função do tipo de produto e do local de produção variando as condições de aplicabilidade do frio.

Este processo dever-se-à aplicar tanto a produtos refrigerados (-2 a 12°C) como congelados ( $\leq -18^\circ\text{C}$ ) (G. Santos).

Um factor necessário a ter em conta, são os custos da aplicabilidade do processo da refrigeração ou congelação precoce, de modo a não agravar o seu custo final.

### **Frio contínuo**

O frio contínuo é, nada mais do que, a não interrupção de qualquer elo da denominada Cadeia de Frio, desde o início da sua aplicação (início da cadeia) até ao consumidor (fim da cadeia), de modo a evitar quaisquer tipos de alterações qualitativas dos produtos.

Os meios intervenientes no frio contínuo são: os entrepostos frigoríficos, matadouros, centros de abate de aves, navios de pesca, estações hortofrutícolas, estações de tratamento de leite, grossistas, postos de venda, consumidores e veículos de transporte dos produtos entre cada um dos elos referidos.

### **Actividade do gelo (Ai)**

A actividade do gelo tem início quando o produto atinge a temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  e é inversamente proporcional ao abaixamento de temperatura de conservação.

Apresenta-se seguidamente uma relação entre as actividades da água e do gelo, com os fenómenos que delas advêm. (G. Santos).

<b>TEMPERATURA (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>ACTIVIDADE</b>
$< -18^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reacções enzimáticas quase nulas</li><li>• Regime de congelados</li><li>• Actividade do gelo em crescimento</li></ul>
$-18^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Actividade da água igual a zero (<math>A_w = 0</math>)</li></ul>
$-18^{\circ}\text{C} < t < 0^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Actividade da água superior a zero (<math>A_w &gt; 0</math>) a tender para zero</li></ul>
$> 0^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Actividade da água a crescer</li><li>• Desenvolvimento bacteriano</li></ul>
$0^{\circ}\text{C} < t < +13^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Regime de refrigerados</li></ul>
$+35^{\circ}\text{C} < t < +40^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reacções enzimáticas</li></ul>
$+55^{\circ}\text{C} < t < +90^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Destruição das enzimas</li></ul>
$> 100^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Processos de esterilização e de pasteurização</li></ul>

**6.1 PERÍODOS/TEMPERATURAS DE ARMAZENAGEM DE PRODUTOS ALIMENTARES PERECÍVEIS (G. SANTOS)**

Produtos	Tempo de conservação (meses)		
	-18°C	-25 °C	-30 °C
<b>Frutos</b>			
Pêssegos, alperces, cerejas (doces ou ácidas) em açúcar	12	18	24
Pêssegos em açúcar, com ácido ascórbico	18	24	> 24
Framboesas e morangos, sem açúcar	12	18	24
Framboesas e morangos, com açúcar	18	> 24	> 24
<b>Sumos de frutas</b>			
Concentrados de citrinos e outros frutos	24	> 24	> 24
<b>Legumes</b>	15	24	> 24
Espargos			
Feijões verdes	15	24	> 24
Feijões em grão	18	> 24	> 24
Brócolos	15	24	> 24
Couve-de-bruxelas	15	24	> 24
Cenouras	18	> 24	> 24
Couve-flor	18	24	> 24
Maçaroca	12	18	24
Ervilhas	18	> 24	> 24
Batatas fritas	24	> 24	> 24
Espinafres	18	> 24	> 24
<b>Carne e produtos carneos crus</b>	12	18	24
<b>Vaca</b> (carcaças)			
Lombo e bife embalados	12	18	24
Carne desmanhada embalada (não salgada)	10	> 12	> 12
<b>Vitela</b> (carcaças)	9	12	24
Lombo e costeletas	9	10-12	12
<b>Carneiro</b> (carcaças)	9	12	24
Lombo e costeletas	10	12	24
<b>Porco</b> (carcaças)	6	12	15
Lombo e costeletas	6	12	15
Salsichas	6	10	
<b>Toucinho</b> (bacon não fumado)	2-4	6	12
Banha	9	12	12
<b>Aves</b> (galinha e peru) evisceradas convenientemente embaladas	12	24	24

Galinha frita	6	9	12
Miudezas	4		
Gema de ovo	12	24	> 24
<b>Produtos do mar</b>	4	8	12
Peixes gordos			
Peixes magros	8	18	24
Peixes espalmados	10	24	> 24
Lavagante, Caranguejo	6	12	15
Camarão	6	12	12
Camarão embalado a vácuo	12	15	18
Amêijoas, ostras	4	10	12
<b>Produtos lácteos</b>	8	12	15
Manteiga (de natas pasteurizadas)			
Natas	6	12	18
Natas geladas	6	12	18
<b>Produtos de padaria e pastelaria</b>			
(Bolos, mousse chocolate, frutos, etc.)	12	24	> 24

## 7. BALANÇO TÉRMICO MANUAL E INFORMÁTICO - FUNDAMENTAÇÃO TERMODINÂMICA

### 7.1 BALANÇO MANUAL DE UMA CÂMARA DE CONSERVAÇÃO DE CONGELADOS

$Q_1$  – Entrada de calor diária através das superfícies da câmara frigorífica

$S$  – Área total

$$S = 50 \times 24 \times 2 + 50 \times 10,75 \times 2 + 24 \times 10,75 \times 2 = 2400 + 1075 + 516 = 3991 \text{ m}^2$$

$$Q_1 = 24 q S$$

$$Q_1 = 24 \times 28,8 \times 3991 = 2758,579 \text{ kJ/24 h}$$

$Q_2$  – Entrada de calor devido à renovação de ar

$$Q_2 = 2 \times 2 V (\theta_c - \theta)/24 \text{ h}$$

Tendo em atenção o tamanho da câmara, considerámos uma taxa de renovação diária de duas vezes o volume da câmara (Centauro).

A quantidade de calor por  $\text{m}^3$  de ar renovado será de **2 kJ/m<sup>3</sup> °C** (G. Santos).

$\theta_c$  – Temperatura exterior no cais; **15°C**

$\theta$  – Temperatura interior da câmara, **-25°C**

$V$  - Volume interior da câmara

$$V = 49,7 \times 23,7 \times 10,6 = 12485 \text{ m}^3$$

$$Q_2 = 2 \times 2 \times 12485 \times [15 - (-25)] = 2055,200 \text{ kJ/24 h}$$

$Q_3$  – Arrefecimento dos produtos.

Temperatura de entrada dos produtos **-18°C**.

Densidade de armazenagem **300 kg/m<sup>3</sup>** (G. Santos).

Capacidade  $0,3 \times 12\,485 = 3745,5 \cong$  **3750 t**

**m** – Considerou-se a entrada diária de produto, correspondente a 5% do volume interno da câmara frigorífica (**12 485 m<sup>3</sup>**).

$$12\,485 \times 0,05 = 624,25$$

$$m = 625 \times 0,3 = 187,25 \text{ t}$$

**625m<sup>3</sup> de produto correspondem a 187,25 t.**

Os cálculos foram realizados para um movimento de 12 camiões TIR por dia (6 por câmara ou 3 por plataforma de descarga).

**C<sub>p</sub> médio para congelados 2,1 kJ/kg °C**

$$Q_3 = m C_p \Delta\theta$$

$$Q_3 = 187\,200 \times 2,1 \times [-18 - (-25)] = 2\,751\,840 \text{ kJ/24 h}$$

$$P = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 2\,758\,579 + 2\,055\,200 + 2\,751\,840 = 756\,519 \text{ kJ/24 h}$$

$$Q_{\text{diário}} = 1,2 P = 1,2 \times 756\,519 = 9\,078\,242 \text{ kJ/24 h}$$

Considerou-se para iluminação, pessoal de estiva, empilhadores, ventiladores, descongelação e coeficiente de segurança, **20%** da carga térmica (G. Santos).

t - Tempo de funcionamento dos compressores/evaporadores, **16 h** (M. Guerra).

$$\dot{Q}_{projecto} = \frac{Q_{diário}}{t \times 3600}$$

$$\dot{Q}_{projecto} = \frac{9\,078\,742}{16 \times 3600} = 157,6 \text{ kW}$$

Considerou-se:

$$\dot{Q}_{projecto} = 160 \text{ kW}$$

Como o entreposto possui duas câmaras frigoríficas de iguais dimensões, a carga térmica total será de 320 kW.

$$\dot{Q}_{total} = 160 \times 2 = 320 \text{ kW}$$

## 7.2 FUNDAMENTOS TERMODINÂMICOS DO CICLO DE COMPRESSÃO DE UM ANDAR A R404A

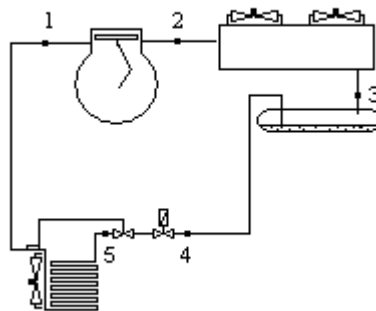


Figura 1 – Circuito da instalação frigorífica a R404A

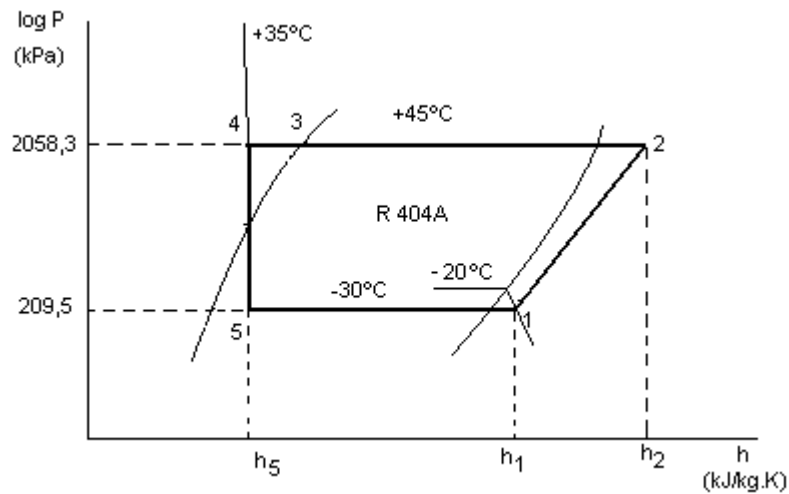


Figura 2 - Diagrama de Mollier ou entálpico da instalação frigorífica a R404A

A figura mostra o esquema frigorífico e o ciclo de refrigeração de um sistema de compressão de andar único a funcionar entre as temperaturas de  $-30^{\circ}\text{C}$  para a evaporação e de  $+45^{\circ}\text{C}$  para a condensação, considerando que os condensadores a ar devem funcionar com um acréscimo de  $15^{\circ}\text{C}$ , acima da temperatura de bolbo seco do ar. Admite-se um subarrefecimento de  $10^{\circ}\text{C}$  que se inicia no condensador, depósito de líquido e tubagem de alta pressão até à válvula de expansão.

O fluido frigorigéneo proveniente do depósito de líquido chega à válvula de expansão como líquido subarrefecido no estado **4**, sofre uma expansão isentálpica com queda de pressão e entra no evaporador no estado **5**, com um título de 0,3 a 0,4.

O fluído frigorigéneo evapora totalmente no evaporador, sofre um sobreaquecimento controlado pelo bolbo termoestático da válvula de expansão, é aspirado pelo compressor no estado 1 supondo um sobreaquecimento de  $10^{\circ}\text{C}$ , sendo comprimido em teoria segundo uma isentrópica até ao estado **2**.

No condensador dissipa-se, no início, calor sensível resultante da compressão seca e, de seguida, calor latente de condensação e sai do condensador no estado **3** ou ligeiramente subarrefecido.

O efeito refrigerante produzido no evaporador corresponde à diferença das entalpias entre o estado 1 e o estado 5,  $q_{ref} = (h_1 - h_5)$  e, o caudal mássico corresponde ao quociente entre a potência frigorífica absorvida pelo evaporador e o efeito refrigerante.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{q_{ref}}$$

A potência de compressão efectuada pelo compressor é obtida pela expressão:

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

O coeficiente de desempenho ou *performance* da instalação é obtido pela expressão:

$$COP_{ref} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_5)}{\dot{m}(h_2 - h_1)} = \frac{(h_1 - h_5)}{(h_2 - h_1)}$$

A partir das tabelas e diagrama de Mollier do R404A (*DuPont Refrigeration*), obtiveram-se os valores das entalpias e outras propriedades termodinâmicas, nos vértices do ciclo.

