

Agradecimentos

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

Às empresas que cederam com cortesia os seus conhecimentos:

- RITEL – Empresa de projecto de instalações frigoríficas;
- Linha civil – Empresa de construção civil;

Um especial agradecimento ao meu namorado pela partilha diária de alegrias e desventuras durante a realização deste estudo.

A toda a minha família, que sempre me apoiou em tudo, muito em particular, aos meus Pais e ao meu irmão. Um imenso obrigado pela vossa incansável dedicação e preocupação constantes.

Resumo

O presente trabalho tem como objectivo a elaboração de uma estação fruteira com instalações frigoríficas em regime de atmosfera controlada. A estação fruteira integra seis câmaras de refrigeração e um túnel de pré arrefecimento.

Os produtos alimentares são considerados perecíveis e requerem o frio para a conservação das suas características. Para tal, é necessário um correcto dimensionamento dos equipamentos que constituem as instalações frigoríficas, tais como: compressores, condensadores, evaporadores, válvulas, entre outros.

Foi efectuado um estudo de modo a implementar um plano de gestão e manutenção das instalações frigoríficas, para que deste modo se consiga prevenir a avaria dos diferentes equipamentos. A concepção do projecto teve com base de estudo uma instalação assente numa lógica de optimização energética.

Realizou-se um estudo de viabilidade económica entre a concepção de uma estação fruteira convencional e em regime de atmosfera controlada implementado em Portugal, tendo em conta a produção de fruta que advém do mercado externo.

Todo o procedimento deste trabalho teve como finalidade atingir um projecto real e portanto todos os componentes e processos construtivos prescritos deverão ser rigorosamente obedecidos e considerados imprescindíveis.

Abstract

The objective of the following work is the elaboration of a fruit station project in a controlled atmosphere system. The fruit station encloses six cooling chambers, three of which are destined to store pears, and the other three to store apples.

These food products are considered to be perishable and require low temperatures to keep their features, and they are seen as the most critical in the food distribution stages. Therefore, we must choose and dimension properly the various system components, such as: compressors, condensers, evaporators, valves, etc.

During the research and study of the cooling system, the installation was conceived based on a logic of energetic optimization. The implementation of a facility management plan was studied, so that component malfunctions can be prevented.

An economical viability study was made between the conception of a conventional fruit (processing) station and a controlled atmosphere one, to implement in Portugal, considering the fruit products that are supplied from external markets.

All of the proceedings of this work were considered as means to achieve a real project and therefore all of the components and building processes must be thoroughly obeyed and considered to be essential.

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice.....	IV
Índice de Figuras	VIII
Índice de Tabelas	IX
1. Introdução	1
2. Objectivos	2
3. Processos Biológicos dos Produtos Hortofrutícolas pós Colheita	3
3.1. Respiração	3
3.2. Transpiração	5
3.3. Etileno.....	8
4. Operações na fase de produção	9
4.1. Colheita	9
4.2. Preparação	10
4.2.1. Descarga do Produto.....	10
4.2.2. Triagem do produto	11
4.2.3. Lavagem do produto	11
4.2.4. Calibragem	11
4.2.5. Aplicação de ceras.....	12
4.2.6. Embalamento	12
5. Pré-Arrefecimento do Produto.....	13
5.1. Métodos de pré arrefecimento.....	14
5.1.1. Arrefecimento com circulação natural de ar	14
5.1.2. Arrefecimento por ar forçado	14
5.1.3. Arrefecimento por água.....	15
6. Factores influentes na Conservação de produtos hortofrutícolas.....	16
6.1. Temperatura.....	16
6.2. Humidade relativa	17
6.3. Circulação do ar.....	17