Estado	1	2	3	4	5
Pressão (k Pa)	209,5	2058,3	2058,3	2058,3	209,5
Entalpia (kJ/kg K)	358	412	273,2	254,8	254,8
Vol. Específico (m <sup>3</sup> /kg)	0,1	-	-	-	-

O efeito refrigerante deste ciclo será:

$$q_{ref} = (358 - 254,8) = 103,2 \text{ kJ/kg}$$

Como a potência frigorífica de cada câmara é  $\dot{Q}_{evap} = 160 \text{ kW}$ , o caudal mássico será:

$$\dot{m} = \frac{160}{103,2} = 1,55 \text{ kg/s}$$


---

O caudal volumétrico de cada par de compressores por câmara, considerando  $\dot{v} = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$ , será expresso por:

$$\dot{V} = \dot{m} \dot{v} = 1,55 \times 0,1 = 0,155 \text{ m}^3/\text{s} = 558 \text{ m}^3/\text{h}$$

O caudal volumétrico teórico de cada compressor é de  $279 \text{ m}^3/\text{h}$ .

A potência de compressão por câmara será:

$$\begin{aligned} \dot{W} &= \dot{m} (h_2 - h_1) \\ \dot{W} &= 1,55 (412 - 358) = 83,7 \text{ kW} \end{aligned}$$

### **7.3 FUNDAMENTOS TERMODINÂMICOS PARA UMA INSTALAÇÃO FRIGORÍFICA DE BOMBEAMENTO A $\text{NH}_3$ PARA CONGELADOS, DE DUPLA COMPRESSÃO, COM INJEÇÃO TOTAL**

No âmbito deste trabalho de projecto iremos dimensionar, a partir dos princípios da termodinâmica, a instalação frigorífica para as duas câmaras frigoríficas do entreposto com um volume unitário de  $12500 \text{ m}^3$  e uma potência frigorífica de  $160 \text{ kW}$ .

Conforme já referido, essa potência será absorvida por quatro evaporadores por câmara, com potências máximas unitárias de  $40 \text{ kW}$ . A instalação possui um sistema de compressão dupla com dois compressores na baixa pressão a operarem no regime ( $-30^\circ\text{C}/-5^\circ\text{C}$ ) e outros dois compressores na alta pressão, que operam no regime ( $-5^\circ\text{C}/+40^\circ\text{C}$ ).



O amoníaco entra no compressor do primeiro andar no estado 1 como vapor saturado, é comprimido até à pressão intermédia no estado 2 e liberta vapor sobreaquecido no depósito intermédio. Seguidamente, o fluido no estado de vapor saturado é aspirado pelo compressor do segundo andar no estado 3 e comprimido até à pressão de condensação, para o estado 4.

Seguidamente, o fluido entra no condensador no estado de vapor sobreaquecido, onde baixa a temperatura libertando calor sensível. Seguidamente, dá-se a condensação a cerca de +40°C com a libertação de calor latente. O processo continua com o subarrefecimento do amoníaco ainda dentro do condensador, prolongando-se pelo depósito de líquido e tubagem até uma temperatura próxima de +30°C. O líquido subarrefecido sofre uma expansão para o depósito intermédio com a consequente queda de pressão, formando-se uma mistura correspondente ao estado 7 que inicia o efeito refrigerante nesse depósito. O vapor saturado formado é aspirado pelos compressores de alta pressão.

Alguns do líquido no estado 8, a -5°C, vaporizam-se com o calor fornecido na descarga do compressor de baixa pressão no depósito intermédio. O líquido restante é lançado no separador de líquido através de outra válvula de expansão, dando origem a uma mistura de fluido com título, correspondente ao ponto 9. A partir deste separador, duas bombas (sendo uma de socorro) bombeiam o amoníaco líquido, a -30°C, até às válvulas de regulação de caudal de cada evaporador.

Finalmente, o amoníaco entra no evaporador, iniciando o processo de vaporização em vazio até atingir, à saída do evaporador, um título de 0,25 retirando calor da câmara frigorífica e retornando ao separador, sendo o vapor saturado formado aspirado pelo compressor de baixa pressão.

O cálculo das entalpias, admitindo que o caudal de NH<sub>3</sub> bombeado, é quatro vezes superior ao caudal obtido pelo efeito refrigerante, entre as curvas de saturação. (Stoecker, W.F.).

$$h_1 = 1422,8 \text{ kJ/kg K} \quad \text{e} \quad h_{10} = 63,56 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (\text{Tabelas SI do NH}_3)$$

$$h_{11} = h_{10} + 0,25 \times (h_1 - h_{10})$$

$$h_{11} = 63,56 + 0,25 \times (1422,8 - 63,56) = 403,4 \text{ kJ/kg K}$$

O efeito refrigerante será dado por:

$$\dot{Q} = \dot{m} (h_{11} - h_{10})$$

$$\dot{Q} = 320 \text{ kW}$$

e o caudal mássico  $\dot{m}$ , que circula no interior dos evaporadores das duas câmaras, impulsionado pelas bombas, será de:

$$320 = \dot{m} (403,4 - 63,56)$$

$$\dot{m} = 0,941 \text{ kg/s}$$

$$h_9 = 176,9 \text{ kJ/kg K}$$

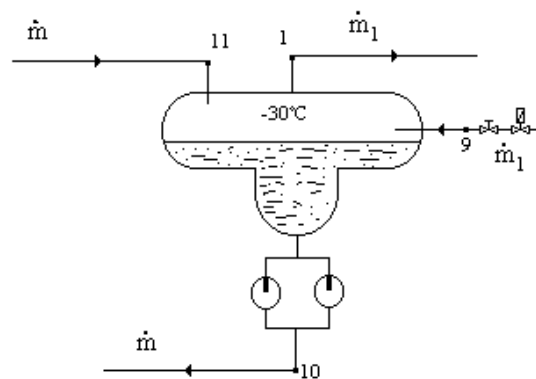


Figura 5 - Separador de líquido de baixa pressão

Realizando o balanço energético do separador de baixa pressão (figura 5), obtemos o caudal mássico  $\dot{m}_1$  dos compressores de baixa pressão:

$$\dot{m}_1 h_9 + \dot{m} h_{11} = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m} h_{10}$$

$$\dot{m}_1 (1422,8 - 176,9) = 0,941 \times (403,4 - 63,56)$$

$$\dot{m}_1 = 0,256 \text{ kg/s}$$

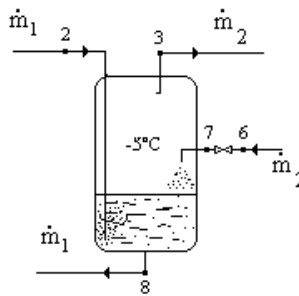
Este caudal mássico de 0,256 kg/s, aspirado pelos compressores de baixa pressão, corresponde aos 25% de vapor saturado produzido nos evaporadores, adicionado ao vapor produzido pela expansão do líquido à pressão de 355,7 kPa, para o separador de líquido proveniente do depósito intermédio.

O caudal volumétrico dos dois compressores de baixa pressão será:

$$\dot{V} = \dot{m}_1 v_1 = 0,256 \times 0,96 = 0,245 \text{ m}^3/\text{s} = 884,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

O que dá um caudal volumétrico por compressor no regime (-30°C/-5°C) de 442,35 m<sup>3</sup>/h.

O caudal mássico  $\dot{m}_2$  dos compressores de alta pressão poderá ser calculado a partir do balanço energético do depósito intermédio (Figura 6).



**Figura 6 - Depósito intermédio com injeção total**

$$h_2 = 1565 \text{ kJ/kg K (Diagr.Mollier)}$$

$$h_8 = 176,9 \text{ kJ/kg K (Tabela)}$$

$$h_3 = 1456,15 \text{ kJ/kg K (Tabela)}$$

$$h_7 = 341,7 \text{ kJ/kg K (Tabela)}$$

$$\dot{m}_1 h_2 + \dot{m}_2 h_7 = \dot{m}_1 h_8 + \dot{m}_2 h_3$$

$$0,256 \times 1565 + \dot{m}_2 \times 341,7 = 0,256 \times 176,9 + \dot{m}_2 \times 1456,15$$

$$\dot{m}_2 = 0,319 \text{ kg/s}$$


---

O caudal volumétrico dos dois compressores de alta pressão será:

$$\dot{V} = \dot{m}_2 v_3 = 0,319 \times 0,346 = 0,110 \text{ m}^3/\text{s} = 397,35 \text{ m}^3/\text{h}$$

O que nos dá um caudal volumétrico, por compressor, no regime (-5°C/+40°C) de 198,6 m<sup>3</sup>/h.

As potências de compressão serão:

$$h_4 = 1670 \text{ kJ/kg K (Diagr.Mollier)}$$

$$h_2 = 1565 \text{ kJ/kg K (Diagr.Mollier)}$$

$$\dot{W}_{12} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$$

$$\dot{W}_{34} = \dot{m}_2 (h_4 - h_3)$$

$$\dot{W}_{12} = 0,256 \times (1565 - 1422,8) = 36,4 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{34} = 0,319 \times (1670 - 1456,15) = 68,22 \text{ kW}$$

#### 7.4 BALANÇO INFORMÁTICO DA CÂMARA DE CONSERVAÇÃO DE CONGELADOS

Balanço energético realizado com o programa de cálculo de cargas da CENTAURO para uma câmara frigorífica com as dimensões de 50 x 24 x 10,6 m.

**Cálculo de Câmaras - 1 -**

nel seleccionado!

**TUNEIS**

Arrefecimento Rápido

Congelação Rápida

Vidragem

**CÂMARAS**

Conservação de Frescos

Conservação de Congelados

Cons.Cong.c/ent. prod.p/congelar

**TIPO DE CONSTRUÇÃO**

Const. Civil

Paineis

**TIPO DE TÚNEL**

Contínuo

Não Contínuo

Factor de Carga

**TIPO DE SERVIÇO**

Fraco

Normal

Forte

Muito Forte

- Câmara conservação produtos cong. p/stockagem longa duração

**TEMPERATURAS [ °C ]**

Tempª exterior uniforme

EXTERIOR PROJECTO	30
INTERIOR	-25
Máxima Entrada do Produto	-15
Média Produto fim de Ciclo	-25

Exposição solar

Parede Escura

Parede Meia Escura

Parede Clara

**SELECÇÃO**

DTm

DT1

**ISOLAMENTO**

Tipo uniforme

Espessura uniforme [mm]

Poliuretano - 40 Kg/m³

Poliestireno - 24 Kg/m³

Cortiça - 112 Kg/m³

**DIMENSÕES TOSCO [ m ]**

Comprimento	50
Largura	24
Altura	10,6

 OK

 STOP

**Cálculo de Câmaras - 2 -**

**Temperatura do Ar que se Introdúz na Câmara por Renovações e Abertura de Portas** 30°C/60%HR

**DENSIDADE DE CARGA**  
 200 Kg/m<sup>3</sup>  400 Kg/m<sup>3</sup>  
 250Kg/m<sup>3</sup>  450 Kg/m<sup>3</sup>  
 Outra 300 Kg/m<sup>3</sup>

**ENTRADA DIÁRIA [Kg]**  
 Standard (10% Capacidade Armazenagem)  
 Outra 187250

**PRODUTO**

CARNE  PEIXE  LACTICÍNIOS  
 LEGUMES  FRUTA  DIVERSOS

**PEIXE**  
 Crustáceos  Ovas  Peixe Seco  
 Marisco  Peixe Gordo  Pescada  
 Ostras  Peixe Magro  Polvo

Quant.a Congelar/Arrefecer p/Ciclo [Kg] 0  
 Duração do Ciclo [h] 0  
 Quantidade a Congelar [Kg] 0  
 N°. Renovações Automáticas 0  
 Tempo Funcionam°. Compressor [h] 16

Produto Embalado  
 Cartão  Madeira  Alumínio  Outra  
 % Embalagem Sobre Peso Total de Produto 10  
 Material da Embalagem Cartão  
 Calor Específico [kcal/Kg °C] 0

Uso de Máquinas/Extra

Potência [kW] 15  
 Utilização Diária [h] 4

**ESTIVA DO PRODUTO**  
 N°.Pessoas 2  
 Tempo p/ Pessoa [h] 4

**ILUMINAÇÃO**  
 10.8 <W/m<sup>2</sup> <16.2W/m<sup>2</sup> 16

OK STOP

**Cálculo de Câmaras - 3 -**

**BALANÇO PROVISÓRIO**

121,1 kW  
104 147 kcal/h

**DESCONGELAÇÃO**

Circulação ar     Água  
 Eléctrica     Gás quente

**ESPAÇAMENTO DE ALHETAS [ mm ]** 7.0

Selecção Cruzada

**DTm**

4     5     6     7     8     9     10

**GÁS**

R22     R134a     R404A

**GAMA**

DD  
DDC  
CB-10  
CB-400

Quantidade de Evaporadores	4
Descongelação Diária [h]	3
Funcionamento Diário Motores Eléctricos [h]	16
Margem de segurança [%]	15

 **OK**

Fim Prog.





**Cálculo de Câmaras - Relatório**

Estudo nº. 1      Cliente isel      Referência congelados

PERDAS (P) / CARGAS TÉRMICAS (C.T.)	[ W ]	Balanco Total
- P.Isolamento	631485	28,9%
- P.Abertura e Renovação	49207	2,3%
- C.T.-Produto	744139	34,1%
- C.T.-Respiração	0	0
- C.T.-Embalagem	0	0
- C.T.-Pessoal Estiva	3357	,15%
- C.T.-Máquinas/Extra	69720	3,2%
- C.T.-Iluminação	75334	3,4%
- C.T.-Motoventiladores	330015	15,1%
- C.T.-Resistências	280609	12,8%
<b>- CARGA TÉRMICA TOTAL</b>	<b>2183868</b>	

MODELO	DDC/E - 8375	Quant.	4	Tse BS [°C]	-25
FACTOR C.P.	9 225	Capacidade p/Unidade	DT [°C]	[ W ]	Volume Int. [m³]
Nominal	10	78740			12132,4
Pretendido	6	35394,7			Área Interior [m²]
<b>DT(corrigido) no regime</b>	<b>6,85</b>	<b>(Sel. DT1)</b>			1177,9

**BALANÇO TÉRMICO** 156965 W       Visualiza       Imprime

R1:	12,94	W / m²
R2:	133,3	W / m²
R3:	15,2	m³/h / m²
R4:	,41	m² / TON
R5:	,85	W / m³/h

**Volume Interior superior a 4000 m³! Não é possível apresentar gráfico para esta solução!**

A carga térmica máxima neste cálculo é de 156,9 kW. Considerámos, na selecção dos equipamentos, o valor de 160 kW obtido no balanço manual por câmara frigorífica.

## **8. CÁLCULOS DO PROJECTO E EQUILÍBRIO DOS EQUIPAMENTOS FRIGORÍFICOS**

### **8.1 ISOLAMENTO TÉRMICO DAS CÂMARAS E PORTAS**

#### **Dimensionamento da espessura**

A expressão que permite o cálculo da espessura é a seguinte:

$$e = \frac{\lambda}{q} \Delta\theta$$

Sendo:

**e** – espessura do isolamento - m

**$\lambda$**  – Coeficiente de condutividade térmica - W/m K

**q** – Fluxo unitário admissível – W/m<sup>2</sup>

**$\Delta\theta$**  – Diferencial térmico

$$\theta_{\text{ext}} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{\text{int}} = -25^{\circ}\text{C}$$

**$\lambda$**  poliuretano – 0,022 W/m K (A.S.H.R.A.E.)

**q** – 8 W/m<sup>2</sup> ou 28,8 kJ/h (Recomendação nº 8 do INF)

$$\Delta\theta = \theta_{\text{ext}} - \theta_{\text{int}} = 30 - (-25) = 55^{\circ}\text{C}$$

$$e = \frac{0,022}{8} \times 55 = 0,151 \text{ m}$$

Espessura do isolamento dos painéis isotérmicos **150 mm.**

### 8.1.1 CONCEPÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO DAS CÂMARAS DE CONSERVAÇÃO DE CONGELADOS

O isolamento térmico das paredes e tecto das câmaras de conservação de congelados será realizado com painéis isotérmicos do tipo *sandwich*, com isolamento interior em poliuretano injectado com peso específico de  $35 \text{ kg/m}^3$ . O seu processo de enchimento deverá ser cuidadosamente controlado, de modo a evitar a formação de bolhas de gás de grandes dimensões (*chochos*) que alterariam as características térmicas da espuma de poliuretano.

Os painéis serão fabricados em chapa de aço galvanizado, com a espessura mínima de 0,8 mm, lacados no interior e exterior, com espessura total de 150 mm, de modo a obter-se um fluxo máximo de  $8 \text{ W/m}^2$ .

Os painéis do tecto, serão suspensos nas asnas das câmaras e, os das paredes, serão ajustados às colunas em aço que sustentam as asnas.

O revestimento exterior dos painéis deverá estar preparado para resistir às intempéries, pois não existem paredes de protecção.

Com o fim de evitar possíveis danos nos painéis (resultantes de eventuais sobrepressões, decorrentes das descongelações nos evaporadores, com a conseqüente libertação de ar quente) serão montadas, nas paredes de cada câmara, quatro válvulas de estabilização de pressão, colocadas nas paredes opostas aos evaporadores.

O pavimento das câmaras será isolado com 200 mm de ANC (Aglomerado Negro de cortiça), com placas colocadas em duas camadas, com as juntas desencontradas. Na face quente do isolamento será colocada uma barreira ao vapor, com o mínimo de  $3 \text{ kg/m}^2$  de “*vapor barrier*”, dada à trincha ou com rolo, em duas demãos cruzadas.

Para evitar penetração de água no ANC (proveniente do vazamento da placa de betão armado, com malha de aço de 150 mm de espessura) as placas de ANC serão cobertas na

face fria com uma folha de polietileno permeável ao vapor (espessura inferior a 0,5 mm) mas impermeável à água.

De modo a prevenir a congelação do pavimento, deverá ser construído um vazio sanitário, formado por tubos de poliéster de 125 mm (5”) separados de 1 m.

Devido às grandes dimensões das câmaras, será montado, em cada uma, um ventilador centrífugo ligado ao sistema de tubos (do vazio sanitário), que irá forçar a circulação de ar exterior a temperatura positiva, através da tubagem, contrariando, assim, o fluxo térmico que iria congelar o pavimento, provocando a sua inevitável deterioração.

### **8.1.2 DIMENSIONAMENTO E CARACTERÍSTICAS DAS PORTAS**

Cada câmara terá montada uma porta do tipo deslizante com 150 mm de espessura, constituídas por duas folhas isoladas a poliuretano rígido, com as dimensões mínimas de 240 x 280 mm, forradas a chapa de aço galvanizado ou resina *epoxy* e funcionamento automático.

Para evitar a colagem da borracha da porta, o aro será aquecido por resistências eléctricas alimentadas por circuito de 24 V.

Sob o pavimento, na soleira da porta com uma área de 240 x 200 mm, serão colocadas resistências eléctricas para evitar a formação de placas de gelo que provocariam a derrapagem dos empilhadores.

As portas das câmaras estarão equipadas com cortinas de ar forçado de modo a evitar a saída de ar frio/entrada de ar quente.

Junto das portas do lado exterior de cada câmara serão colocados termómetros registadores que permitirão a leitura diária das variações de temperatura na câmara.

As portas são munidas de abertura manual no interior das câmaras e, no exterior, possui uma luz encarnada sinalizadora assim como um sinal sonoro que poderá ser accionado no interior das câmaras em caso de emergência.

## **8.2 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS DE PRODUÇÃO DE FRIO, CONTROLO E PROTECÇÃO**

### **8.2.1 CÂMARAS DE CONSERVAÇÃO DE CONGELADOS COM INSTALAÇÃO FRIGORÍFICA DE EXPANSÃO DIRECTA A R404 A COM UM ANDAR DE COMPRESSÃO**

Uma das soluções possíveis será uma instalação em que o fluido frigorigénio a utilizar será o R404A, com alimentação dos evaporadores das câmaras por expansão directa.

Tendo em conta que o balanço térmico de cada câmara é de 160 kW, proponho uma instalação com quatro evaporadores em expansão directa, com a potência unitária de 40 kW.

Os circuitos frigoríficos serão completamente independentes por câmara e constituídos por dois compressores em parafuso, montados em paralelo, cada um deles, em equilíbrio com dois evaporadores.

A condensação do fluido frigorigénio e a respectiva dissipação de calor, realizar-se-á num condensador de duplo circuito arrefecido a ar, que permitirá baixar a temperatura de condensação para valores máximos na ordem dos 45 a 50°C.

O depósito de líquido frigorigénio, instalado a seguir ao condensador, será comum aos dois compressores. Desta solução resultará a redundância da instalação frigorífica, que poderá operar em equilíbrio de equipamentos, com metade da potência. Em caso de avaria de um dos compressores a instalação continua em funcionamento.

### 8.2.1.1 Compressores

Cada uma das câmaras de conservação de congelados terá dois compressores do tipo semihermético de duplo parafuso, da marca BITZER, modelo HSN 8571-125-40P, com uma potência frigorífica de 85,8 kW no regime (-30°C/+45°C), uma potência absorvida ao veio de 80,9 kW e motor eléctrico de 125 kW. O volume aspirado de cada compressor será de 345,4 m<sup>3</sup>/h.

Cada compressor terá as seguintes protecções e controlos de:

- Pressostato de baixa pressão.
- Pressostato de alta pressão.
- Pressostato diferencial de óleo.
- Separador de óleo de grande capacidade, com válvula solenoide e termóstato de temperatura de óleo.
- Condensador a ar para arrefecimento do óleo antes de ser lançado no cárter.
- Válvula de retenção na descarga do separador de óleo e válvulas de passagem na sucção e descarga.
- Manómetros de aspiração, descarga e pressão de óleo.

### 8.2.1.2 Evaporadores

Cada câmara terá quatro evaporadores de expansão directa, da marca CENTAURO, modelo DDC/E, com 40 kW de potência, para um  $\Delta t_m = 4,7^\circ\text{C}$  (diferença média aritmética de temperatura), com quatro ventiladores helicoidais de 600 mm de diâmetro, com motores eléctricos de uma velocidade, e um débito de ar de 46 000 m<sup>3</sup>/h.

A projecção do ar atinge 30 m chegando, assim, à parede oposta, que se situa a 24 m (largura da câmara).

O funcionamento dos evaporadores em regime será comandado por termóstatos de serviço (tipo RT) (DANFOSS), com bolbo, localizado no interior das câmaras, junto da aspiração dos evaporadores.

Durante a abertura das portas será interrompido o funcionamento dos ventiladores dos evaporadores.

### **Descongelação**

O sistema de descongelação será por resistências eléctricas, estando o evaporador equipado de fábrica, com resistências eléctricas do tipo tubular, inseridas entre as filas de serpentinas, atravessando todas as alhetas da bateria, com potência suficiente para descongelarem o evaporador num período de 20 a 30 minutos.

O início do período de descongelação poderia ser comando por um fluxostato de ar. No entanto, nesta instalação serão utilizados relógios de descongelação, programados para iniciar esse processo.

Quando se inicia o processo de descongelação, o programador fecha a electroválvula a montante da válvula de expansão termostática e param os ventiladores do evaporador.

A instalação frigorífica irá parar quando actuar o pressostato de baixa pressão. Seguidamente, são ligadas as resistências, que funcionam cerca de 20 a 30 minutos, atingindo a bateria, uma temperatura na ordem dos +20°C. As placas de gelo soltam-se e caem no tabuleiro do evaporador também aquecido, saindo a água resultante da fusão por um tubo de drenagem. Esse tubo atravessa a parede isolada da câmara frigorífica e, no exterior, deve ser previsto um sifão onde se acumula água, impedindo a saída de ar frio ou a entrada de ar quente.

Após esse intervalo de descongelação e já com o evaporador limpo, reinicia-se o processo de refrigeração, começando pela abertura da válvula eléctrica e arranque do compressor. Começa a expansão do fluido frigorígeno, a bateria arrefece mas, os

ventiladores continuam parados e, só iniciam o movimento quando um termóstato de contacto, regulado para uma temperatura próxima do valor de regime, permitir esse arranque.

Este desfasamento, entre o início do processo de refrigeração e o arranque dos ventiladores, é necessário para evitar que grandes quantidades de ar quente possam ser insuflados na câmara frigorífica, originando subidas repentinas de pressão, que poderão provocar levantamento de tectos suspensos, ou até danificar portas e respectivas dobradiças e fechos.