6.4.	Composição da atmosfera.....	17
7.	Armazenamento em câmara frigorífica com Atmosfera Controlada.....	18
7.1.	Vantagens da atmosfera controlada.....	21
7.2.	Desvantagens da atmosfera controlada.....	21
8.	Segurança Alimentar.....	22
8.1.	Sistema de segurança do HACCP.....	23
8.1.1.	Princípios do HACCP.....	23
9.	Legislação alimentar.....	24
10.	Descrição de Estação Fruteira.....	25
10.1.	Pavimentos.....	26
10.2.	Tectos.....	26
10.3.	Paredes.....	27
10.4.	Portas.....	28
11.	Descrição do funcionamento da Central Fruteira.....	29
11.1.	Fluxograma da instalação.....	30
12.	Dimensionamento dos Espaços Frigoríficos.....	31
12.1.	Dimensionamento das Câmaras Frigoríficas de Maçãs e Peras.....	31
12.2.	Dimensionamento do Túnel de Pré-Arrefecimento.....	32
13.	Condições de Projecto.....	33
13.1.	Características Psicrométricas exteriores.....	34
13.2.	Características Psicrométricas interiores.....	34
14.	Escolha do Isolamento – Poliuretano Vs Perlite.....	35
15.	Cargas Térmicas da Instalação.....	38
15.1.	Cargas Térmicas nas Câmaras Frigoríficas.....	39
15.1.1.	Cargas Térmicas Externas.....	39
15.1.2.	Cargas Térmicas Internas.....	46
15.1.3.	Potência Intermédia e Potência Previsional.....	51
15.2.	Cargas Térmicas do Túnel de Pré-Arrefecimento.....	52
15.2.1.	Cargas Térmicas Externas.....	53
15.2.2.	Cargas Térmicas Internas.....	53
15.2.3.	Potência intermédia e potência previsional.....	54
15.3.	Resumo das cargas Térmicas.....	55

15.3.1.	100% de produto pré-arrefecido	55
15.3.2.	Excesso de produto	55
15.3.3.	Cargas Térmicas durante a Estação do Inverno	57
15.4.	Comparação das cargas térmicas	58
16.	Instalação Frigorífica	59
16.1.	Fluido frigorígeno da Instalação	59
16.2.	Descrição Teórica do funcionamento dos ciclos de expansão directa.....	60
16.3.	Funcionamento da instalação frigorífica	62
16.4.	Funcionamento da instalação da atmosfera controlada	66
16.4.1.	Analísadores de gases	67
16.4.2.	Queimador de Oxigénio através de PSA (Pressure Swing Adsorption)	67
16.4.3.	Absorvedor CO ₂ através de carvão activado.....	68
16.4.4.	Válvula equalizadora de pressão.....	68
16.5.	Dimensionamento e Selecção dos Equipamentos	70
16.5.1.	Equipamentos que constituem os ciclos de expansão directa	70
16.5.1.1.	Evaporadores	70
16.5.1.2.	Compressores	72
16.5.1.3.	Condensadores	73
16.5.1.4.	Tubagens.....	75
16.5.1.5.	Depósitos de Líquido.....	79
16.5.1.6.	Válvulas	81
16.5.1.7.	Pressostatos	84
16.5.1.8.	Separadores de Óleo.....	85
16.5.1.9.	Visores de Líquido	85
16.5.1.10.	Filtros	86
16.5.2.	Equipamentos que constituem a atmosfera controlada	87
16.5.2.1.	Analísadores de Gases	87
16.5.2.2.	Queimador de Oxigénio	87
16.5.2.3.	Absorvedor de Dióxido de Carbono.....	88
17.	Manutenção das instalações	88
18.	Análise de Viabilidade Económica	90
19.	Lista de Desenhos	97

20. Referências.....	98
ANEXOS	100

Índice de Figuras

Fig. 1 – Relação entre a longevidade e a taxa de respiração dos produtos	4
Fig. 2 – Calibragem do Produto.....	11
Fig. 3 – Exemplo de Embalagem	12
Fig. 4 – Evolução da temperatura ao longo do tempo de arrefecimento	13
Fig.5 – Comparação do período de vida útil do produto armazenado em atmosfera controlada e normal	18
Fig. 6 – Esquema da hierarquia dos programas da segurança alimentar.....	22
Fig. 7 – Representação do tecto da central fruteira	26
Fig. 8 – Aplicação dos painéis isotérmicos.....	27
Fig. 9 – Barreira de vapor.....	27
Fig. 10 – Porta utilizada na estação fruteira	28
Fig. 11 – Processo de funcionamento e respectivas temperaturas do produto sem excesso	29
Fig. 12 – Processo de funcionamento e respectivas temperaturas produto com excesso	30
Fig. 13 – Fluxograma da instalação.....	30
Fig. 14 – Carta Psicrométrica	34
Fig. 15 – Comparação das cargas térmicas	58
Fig. 16 – Representação Esquemática do ciclo ideal de expansão directa	60
Fig. 17 – Funcionamento de um ciclo ideal de expansão directa.....	60
Fig. 18 – Esquema de princípio das câmaras maçãs 1, 2 e 3	64
Fig. 19 – Localização dos evaporadores no circuito primário e secundário	66
Fig. 20 – Esquema de princípio do queimador de oxigénio	68
Fig. 21 – Esquema de princípio da atmosfera controlada	69
Fig. 22 – Parâmetros para a selecção dos evaporadores	71
Fig. 23 – Parâmetros para a selecção dos compressores	72
Fig. 24 – Parâmetros para a selecção dos condensadores	74
Fig. 25 – Ábaco para o dimensionamento das tubagens.....	77
Fig. 26 – Ábaco para o dimensionamento das perdas de carga	78
Fig. 27 – Ábaco para o dimensionamento do depósito liquido.....	80