A tubagem de recolha da água proveniente da descongelação será aquecida por meio de resistências eléctricas em fita, enrolada nos tubos. Estas resistências estarão permanentemente sob tensão.

### **8.2.1.3 Tubagem**

Toda a tubagem deverá ser em tubo de cobre electrolítico e desidratado assim como todas as soldaduras de pressão efectuadas a solda de cobre fosforoso.

Todas as válvulas a utilizar serão do tipo de soldar, de calibre semelhante à tubagem em que serão montadas. Dever-se-à prever-se que, todas as electroválvulas estejam munidas de filtro de malha de aço inoxidável.

As linhas de retorno deverão ser isoladas com mangas de cloreto de polivinilo, com uma espessura de 30 mm e barreira ao vapor incorporada.

Na execução do isolamento da tubagem deverão ser seguidos os seguintes procedimentos:

- Introdução e colagem das mangas de cloreto de polivinilo.
- Reforço da colagem do isolamento com cinta plástica.
- Acabamento final com pintura na cor normalizada (amarelo torrado).

### 8.2.1.3.1 Cálculo de diâmetros

Para o dimensionamento dos diâmetros dos tubos foram utilizados os ábacos de velocidade e perdas de carga da *DuPont Suva 404A Refrigeration*.

Os valores máximos admissíveis de velocidade e perdas de carga globais para o R 404A encontram-se na tabela seguinte (UC Refrigeração)

#### Valores Máximos de Perdas de Carga e Velocidades na Tubagem

Valores máximos admissíveis (R<sub>404A</sub>)

Tubagem de líquido - 0,320 bar

Tubagem de descarga – 0,180 bar

Tubagem de aspiração :

Temperatura de Evaporação	Valor (bar)
+10°C a -10°C	0,150
-10°C a -20°C	0,110
-20°C a -40°C	0,040 a 0,080

Perdas de carga máximas por metro linear

Tubagem de líquido - 0,0025 bar/m (0,25 kPa/m)

Tubagem de descarga – 0,0020 bar/m (0,2 kPa/m)

Tubagem de aspiração – 0,0005 bar/m (0,05kPa/m) a -40°C  
0,001 bar/m (0,1 kPa/m ) a -20°C  
0,0015 bar/m (0,15 kPa/m) a -10°C

Tubagem	Velocidade (m/s)
Linha de aspiração	10 – 12
Linha de descarga	8 -10
Linha de líquido	0,5 -1

#### Linha de aspiração de dois evaporadores

A potência frigorífica de dois evaporadores é de 80 kW. Considerámos a velocidade de retorno do vapor sobreaquecido de 10 m/s.

Da consulta do ábaco das velocidades da *DuPont* para um regime de funcionamento de  $-30^{\circ}\text{C}/+45^{\circ}\text{C}$ , obtivemos um diâmetro externo de  $4\ 1/8''$  (105 mm).

A partir do ábaco das perdas de carga da *DuPont*, para esse diâmetro de  $4\ 1/8''$  encontrámos uma perda de carga de 0,06 kPa/m inferior ao valor da tabela de 0,075 kPa/m para  $-30^{\circ}\text{C}$ .

O comprimento equivalente máximo desta linha de aspiração será de 50 metros. A perda de carga total será de  $50 \times 0,06 = 3$  kPa ou 0,03 bar, inferior ao valor de 0,04 bar da tabela da UC de Refrigeração.

A linha de aspiração de cada evaporador obtém-se dividindo por dois a área da secção do tubo de 105 mm de diâmetro.

$$\text{Área} = 3,14 \times 52,5^2 = 8650 \text{ mm}^2 \qquad 8650 : 2 = 4325 \text{ mm}^2$$

$$4325 = 3,14 r^2 \qquad r = 37 \text{ mm} \qquad \text{diâmetro externo} = 74 \text{ mm} \qquad \text{ou} \qquad 3\ 1/8''$$

Este também será o diâmetro de aspiração de cada compressor de parafuso.

#### Linha de descarga de cada compressor

Cada compressor terá uma potência frigorífica de 40 kW no regime de  $-30^{\circ}\text{C}/+45^{\circ}\text{C}$ . Após consulta dos ábacos da *DuPont* e seguindo metodologia idêntica à exposta atrás para uma velocidade do vapor sobreaquecido de 8 m/s encontrámos, para o diâmetro externo desta tubagem, o valor de  $1\ 5/8''$  (40 mm).

#### Linha de líquido depósito líquido /evaporadores

A potência total desta instalação frigorífica é de 160 kW. Considerámos uma velocidade de 1 m/s. A partir dos ábacos encontrámos o diâmetro externo de  $1\ 3/8''$  (33 mm) para a linha que sai do depósito de líquido até ao primeiro evaporador. O diâmetro da linha de líquido para cada evaporador será de  $3/4''$  (19mm).

#### **8.2.1.4 Depósito de líquido**

Será montado um reservatório, na posição horizontal, construído em chapa de aço ST35, modelo FS 4002, da Bitzer, com um volume de 395 dm<sup>3</sup>, capaz de reter a totalidade do fluido frigorígeno do circuito frigorífico, equipado com um sistema automático de purga de ar e válvulas de segurança.

#### **8.2.1.5 Condensador a ar**

Será instalado um condensador - da marca CENTAURO, modelo VAC/S 40505 - com ventiladores axiais, construído em chapa de aço galvanizado, tubo de cobre e alhetas de alumínio, com dois circuitos distintos, cada um deles, com capacidade de dissipação de calor de 150 kW. A capacidade total será de 300 kW, para uma temperatura de condensação de +45°C.

A sua área de permuta será de 1 410 m<sup>2</sup>, e o débito de ar de 85 000 m<sup>3</sup>/h.

O condensador estará equipado com pressostatos de baixa pressão para regular o débito de ar dos ventiladores e, não deixar que a pressão de condensação desça abaixo de um valor que permita uma correcta expansão do R 404A, nas válvulas termostáticas.

#### **8.2.1.6 Automatismos**

A instalação será dotada de equipamento necessário para atingir os seguintes níveis de automatismo:

- Manutenção automática da temperatura das câmaras frigoríficas dentro dos parâmetros previstos.
- Arranque e paragem automática dos compressores e ventiladores.
- Regulação automática de capacidade dos compressores e ventiladores.

A instalação frigorífica será construída para se colocar em marcha automaticamente após corte fortuito de corrente, por sistema computadorizado.

#### **8.2.1.7 Quadro eléctrico**

O quadro eléctrico terá por finalidade o comando, protecção e controlo de todos os equipamentos eléctricos da instalação.

O quadro eléctrico será do tipo armário, construído em chapa de aço quinada, com tratamento contra a corrosão e acabamento com tinta de esmalte.

O painel sinóptico terá o esquema simplificado da instalação, onde estarão indicadas as operações das principais válvulas, o funcionamento dos compressores e avarias, ventiladores dos evaporadores e condensadores, abertura das portas e indicação do correcto funcionamento dos compressores.

As ligações eléctricas serão realizadas por barramento de distribuição e por condutores de cobre isolados e montados em calhas apropriadas.

### **8.2.2 SOLUÇÃO PARA INSTALAÇÃO FRIGORÍFICA COM ALIMENTAÇÃO DOS EVAPORADORES POR BOMBEAMENTO DE AMONÍACO EM SISTEMA INUNDADO COM DOIS ANDARES DE COMPRESSÃO.**

#### **8.2.2.1 Compressores**

Os compressores serão accionados através de transmissão por correias, por motores eléctricos com a potência nominal em equilíbrio com a potência absorvida ao veio, com arranque Estrela - Triângulo e velocidade de rotação de 1500 r.p.m.

Na baixa pressão serão montados dois compressores abertos de pistão em paralelo, unidos ao mesmo colectador de aspiração, da marca GRASSO modelo 810 com a potência

frigorífica unitária de 170,8 kW no regime (-30°C/-5°C), uma potência absorvida ao veio de 30,5 kW e um volume aspirado de 581,6 m<sup>3</sup>/h. O motor eléctrico terá uma potência de 45 kW.

A alta pressão possui dois compressores abertos de pistão em paralelo, unidos ao mesmo colector de aspiração, da marca GRASSO modelo 410, com a potência frigorífica unitária aproximada de 189,7 kW no regime (-5°C/+40°C), uma potência absorvida de 49,5 kW e um volume aspirado de 290,8 m<sup>3</sup>/h. O motor eléctrico terá uma potência de 75 kW.

Serão equipados com órgãos de segurança e controlo que se passa a especificar:

- Pressostatos de segurança de baixa pressão.
- Pressostatos de segurança de alta pressão.
- Pressostato de zona neutra, de comando do compressor.
- Sistema electrónico de segurança contra altas temperaturas na compressão, mediante sondas aplicadas nas cabeças.
- Pressostatos de segurança do óleo de lubrificação.
- Resistência de aquecimento do cárter de 200 W, a 220 V, quando o compressor pára, a resistência é ligada.

Os compressores de 8 cilindros (baixa pressão), com arranque mecânico em vazio, possuirão um sistema de regulação de potência em quatro escalões (25, 50, 75, e 100%), e os compressores de 4 cilindros (alta pressão), apenas dois escalões (50 e 100%).

O sistema de regulação será realizado em marcha automática através de electroválvulas montadas nas cabeças, de acordo com o pressostato de baixa pressão para paragem ou arranque do compressor.

### 8.2.2.2 Câmaras de conservação de congelados

Cada câmara possuirá 4 evaporadores, dispostos ao longo dos painéis laterais, sendo montados na estrutura de suporte dos tectos das câmaras, com ventiladores aspirando ar através da bateria alhetada.

Serão todos do mesmo tipo, em tubo de aço sem costura e alhetas de aço com espaçamento de 8 mm, da marca HELPMAN, modelo ZLA, com a potência de 40 kW para um  $\Delta\theta$  entre a temperatura do ar à entrada e a temperatura de vaporização de 6°C, com 3 ventiladores helicoidais que debitam um caudal volumétrico de 34900 m<sup>3</sup>/h, com um raio de projecção de ar de 36 m. O volume interno de cada evaporador é de 100 dm<sup>3</sup>.

As áreas de permuta e os caudais de ar foram dimensionados de modo a obter correctas condições de temperatura (-25°C) e higrometria (90%) para evitar zonas de ar parado e de microclimas.

O funcionamento dos evaporadores em regime inundado é comandado por termóstato de serviço (tipo RT), com bolbo localizado na câmara junto da aspiração dos evaporadores.

Nas câmaras, durante as aberturas de portas, será interrompido o funcionamento dos ventiladores dos evaporadores, por electroválvulas.

A tubagem de recolha da água de descongelação é aquecida por meio de resistências eléctricas, em fita enrolada nos tubos. Estas resistências estarão continuamente sob tensão. A operação de descongelação dos evaporadores destas câmaras será efectuada por gás quente no tabuleiro e bloco de serpentinas.

Tem-se ainda a considerar nestas câmaras, os órgãos de corte e de comando eléctrico por evaporador, que a seguir se especifica:

- Uma electroválvula EVRA 20, por cada evaporador para admissão de NH<sub>3</sub> líquido.
- Uma electroválvula EVSA 25, por cada evaporador para saída de NH<sub>3</sub>.

- Uma electroválvula EVRA 20, por cada evaporador, para admissão de gás quente para a descongelação do tabuleiro e bloco de serpentinas.
- Uma válvula de retenção NRVA 20 na linha de líquido.
- Uma válvula de retenção NRVA 20 na linha de gás quente.
- Uma válvula reguladora de pressão PM 1 + CVC (piloto).
- Um termóstato de câmara RT 9, que:
  - Em caso de temperatura alta, arranca os ventiladores dos evaporadores e abre as electroválvulas de admissão e saída do amoníaco.
  - Em caso de temperatura baixa, pára os ventiladores dos evaporadores e fecha a electroválvula de admissão do amoníaco.

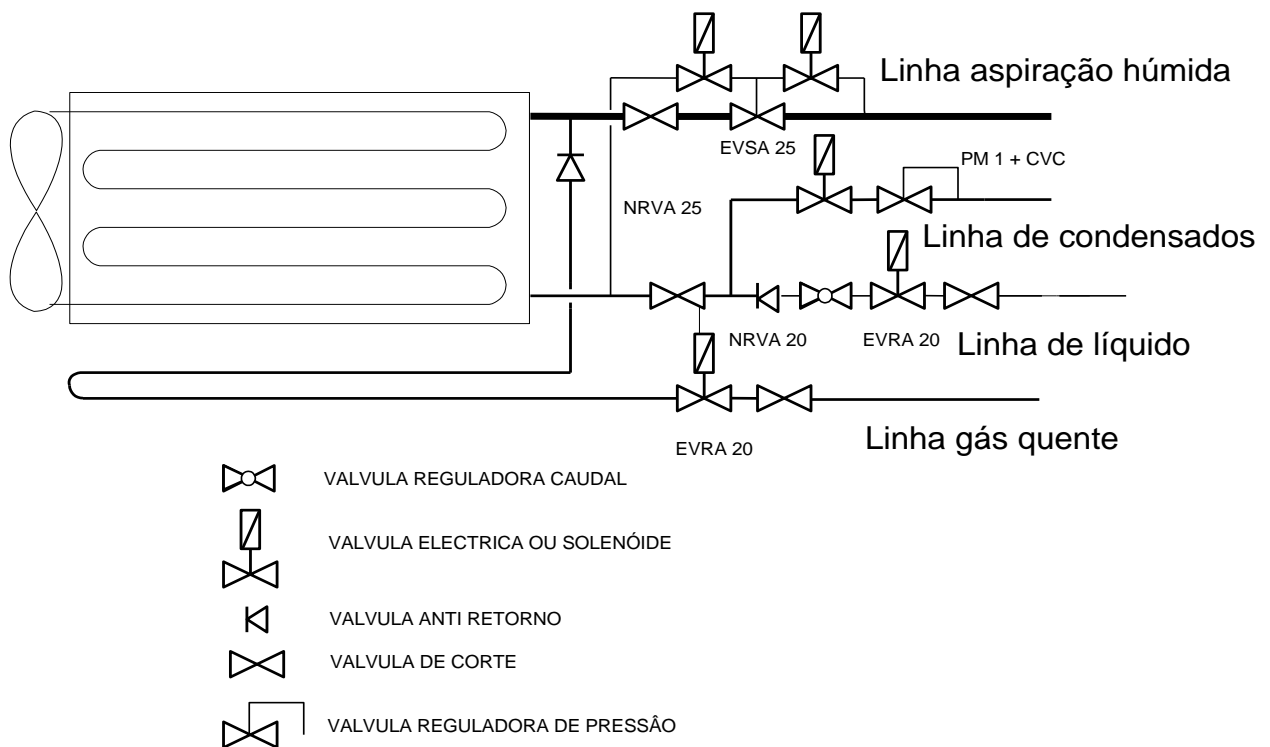


Figura 7 - Estação de válvulas de um evaporador

### 8.2.2.3 Descongelção por gás quente

Tendo em atenção o princípio base de que para assegurar um caudal de gás quente suficiente que permita a eficiente descongelção de  $1 \text{ m}^2$  de superfície, deveremos ter pelo menos  $3 \text{ m}^2$  a fazer frio (M. Guerra). Em marcha automática, consideramos o seguinte:

- Só descongela um evaporador de cada vez em cada câmara frigorífica.
- Quando estiver um evaporador a descongelar, mantêm-se a funcionar os outros três evaporadores da câmara, mesmo que a temperatura detectada pelos respectivos termóstatos da câmara não o justifique.

Utilizamos para este efeito um relógio de descongelação "*Defrost Timer*" que nos indica a altura de fazer a descongelação (de 8 em 8 horas nas câmaras). Utilizamos também um termóstato fim de descongelação que está ligado ao evaporador. Quando a temperatura da serpentina atinge os +15°C a +20°C, a descongelação está terminada e o termóstato fim de descongelação faz com que o ciclo de descongelação termine.

O "*Defrost Timer*" provoca o fecho da electroválvula da linha de líquido, mantendo-se a aspiração e os ventiladores em funcionamento. Passados três ou quatro minutos os ventiladores param e fecha-se a electroválvula da aspiração, abrindo-se a electroválvula do gás quente e a resistência eléctrica do esgoto (resistência que acompanha o esgoto até ele sair da câmara (enrolada à volta do tubo). A tubagem do gás quente passa primeiro pelo tabuleiro, descongelando-o e só depois é que faz a sua entrada na zona de aspiração do evaporador.

O gás quente percorre a serpentina do evaporador, descongelando-o. Ao sair pela linha de líquido, vê-se obrigado a seguir o caminho da linha de retorno de condensados por encontrar uma válvula anti-retorno pela frente.

Na linha de condensados existe uma válvula de controlo de pressão que deixa passar o fluído resultante da descongelação a jusante com uma pressão mais baixa para o separador. Essa válvula permite-nos aumentar a pressão de descongelação do evaporador e, quando em ciclo normal, não deixa que nenhum líquido se escape por aquela linha.

Terminada a descongelação, a electroválvula de gás quente fecha, abrindo-se a electroválvula da aspiração para baixar a pressão no evaporador.

Passado algum tempo abre a electroválvula da linha de líquido.

Só quando as serpentinas atingirem uma temperatura perto da normal de funcionamento é que os ventiladores se põem em marcha.

### **Resumo da sequência de descongelação em cada evaporador**

“*Defrost Timer*” ou relógio no intervalo da descongelação.

- 1 - Fecho das electroválvulas de admissão e saída de NH<sub>3</sub>.
- 2 - Ventiladores parados e fecho de registos no evaporador.
- 3 - Entrada em funcionamento das resistências eléctricas de esgoto.
- 4 - Abertura da electroválvula de admissão de gás quente.

Período de descongelação terminado.

- 1 - Fecho da electroválvula de admissão de gás quente.
- 2 - Saída de serviço das resistências de esgoto.
- 3 - Abertura das electroválvulas de admissão e saída de NH<sub>3</sub>.
- 4 - Arranque dos ventiladores do evaporador após temporização regulável de 0 a 3 minutos.
- 5 - Os restantes evaporadores passam a operar em regime normal.

Como já foi referido, nas câmaras serão montadas válvulas FERMOD, de segurança contra a subida excessiva de pressão que poderá ocorrer no interior da câmara durante a descongelação. Cada válvula está equipada com resistência anti-gelo, com termóstato incorporado.

#### **8.2.2.4 Separador de líquido de baixa pressão**

A partir do volume total aspirado pelos dois compressores da baixa pressão  $2 \times 581,6 = 1163,2 \text{ m}^3/\text{h}$  foi seleccionado um separador de líquido para circulação forçada por bomba da marca CENTAURO, modelo SBC 13/4700, com um diâmetro de virola de 1300 mm,

um comprimento total de 4100 mm e um volume de 6175 dm<sup>3</sup> permitindo uma carga de NH<sub>3</sub> líquido de 2060 dm<sup>3</sup>.

Todos os separadores serão construídos em chapa de aço próprio para baixas temperaturas e projectados para uma pressão de ensaio de 31,5 kg/cm<sup>2</sup>.

O código de fabrico foi o A.S.M.E. (*Pressure Vessel code*) e ASHRAE (*Safety Code*).

O separador foi dimensionado pelo fabricante admitindo uma velocidade do vapor saturado do NH<sub>3</sub> sobre a superfície do líquido de 0,4 m/s.

O separador de líquido possui dois sistemas de controlo de nível constituídos por boiadores em aço inoxidável e caixa electrónica amplificadora, do tipo 38 E da DANFOSS com as seguintes funções:

- Controlador do nível de trabalho alto no separador, dado pelo 38 E superior. Quando esse nível for atingido o controlador obrigará à paragem do compressor e dos outros componentes do respectivo circuito frigorífico, nomeadamente as bombas os ventiladores dos evaporadores e as electroválvulas.
- Controlador do nível de trabalho baixo, dado pelo 38 E inferior. Em marcha normal se o nível no separador estiver alto a electroválvula EVRA, de admissão de líquido fecha e não se processa expansão de líquido na válvula de expansão manual 6F da DANFOSS. Se o líquido baixar, a electroválvula abre e o líquido começa a expandir-se para o separador.
- Além destes níveis de trabalho, o separador estará equipado com dois níveis segurança:
  - Segurança superior para evitar um nível demasiado alto de NH<sub>3</sub> que durante a ebulição origine gotas que poderão ser aspiradas pelos compressores de baixa pressão originando golpes de líquido que danificam as cabeças e válvulas.
  - Um nível mínimo de segurança realizado por um pressostato diferencial RT 260, da DANFOSS que protege as bombas de líquido do separador de

fenómenos de cavitação provocados por um decréscimo acentuado do nível originando um vortex que atinja as bombas.

O isolamento térmico do separador de líquido será realizado do seguinte modo:

- Preparação das superfícies metálicas com pintura betuminosa.
- Colagem de duas camadas de poliuretano com 100 mm de espessura cortado em aduelas e colado *flintkote* 382.
- Reforço da colagem do material isolante com cinta de plástico.
- Aplicação de barreira ao vapor e protecção mecânica executada com fibra de vidro e resina de poliéster.
- Acabamento final com pintura na cor normalizada.

#### 8.2.2.5 Bombas do separador de líquido

Este cálculo terá de ser realizado a partir do efeito refrigerante produzido pela expansão do NH<sub>3</sub> nos evaporadores parcialmente inundados.

O caudal mássico  $\dot{m}$  a bombear para os evaporadores será:

$$\dot{m} = 0,941 \text{ kg/s}$$

O caudal volumétrico será dado por:

$$\dot{V} = \dot{m} v_f$$

$v_f$  – volume específico do líquido

$$\begin{aligned}\dot{V} &= 0,941 \times 1,4757 = 1,388 \text{ dm}^3/\text{s} \\ \dot{V} &= 1,388 \times 3600 = 4999 \text{ dm}^3/\text{h} = 5 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

Queda de pressão mais desfavorável estimada para uma altura  $H = 20 \text{ m H}_2\text{O}$ .

---

Foram seleccionadas duas bombas da marca WITT semi-herméticas, modelo HRP 3232, PN25 a 1450 r.p.m. com um caudal volumétrico unitário de 5 m<sup>3</sup>/h, sendo uma de reserva.

#### **8.2.2.6 Depósito intermédio (intercooler)**

A selecção do depósito intermédio foi realizada a partir da soma dos caudais aspirados pelos compressores da alta pressão, com um valor global de 580 m<sup>3</sup>/h.

O depósito intermédio a fornecer pela CENTAURO, capaz de assegurar este débito de fluido, é o modelo 100/265.

O depósito será construído em chapa de aço H-11 DIN 17155 expressamente para esta instalação com as dimensões de  $\phi = 1000$  mm e  $h = 2650$  mm com as picagens assinaladas no esquema frigorífico para receber a descarga dos compressores de baixa pressão, saída do vapor saturado a -5°C para os compressores de alta pressão, expansão do fluido de alta pressão para produção de efeito refrigerante e saída de NH<sub>3</sub> líquido à pressão de 3,55 bar para produzir expansão no separador de líquido.

No depósito intermédio, os níveis - máximo e mínimo - são controlados por reguladores 38 E tal como no separador de baixa pressão. O nível de trabalho será controlado por uma válvula flutuadora de baixa pressão que comanda uma válvula servo controlada que expande o líquido no depósito intermédio.

#### **8.2.2.7 Condensador evaporativo**

Pelo facto do entreposto frigorífico se localizar na zona de Lisboa, consideram-se as seguintes temperaturas:

Temperatura de bolbo húmido	+22°C
Temperatura de bolbo seco	+30°C

A potência real a dissipar no condensador evaporativo é a soma das cargas térmicas retiradas pelos evaporadores, somadas às potências absorvidas ao veio dos compressores seleccionados.

$$\dot{Q}_{\text{cond.}} = 189,7 \text{ kW (Compressor A.P.)} + 49,5 \text{ kW (Absorvida ao veio)} = 239,2 \text{ kW}$$

Como existirão dois compressores:

$$\dot{Q}_{\text{cond. total}} = 2 \times 239,2 = 478,4 \text{ kW}$$

Selecionei um condensador evaporativo da marca EVAPCO, modelo 105 B capaz de dissipar a potência calorífica de 500 kW. Possui dois ventiladores e um caudal de ar total de 33480 m<sup>3</sup>/h.