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Comparação das taxas de respiração de diferentes produtos	4
Tabela 2 – Factores que afectam a perda de água	6
Tabela 3 – Métodos para reduzir a perda de água nos produtos	7
Tabela 4 – Quantidades de O ₂ e CO ₂	20
Tabela 5 – Locais da estação fruteira.....	25
Tabela 6 – Parâmetros necessários para o dimensionamento.....	31
Tabela 7 – Parâmetros necessários para o dimensionamento do túnel	32
Tabela 8 – Características Psicrométricas Exteriores	33
Tabela 9 – Características Psicrométricas Interiores	34
Tabela 10 – Carga térmica para diferentes isolamentos	36
Tabela 11 – Características dos diferentes isolamentos	37
Tabela 12 – Cargas Térmicas presentes na instalação frigorífica	38
Tabela 13 – Características das paredes, tecto e pavimento	42
Tabela 14 – Cargas térmicas através das paredes, tecto e pavimento	42
Tabela 15 – Duração média da abertura das portas.....	45
Tabela 16 – Parâmetros para o cálculo da carga térmica.....	45
Tabela 17 – Calor libertado pelas pessoas.....	47
Tabela 18 – Calor específico dos produtos	49
Tabela 19 – Calor libertado pelo produto.....	50
Tabela 20 – Cargas Térmicas no túnel pré-arrefecimento	52
Tabela 21 – Cargas térmicas para 100% do produto pré-arrefecido.....	55
Tabela 22 – Cargas térmicas para produto pré-arrefecido e para o excesso de produto.....	56
Tabela 23 – Diferença das cargas Térmicas devido ao excesso de fruta.....	56
Tabela 24 – Cargas Térmicas no período de Inverno	57
Tabela 25 – Características Termodinâmicas do fluido R134a	59
Tabela 26 – Características dos locais	70
Tabela 27 – Selecção dos Evaporadores	71
Tabela 28 – Selecção dos Compressores	73
Tabela 29 – Factores de correcção dos condensadores "Centaurus"	73
Tabela 30 – Capacidade Frigorífica dos condensadores.....	74

Tabela 31 – Selecção dos condensadores.....	75
Tabela 32 – Velocidades de escoamento	75
Tabela 33 – Capacidade dos depósitos de líquido.....	81
Tabela 34 – Selecção dos depósitos de líquido	81
Tabela 35 – Selecção das válvulas de expansão termostáticas	82
Tabela 36 – Selecção das válvulas solenóides	83
Tabela 37 – Selecção das válvulas retenção	83
Tabela 38 – Selecção das válvulas de corte	84
Tabela 39 – Selecção dos pressostatos.....	84
Tabela 40 – Selecção dos separadores de óleo	85
Tabela 41 – Selecção dos visores de líquido	86
Tabela 42 – Selecção dos filtros.....	86
Tabela 43 – Características dos analisadores de gases	87
Tabela 44 – Manutenção dos equipamentos	89
Tabela 45 – Custo por hora do consumo eléctrico da instalação principal e da instalação secundária.....	90
Tabela 46 – Custo total do consumo eléctrico	91
Tabela 47 – Investimento de estação fruteira convencional e em regime de atmosfera controlada.....	92
Tabela 48 – Custo total do consumo eléctrico	93
Tabela 49 – Custos dos trabalhadores.....	93
Tabela 50 – Custos fixos anuais	94
Tabela 51 – Receitas	94
Tabela 52 – Lucro Anual.....	95
Tabela 53 – Lucro anual com 50% de subsídio	95
Tabela 54 – Lista de desenhos	97

1. Introdução

Desde os tempos antiquíssimos, o Homem debateu-se com a problemática da conservação de géneros alimentícios.