#### **8.2.2.8 Depósito de líquido**

O dimensionamento do depósito de líquido depende do volume interno dos evaporadores e calcula-se a partir de:

$$\text{Volume} = n^{\circ} \text{ de evaporadores} \times \text{volume interno} \times 1,5 \text{ (M. Guerra)}$$

Número de evaporadores das câmaras de congelados: 8

$$V = 8 \times 100 \times 1,5 = 1200 \text{ dm}^3$$

Deverá ser montado um depósito de fabrico CENTAURO, modelo CRN 120/636, construído em chapa H II DIN 17155, ensaiado com uma pressão de 31,5 kg/cm<sup>2</sup>.

### 8.2.2.9 Tubagem

Será apenas utilizada tubagem de circulação de amoníaco, em tubo de aço sem costura DIN 2448 ST 35, dimensionada de modo a minimizar as perdas de carga nos diferentes circuitos.

As velocidades de escoamento do amoníaco nos diversos estados nas tubagens estão referenciadas na tabela seguinte (UC Refrigeração)

<b>Tubagem</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
Linha de aspiração seca (Separador/Compressor)	10 - 12
Linha de aspiração húmida (Evaporador/Separador)	6 – 8
Linhas de líquido	0,5 -1
Linhas de descarga do compressor	8 -10
Linha de dreno (Condensador/Depósito líquido)	0,5 - 1

As linhas de baixa pressão serão isoladas com conquilhas de 65 mm de poliuretano e as linhas de aspiração dos compressores de alta com conquilhas de 50 mm.

A metodologia utilizada na execução do isolamento será idêntica à seguida no separador de líquido e depósito intermédio.

### 8.2.2.10 Câmaras de conservação de congelados

Temperatura de evaporação	-30°C
Volume específico do vapor saturado	963,7 dm <sup>3</sup> /kg
Volume específico do líquido saturado	1,475 dm <sup>3</sup> /kg
Caudal mássico	0,941kg/s
Velocidade máxima do líquido	1 m/s
Velocidade máxima do líquido e vapor saturado	8 m/s
Número de recirculações	4
Número de evaporadores por câmara	4

---

### 8.2.2.11 Tubagens de líquido

A área da secção da tubagem, será dada por:

$$A = \frac{\dot{V}}{c}$$

$\dot{V}$  - Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

$c$  – Velocidade do fluido frigorígeno ( m/s)

O diâmetro interno do tubo calcula-se pela expressão:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

#### Linha de líquido à saída do separador de líquido para a totalidade dos evaporadores

Caudal volumétrico	$\dot{V} = 0,941 \times 1,4757 = 1,388 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
Velocidade admitida	1 m/s
Secção de passagem do líquido	$13,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Diâmetro interior seleccionado	42 mm (1 3/4")

#### Linha para os quatro evaporadores de uma câmara

Caudal volumétrico	$0,694 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
Velocidade admitida	1 m/s
Secção de passagem do líquido	$6,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Diâmetro seleccionado	29,6 mm (1 1/4")

Linha para um evaporador

Caudal volumétrico	$0.173 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
Velocidade admitida	1 m/s
Secção de passagem do líquido	$1,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Diâmetro seleccionado	14,7 mm (5/8")

**8.2.2.12 Tubagem dos evaporadores para o separador de líquido**

Volume específico da linha de aspiração húmida com mistura de vapor saturado + líquido saturado (25% Vap.sat. + 75% LÍq. sat.).

$$v = v_f + x (v_g - v_f) = 1,4757 + 0,25 (963,7 - 1,4757) = 242 \text{ dm}^3/\text{kg}$$

Linha de todos os evaporadores para o separador de líquido

Caudal volumétrico	$\dot{V} = 0,941 \times 242 = 227,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
Velocidade admitida	8 m/s
Secção de passagem da mistura	$28,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Diâmetro interior seleccionado	60 mm (2 1/2")

Linha dos quatro evaporadores de uma câmara

Caudal volumétrico	$\dot{V} = 0,47 \times 242 = 113,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
Velocidade admitida	8 m/s
Secção de passagem da mistura	$14,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Diâmetro interior seleccionado	42,4 mm (1 3/4")

Linha de saída de um único evaporador

Caudal volumétrico	28,4 dm <sup>3</sup> /s
Velocidade admitida	8 m/s
Secção de passagem da mistura	3,55 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>
Diâmetro interior seleccionado	21,3 mm (1")

Linha de aspiração seca do separador para os compressores de baixa pressão

O caudal volumétrico poderá ser calculado a partir de um balanço energético no separador de líquido.

No entanto, o volume aspirado dos dois compressores de baixa pressão GRASSO, modelo 810, seleccionados no regime (-30°C/-5°C) é de:

$$2 \times 581,6 = 1162,4 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ou de } 0,322 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Assim, vou considerar um caudal volumétrico máximo de aspiração do separador de líquido de 0,322 m<sup>3</sup>/s.

Velocidade admitida	12 m/s
Secção de passagem do vapor seco	268 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>
Diâmetro interior seleccionado	184 mm (8")

Linha de aspiração seca do intercooler para os compressores de alta pressão

Tal como anteriormente, o caudal volumétrico destes compressores poderá ser calculado a partir de um balanço energético no intercooler ou depósito de líquido intermédio.

O volume aspirado dos dois compressores de alta pressão GRASSO, modelo 410, no regime (-5°C/+40°C) é de 290,8 m<sup>3</sup>/h. O valor total é de 2 x 290,8 = 581,6 m<sup>3</sup>/h ou 0,161 m<sup>3</sup>/h.

Velocidade admitida	12 m/s
Secção de passagem do vapor seco	134,6 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>
Diâmetro interior seleccionado	131 mm (5")

### 8.2.2.13 Funcionamento da instalação frigorífica

Quando a instalação estiver em funcionamento o termóstato de uma câmara fará abrir a electroválvula da linha de líquido, que alimenta o evaporador e faz com que a bomba respectiva se ponha também em funcionamento

Assim que a bomba começa a alimentar esse evaporador ou evaporadores e o líquido começa a descer no separador de líquido, o controlador electrónico de nível de trabalho faz abrir a electroválvula da linha de líquido de alimentação ao separador, e repõe o líquido que se evaporou por expansão de líquido a alta pressão proveniente do depósito de líquido.

O aumento de pressão no separador, provocado pelas cargas térmicas que vêm dos evaporadores actua o pressostato de zona neutra que comanda o arranque dos compressores de baixa pressão.

A descarga de vapor sobreaquecido dos compressores de baixa no depósito intermédio aumenta a pressão que actua no pressostato de zona neutra dos compressores de alta pressão, provocando o seu arranque.

A expansão e o nível de trabalho no depósito intermédio são comandados por uma válvula boiadora de alta pressão.

O fluído sai para as bombas e é bombeado para os evaporadores. Aí evapora-se uma pequena parte e o fluído (mistura aproximada de 25% de gás e 75% de líquido) volta ao

separador, sempre com a ajuda da bomba. Esta circulação permanece, até que o termóstato mande fechar a electroválvula que, por sua vez, faz parar a bomba.

Quando não precisamos de um caudal tão grande, como aquele que nos é fornecido pela bomba, o excesso de fluído é descarregado no separador de líquido por *by-pass* através de uma linha existente para esse efeito, que funciona também como uma segurança da instalação.

Cada uma das bombas possui um pressostato diferencial que mede as pressões a jusante e a montante, avisando no caso de alguma desferrar e sofrer fenómenos de cavitação.

Cada separador possui um sistema de purga de óleo, que consiste num pequeno depósito onde o óleo (que é mais denso que o amoníaco) se deposita.

Como o separador está isolado, e esse depósito de óleo não, devido às baixas temperaturas, vai ficar coberto de gelo, podendo-se assim ver com bastante precisão quando é necessário fazer a purga e a quantidade de óleo a retirar.

No depósito intermédio, a descarga do vapor sobreaquecido dos compressores de baixa pressão e a descida do nível de líquido vai também solicitar os compressores de alta pressão.

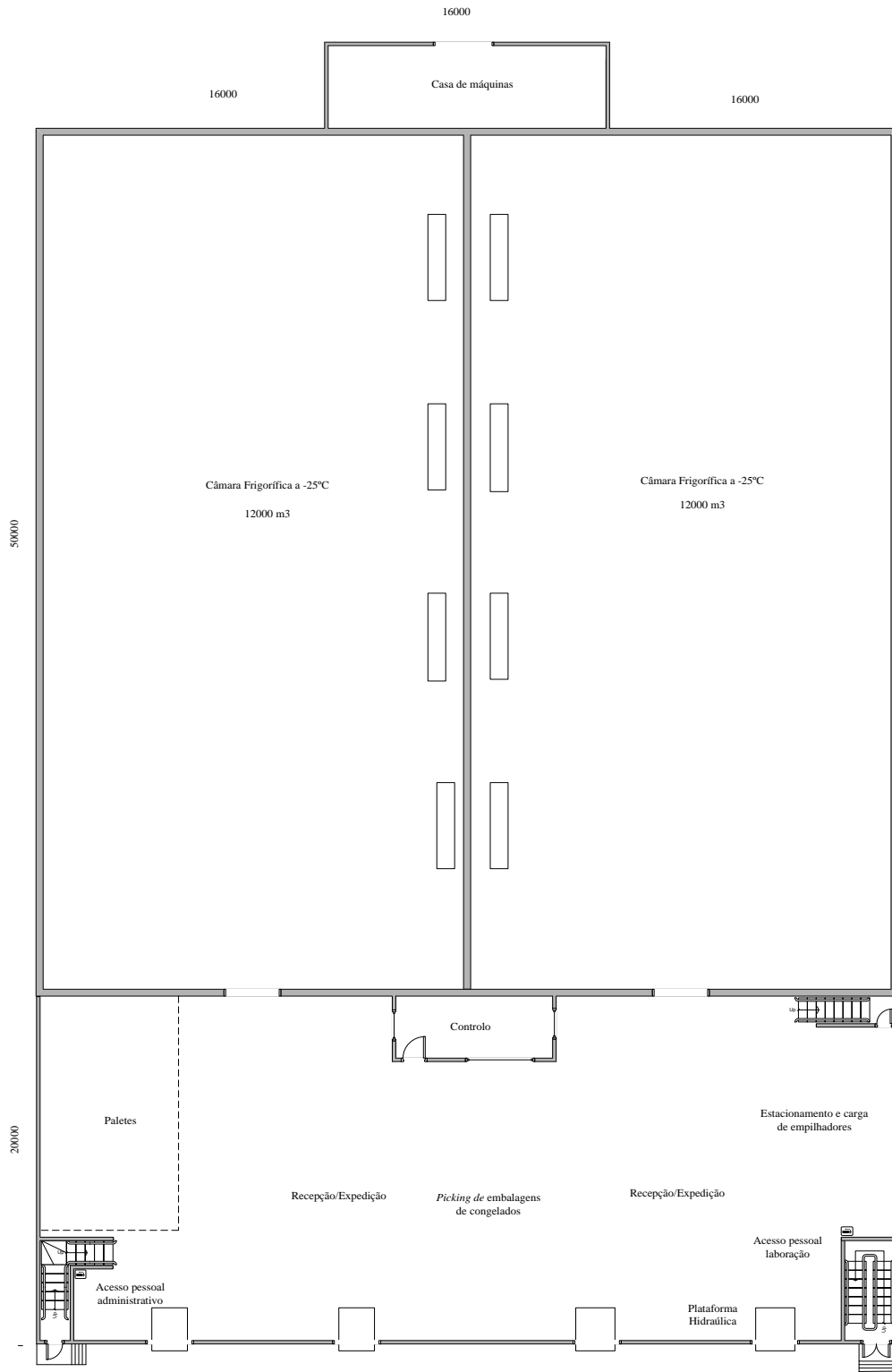
Os pressostatos de baixa pressão, é que irão fazer parar os compressores de baixa pressão, quando a pressão desce abaixo de um determinado valor mínimo, provocada pela falta de funcionamento das bombas do separador ou válvulas dos evaporadores.

O mesmo se passa com os compressores de alta pressão que param quando os pressostatos de baixa o ordenam.