O frio é o único meio de conservação dos alimentos no seu estado natural, e foi na descoberta deste processo que se desenvolveu o método mecânico de refrigeração. Este método é complementado com as propriedades frigoríficas dos gases, e tem a capacidade de retirar o calor do espaço, arrefecendo até temperaturas próximas dos 0°C e inferiores a 0°C. Para uma prolongada conservação, foi complementado ao armazenamento frigorífico a alteração da composição da atmosfera. Este tipo de sistema designa-se atmosfera controlada, e tem como finalidade a regulação das concentrações de CO₂ e de O₂ dentro das câmaras hermeticamente fechadas [13]. Pretende-se que as instalações de frio sejam capazes de assegurar condições dentro das câmaras que preservem o produto armazenado. Para assegurar as temperaturas uniformes nos espaços de armazenamento, devem ser tidos em consideração os seguintes elementos [2]:

- O fluxo de circulação de ar e a sua influência sobre o produto armazenado;
- O efeito da humidade relativa;
- A ventilação da instalação;
- A temperatura do produto à entrada;
- A temperatura de armazenamento adequada para o produto;
- O tempo de armazenamento expectável para o produto;
- Os movimentos de entrada e saída na área de armazenamento.
- O armazenamento refrigerado de produtos alimentares pode ser classificado em 2 categorias:
 - 1) Atmosfera controlada de longo prazo para o armazenamento de frutos e vegetais;
 - 2) Armazéns ou câmaras de refrigerados para temperaturas iguais ou superiores a 0 °C;

É neste enquadramento que o projecto se desenvolve. O correcto dimensionamento e a manutenção dos equipamentos garantem a qualidade e a segurança alimentar dos produtos.

2. Objectivos

No âmbito na Unidade Curricular de Dissertação, Trabalho de Projecto ou Estágio de Natureza Profissional, foi proposto a elaboração de um Projecto de uma estação fruteira em regime de atmosfera controlada.

Os objectivos propostos são:

1. Planificar e gerir um projecto de frio industrial no sector das hortofrutícolas;
2. Conceber e dimensionar a estação fruteira, assente numa lógica de optimização energética;
3. Conceber e apresentar as soluções adequadas para a realização das instalações da atmosfera controlada;
4. Apresentar a escolha dos equipamentos e materiais adequados de produção de frio e de atmosfera controlada;
5. Conceber o plano de gestão e de manutenção real das instalações frigoríficas;
6. Estudo de viabilidade económica entre a estação fruteira convencional e a estação fruteira em regime de atmosfera controlada.

3. Processos Biológicos dos Produtos Hortofrutícolas pós Colheita

Os produtos hortofrutícolas são considerados produtos vivos e permanecem como tal durante o após colheita. Estes produtos estão sujeitos a alterações de carácter biológico, que não podem ser evitados, mas recorrendo a tecnologias podem ser retardadas. Os factores biológicos envolvidos na deterioração são:

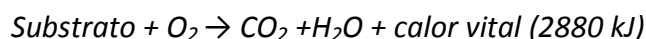
- Respiração;
- Transpiração / Perda de água;
- Acção do Etileno.

3.1. Respiração

Os Frutos são “*organismos vivos*”, que utilizam substâncias de reserva no processo da respiração, sendo a intensidade respiratória influenciada pela temperatura a que são mantidas [13].

É durante a respiração que é consumido oxigénio, produzido dióxido de carbono e vapor de água, pois esta reacção é essencial à libertação da energia necessária para maturação do fruto. A respiração utiliza os hidratos de carbono até estes se esgotarem, seguindo-se o envelhecimento, que se designa por senescência e morte dos tecidos. Deste modo a respiração é responsável por grandes perdas de qualidade, assim como pela senescência natural.

A seguinte equação sintetiza o processo de respiração [13]:

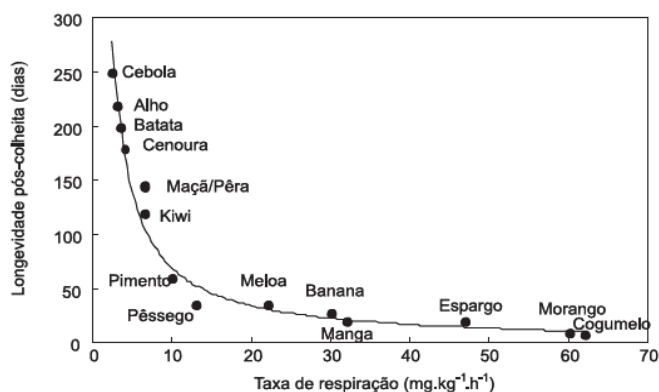


Durante a respiração o substrato (açúcar e glicose) combina-se com o O_2 , produzindo CO_2 , H_2O e calor. O calor resulta das reacções químicas e orgânicas e designa a quantidade de energia libertada pela respiração em função da oxidação completa de uma mole de Fructose. A oxidação de uma mole liberta 2880 kJ.