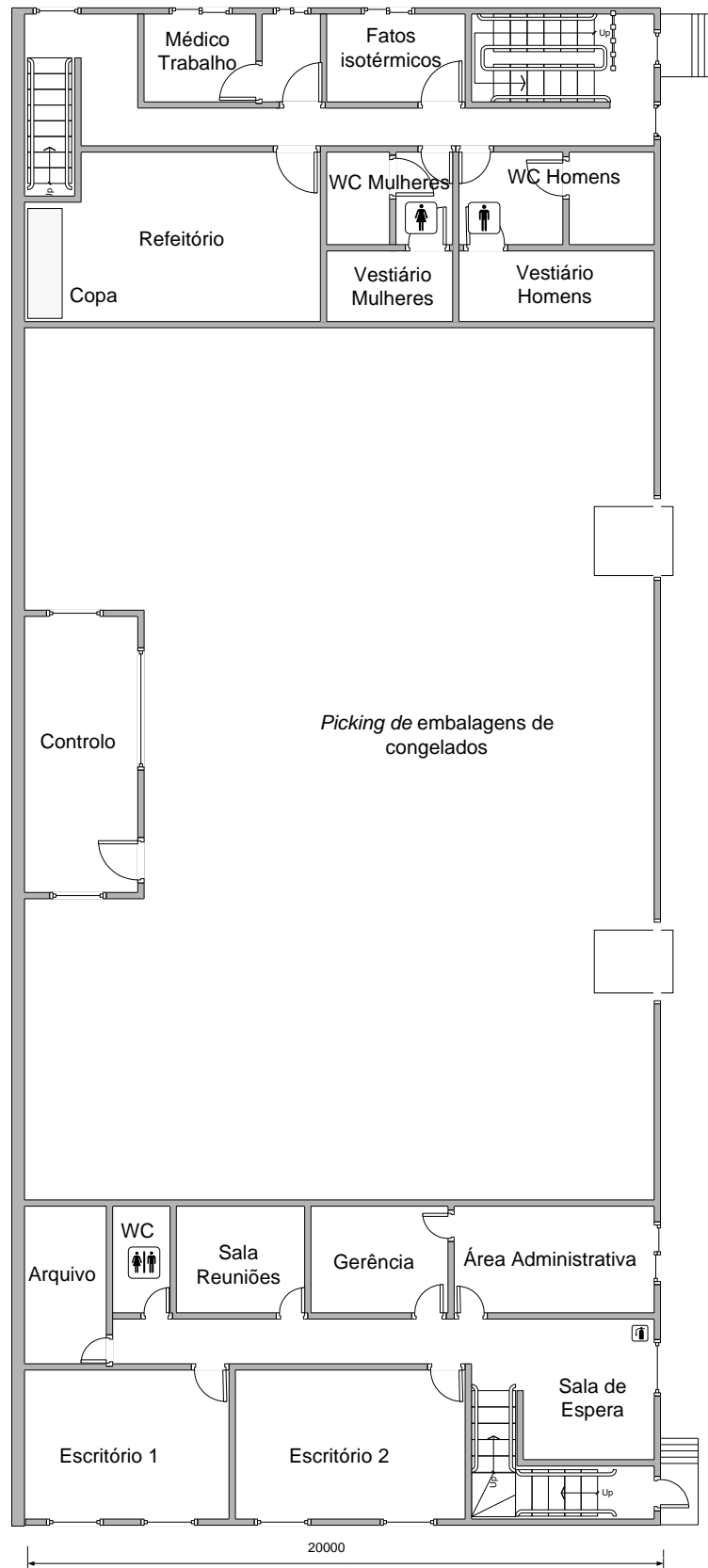
No separador de líquido apenas uma das bombas está em funcionamento, estando a outra de reserva.

## 9. PLANTAS DO ENTREPOSTO FRIGORÍFICO

### 9.1 PLANTA DO 1º PISO (CÂMARAS)

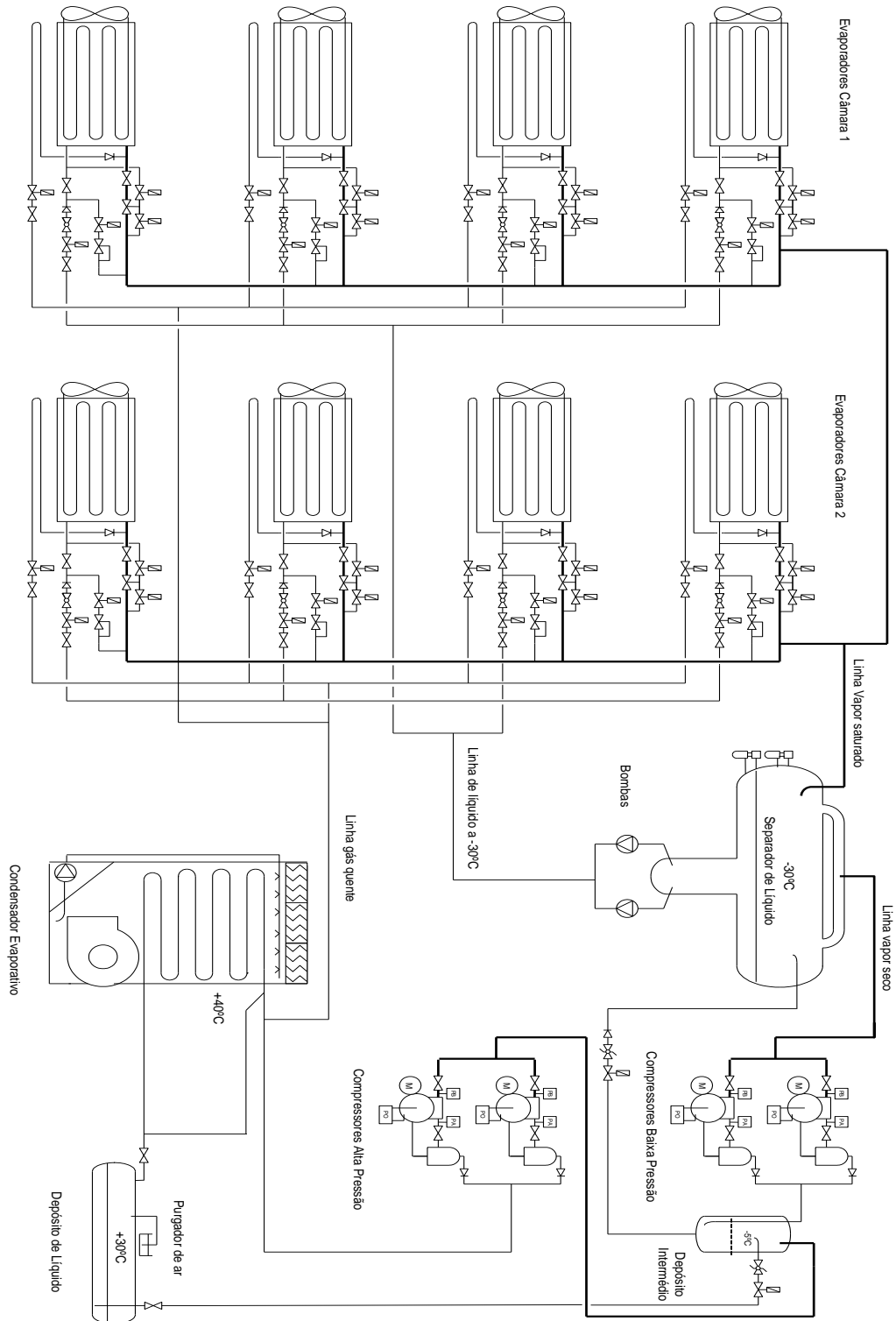


9.2 PLANTA DO 2º PISO (ÁREA ADMINISTRATIVA)

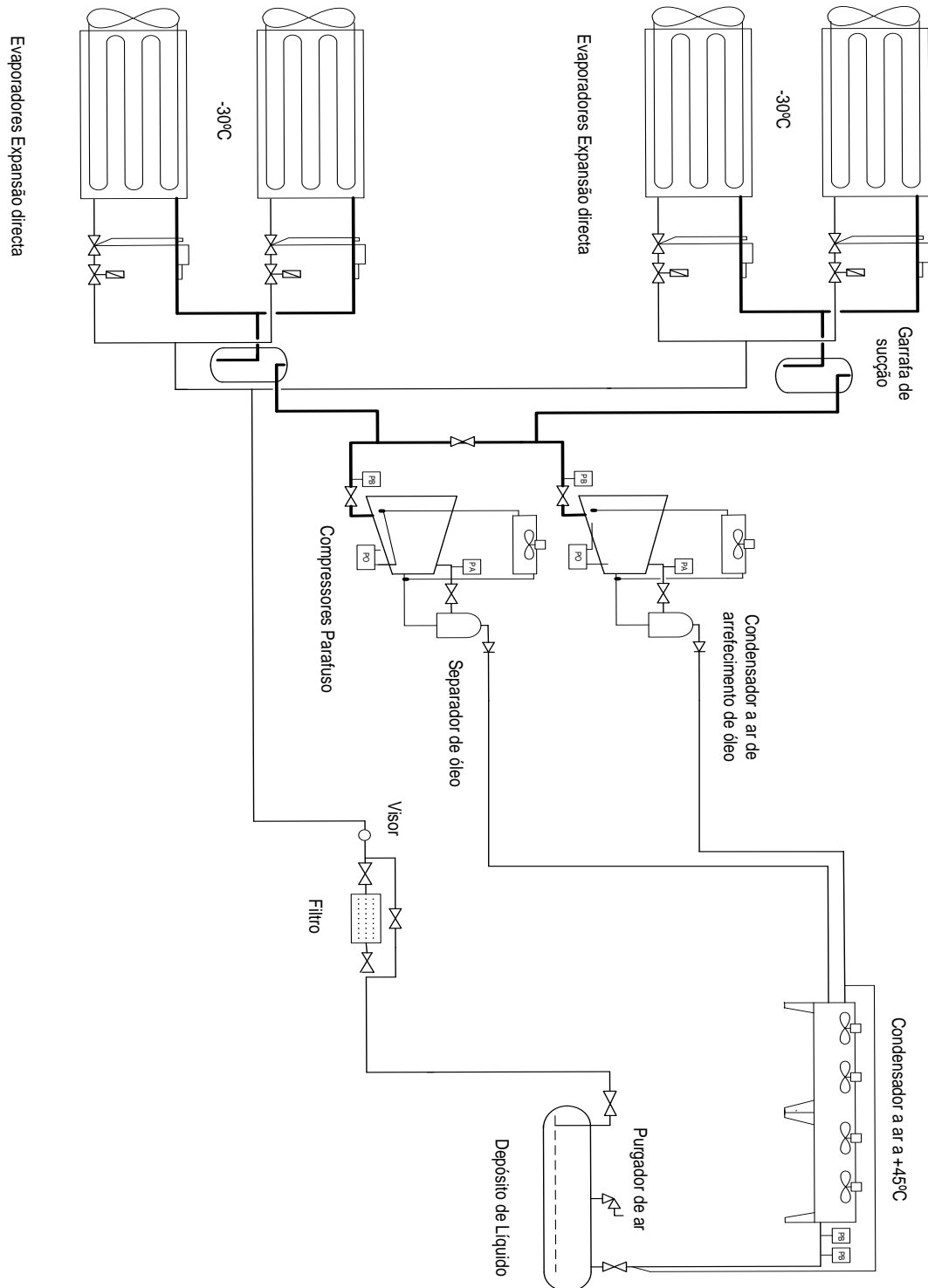


## 10. CIRCUITOS FRIGORÍFICOS DAS DUAS SOLUÇÕES

### 10.1 CIRCUITO FRIGORÍFICO A AMONÍACO



## 10.2 CIRCUITO FRIGORÍFICO DE EXPANSÃO DIRECTA A R404A, PARA UMA CÂMARA FRIGORÍFICA



**11. ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO ENTRE O CICLO COM UM ANDAR (R404A) E DOIS ANDARES DE COMPRESSÃO (NH<sub>3</sub>). ANÁLISE DA ESCOLHA EM FUNÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO, CUSTOS DE AQUISIÇÃO E MONTAGEM, DURABILIDADE E CUSTOS DE MANUTENÇÃO**

Foram estudadas duas soluções para a instalação frigorífica das duas câmaras do entreposto frigorífico.

A primeira solução utiliza dois compressores semiherméticos de um andar do tipo parafuso a R404A, montados em paralelo, por câmara, a funcionarem no regime (-30°C/+45°C). Os evaporadores são de expansão directa, e monta-se um condensador a ar para dissipação do calor. Existirão duas instalações frigoríficas iguais completamente independentes, uma para cada câmara frigorífica.

A segunda solução é uma instalação clássica de dois andares, compressão a NH<sub>3</sub> ou R717 com a utilização de dois compressores alternativos abertos no andar de baixa pressão a funcionarem no regime (-30°C/-5°C), aspirando o amoníaco de um separador de líquido. Os evaporadores são inundados em amoníaco líquido por bombeamento.

O andar de alta pressão também possui dois compressores alternativos abertos a funcionarem no regime (-5°/+40°C) que aspiram amoníaco do depósito intermédio. A condensação processa-se num condensador evaporativo.

Os valores estimados para o fornecimento e montagem de cada tipo de instalação frigorífica para o entreposto objecto deste trabalho foram:

Instalação frigorífica a R404A: 450.000 €

Instalação frigorífica a NH<sub>3</sub>: 450.000 € x 1,25 = 562.500 €

Estes valores foram obtidos a partir de propostas concretas de empresas instaladoras de frio (Samifi Portuguesa; Arcofil) e empresas utilizadoras (Ibertejo e Gelalentejo).

Os painéis isotérmicos do isolamento das câmaras frigoríficas terão uma área total de  $3991 \text{ m}^2 + 530 \text{ m}^2$  (parede interior) =  $4521 \text{ m}^2 \approx 4500 \text{ m}^2$ .

O seu custo será aproximadamente de  $4500 \times 35 \text{ €} = 157500 \text{ €}$ , idêntico para qualquer das soluções escolhidas, para a produção de frio.

A partir dos dados da factura de consumo de energia eléctrica de 16 de Julho a 15 de Agosto 2009, de um entreposto frigorífico a  $\text{NH}_3$ , localizado em Montemor-o-Novo (Gelalentejo), podemos construir o seguinte quadro.

<b>Tipo de horas</b>	<b>Preço kWh</b>	<b>Valores pagos</b>	<b>Percentagem</b>
Activa Super Vazio	0,0485 €	762,27 €	12,5 %
Activa Vazio Normal	0,0521 €	1399,98 €	23 %
Activa Ponta	0,1072 €	485,40 €	8 %
Activa Cheias	0,0814 €	3428,16 €	56,5 %

Analisando os dados, verificamos que este entreposto consome  $56,5 \% + 8\% = 64,5 \%$  do valor total da sua energia, nas horas de fornecimento mais onerosas.

Isto já era de esperar, porque as cargas térmicas mais elevadas (entrada de produtos e abertura de portas) entram nas câmaras frigoríficas durante o horário normal de trabalho de uma instalação industrial.

Considerando o caso em estudo neste trabalho, pode-se estimar que os compressores operam 16 horas por dia durante o Verão e 4 horas durante o Inverno. A partir destas horas de funcionamento, vai-se encontrar uma média aritmética de 10 horas para todo o ano, com percentagens distribuídas pelo tipo de horas, de acordo com o quadro anterior.

### 11.1 INSTALAÇÃO FRIGORÍFICA A R404A

Como já foi referido, esta instalação possui quatro compressores de parafuso, com motores eléctricos de 125 kW.

A potência eléctrica activa consumida por dia será:

$$4 \times 125 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 5000 \text{ kWh}$$

A distribuição diária do consumo pelos diferentes tipos de horas está referenciada no quadro seguinte:

<b>Tipo de horas</b>	<b>Percentagem por tipo de horas</b>	<b>Consumo diário</b>	<b>Valores hora</b>	<b>Valor por tipo de hora</b>
Activa super vazio	12,5 %	625 kW h	0,0485 €	30,3 €
Activa Vazio Normal	23 %	1150 kW h	0,0521 €	58,65 €
Activa Ponta	8 %	400 kW h	0,1072 €	42,88 €
Activa Cheias	56,5 %	2825 kW h	0,0814 €	229,9 €
Total	100%	5000 kW h		361,73 €

Ao fim de um ano de funcionamento, o consumo de potência activa dos compressores será de  $361,7 \times 365 = 132.020 \text{ €}$

Esta instalação também consome corrente eléctrica reactiva no arranque dos compressores, que se estimará em 5% do valor global da corrente activa.

Pode-se ainda considerar 10% para os motores eléctricos dos ventiladores dos evaporadores e condensadores, e iluminação das câmaras e área administrativa.

**O custo anual total estimado da instalação a R404A é de  $132.020 \times 1,15 = 151.823 \text{ €}$**

## 11.2 INSTALAÇÃO FRIGORÍFICA A NH<sub>3</sub>

Esta instalação possui quatro compressores, dois na baixa pressão e outros dois na alta pressão. Os motores eléctricos da baixa pressão são de 45 kW e os da alta pressão de 75 kW.

A potência eléctrica activa total consumida por dia será:

$$2 \times 45 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 900 \text{ kWh}$$

$$2 \times 75 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 1500 \text{ kWh}$$

O total de consumo diário é de 2400 kWh. A distribuição pelos diferentes tipos de horas está referenciada no quadro seguinte:

Tipo de horas	Percentagem por tipo de horas	Consumo diário	Valores hora	Valor por tipo de hora
Activa super vazio	12,5 %	300 kW h	0,0485 €	14,55 €
Activa Vazio Normal	23 %	552 kW h	0,0521 €	28,76 €
Activa Ponta	8 %	192 kW h	0,1072 €	20,58 €
Activa Cheias	56,5 %	1356 kW h	0,0814 €	110,3 €
Total	100%	2400 kW h		174,19 €

Ao fim de um ano de funcionamento, o consumo de potência activa dos compressores será de  $174,19 \times 365 = 63.579 \text{ €}$

Neste tipo de instalação por bombeamento, quando há necessidade de produzir frio nos evaporadores, entra em funcionamento a bomba com uma potência de 1 kW, do separador de líquido, e os compressores mantêm-se parados. Só arrancam quando o nível de NH<sub>3</sub> líquido a -30° C desce abaixo do nível mínimo de trabalho do separador de líquido. Os compressores mantêm-se a trabalhar até atingir o nível máximo de trabalho.

Pelo exposto, existe menor número de arranques dos motores eléctricos dos compressores, em relação ao verificado na instalação a R404A, diminuindo substancialmente o consumo de energia reactiva.

Deste modo, estima-se a energia reactiva absorvida, em apenas 2%, e como foi feito para o outro tipo de instalação, considera-se mais 10% para os ventiladores dos evaporadores, condensador evaporativo, bomba de circulação de amoníaco e iluminação das câmaras e área administrativa.

**O custo anual total estimado da instalação a NH<sub>3</sub> é de 63.579 x 1,12 = 71.208 €**

A diferença de consumo energético anual dos tipos de instalação frigorífica estudados será de:

$$151.823 - 71.208 = 80.615 \text{ €}$$

A diferença de aquisição das instalações e respectiva montagem será de:

$$562.500 - 450.000 = 112.500 \text{ €}$$

A economia energética, de aproximadamente 80.000 € anuais com a instalação frigorífica a NH<sub>3</sub>, vai otimizar esta solução no prazo aproximado de um ano e meio a dois anos, justificando-se plenamente a sua escolha para a construção do entreposto.

Também reforça essa escolha o facto deste tipo de instalação, com toda a tubagem em aço, ter um período de vida útil, pelo menos de 50% superior ao da instalação a R404 A com tubagem em cobre.

## 12. ANÁLISE CONCLUSIVA DO PROJECTO

### 12.1 CÁLCULOS TERMODINÂMICOS E VALORES REAIS

Nos fundamentos termodinâmicos procedeu-se ao cálculo teórico do caudal volumétrico de cada tipo de compressor na respectiva instalação frigorífica e das respectivas potências absorvidas no processo de compressão.

Quando seleccionámos os compressores obtivemos os caudais aspirados dos compressores e as respectivas potências absorvidas ao veio, dos fabricantes.

Os dois quadros seguintes dão-nos os valores encontrados para a totalidade da instalação frigorífica:

<b>Circuito a R404A</b>	<b>Valores Teóricos</b>	<b>Dados do Fabricante Bitzer</b>
Caudal Volumétrico	4 x 279 = 1116 m <sup>3</sup> /h	4 x 345,4 = 1381,6 m <sup>3</sup> /h
Potência absorvida ao veio	4 x 41,8 = 167,2 kW	4 x 80,9 = 323,6 kW

<b>Circuito a NH<sub>3</sub></b>	<b>Valores Teóricos</b>		<b>Dados do Fabricante Grasso</b>	
	B. Pressão	A. Pressão	B. Pressão	A. Pressão
Caudal Volumétrico	2x 442,3 = 884,6 m <sup>3</sup> /h	2x 198,6 = 397,2 m <sup>3</sup> /h	2x 581,6 = 1163,2 m <sup>3</sup> /h	2x 290,8 = 581,6 m <sup>3</sup> /h
Potência absorvida ao veio	36,4 kW	68,22 kW	61 kW	91 kW

A partir dos quadros apresentados, verifica-se que os caudais volumétricos dos compressores seleccionados para qualquer uma das soluções são sempre superiores aos caudais teóricos, calculados com as equações termodinâmicas.

---

Tal deve-se a não terem sido admitidos rendimentos volumétricos pelos fabricantes de compressores nos processos de compressão.

Além disso, os compressores não são equipamentos ideais, possuem vários componentes que originam atritos mecânicos, perdas de carga nas válvulas de passagem e válvulas do prato do compressor.

Os fabricantes, para conseguirem obter as potências frigoríficas nos regimes de funcionamento pretendidos, sobredimensionam os componentes e, conseqüentemente, os caudais volumétricos serão sempre superiores aos teóricos, como se verificou neste trabalho.

Relativamente às potências absorvidas teóricas e reais, verifica-se idêntica situação para ambas as soluções, sendo a explicação a que já foi referida.

No entanto, para idêntica potência absorvida pelos compressores de cada uma das soluções para a totalidade das câmaras do entreposto verifica-se que os caudais volumétricos reais aspirados pelos quatro compressores a R404A ( $4 \times 345,4 = 1381,6 \text{ m}^3/\text{h}$ ) estão próximo do valor dos caudais volumétricos dos dois compressores a  $\text{NH}_3$  ( $2 \times 581,6 = 1163,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Porém, as potências absorvidas pela totalidade dos compressores são diferentes.

Os quatro compressores de um andar a R404A, da marca Bitzer, absorvem  $4 \times 80,9 = 323,6 \text{ kW}$ .

Os dois compressores de baixa pressão a  $\text{NH}_3$  da marca Grasso, absorvem 61 kW, e os dois de alta pressão, também da marca Grasso, absorvem 91 kW. Obtendo-se uma totalidade de 152 kW de potência aos veios, valor que é cerca de 50% do valor da potência absorvida, na solução a R404A.

Esta evidência revela que durante o período de vida útil do entreposto, a solução a  $\text{NH}_3$ , com maior investimento inicial, virá a verificar-se mais rentável ao fim de alguns anos, como demonstrado no capítulo anterior.

### **13. REFERENCIAS**

#### **13.1 BIBLIOGRÁFICAS**

GONÇALVES SANTOS, F. M - Instalações Frigoríficas

MATOS GUERRA, A. M. - Produção de Frio

STOECKER W.F. e SAIZ JABARDO J.M. – Refrigeração Industrial

STOECKER W.F. – Industrial Refrigeration, volume I e II

Recomendações do IIF - Instituto Internacional do Frio

RAPIN, P.J. Instalations Frigorifiques I et II

RAPIN, P.- Manual do frio. Fórmulas Técnicas de Refrigeração e Ar Condicionado

DOSSAT, R.J. – Principles of Refrigeration

Press Syndicate, University of Cambridge

Prentice Hall International Editions

KREITH, F.- Princípios de Transmissão de Calor

Ed. Edgard Blucher Lda, São Paulo

CRUZ COSTA, E. – Refrigeração

2004 - ASHRAE Handbook. Refrigeration Systems and Applications. SI Edition

2004 - ASHRAE Handbook. Fundamentals SI Edition

### **13.2 OUTRAS**

[www.centauro.pt](http://www.centauro.pt)

[www.helpman.de](http://www.helpman.de)

[www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)

[www.grasso.com](http://www.grasso.com)

[www.evapco.com](http://www.evapco.com)

[www.linde.pt](http://www.linde.pt)

[www.Bitzer.com](http://www.Bitzer.com)

[www.Dupont.com](http://www.Dupont.com)

### **13.3 DADOS TÉCNICOS, TABELAS E ÁBACOS**

CD em anexo a este Trabalho