Taxa de Respiração

A respiração dos frutos é medida através da taxa de respiração. A taxa de respiração está relacionada com a perecibilidade dos frutos.

Na seguinte figura pode-se comparar a longevidade pós colheita e a taxa de respiração.



Fonte: www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual_II.pdf

Fig.1 – Relação entre a longevidade e a taxa de respiração dos produtos

Verifica-se que a taxa de respiração dos frutos é inversamente proporcional à longevidade pós colheita. Quanto mais elevado o valor da taxa de respiração, mais rapidamente se degrada o fruto e menor será o seu tempo de vida útil. Para minimizar a taxa de respiração dos frutos é necessário conceber sistemas de manuseamento eficazes com controlo da composição atmosférica.

Na seguinte tabela apresenta-se alguns produtos classificados com as suas taxas respiratórias.

Tabela 1 – Comparação das taxas de respiração de diferentes produtos

Classe	Respiração 5 °C (mg CO.kg.h)	Produtos
Muito reduzida	< 5	Frutos secos
Reduzida	5-10	Macã, limão, uva, kiwi, alho, cebola, batata
Moderada	10-20	Damasco, banana, cereja, pêssego, nectarina, pêra
Elevada	20-40	Morango, abacate, amora, framboesa, couve-flor.
Muito elevada	40-60	Feijão rasteiro, couve-de-bruxelas.
Extremamente elevada	>60	Espargo, brócolo, cogumelo, ervilha, espinafre.

Fonte : www.esb.ucp.pt/spiral/

Através da tabela 1 pode-se verificar que a taxa respiratória difere consoante o produto. Os produtos utilizados ao longo deste trabalho, peras e maçãs, têm taxas de respiração consideradas moderadas.

A taxa respiratória aumenta duas a três vezes por cada 10°C de aumento de temperatura e diminui com a diminuição de oxigénio na atmosfera, enquanto o efeito do dióxido de carbono em geral tem o efeito contrário, embora o seu efeito dependa do tipo e maturidade de produto, da gama de concentrações e do tempo de exposição [13]. Por exemplo, elevados níveis de dióxido de carbono podem causar danos nos tecidos e deste modo induzir um aumento da taxa respiratória.

3.2. Transpiração

A transpiração está relacionada com a evaporação da água dos tecidos, pois a partir do momento em que os produtos hortofrutícolas são separados da “planta-mãe”, a água necessária ao seu desenvolvimento deixa de ser reposta. A transpiração indica a perda de água que ocorre na superfície das células.

A lei de difusão *Fick*, determina as taxas de perda de água em diferentes situações [13]:

$$J = -DA \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1)$$

Deduzindo a equação 1:

$$J_A = K \times DPV \quad (2)$$

- J_A – Taxa de perda de água;
- K – Coeficiente de transpiração;
- DPV – Diferença entre a pressão de vapor do ar saturado e a pressão de vapor do ar ambiente.

Através da equação 2, verifica-se que a taxa de perda de água é proporcional à diferença de pressão entre o vapor saturado no interior do produto e a pressão de vapor no ar ambiente.

A taxa de perda de água é influenciada por factores relacionados com o produto e por factores ambientais.

Tabela 2 – Factores que afectam a perda de água

Factores relacionados com o produto	Factores ambientais
Razão superfície/volume	Humidade relativa
Características da superfície de evaporação	Velocidade do ar
Danos mecânicos	Temperatura
Estado fisiológico do produto	Pressão
Factores pré-colheita	Luz

Fonte: http://www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual_II.pdf

Factores relacionados com o produto

A razão superfície/volume é o principal factor relacionado com o produto. Com a perda de água o fruto torna-se seco afectando a aparência, qualidade e o valor comercial do produto.

Os danos por compressão e impacto que são causados durante a descarga do produto, alteram o movimento e compartimentação da água no interior do produto e consequentemente no aumento de perda de água.

Factores ambientais

- **Humidade relativa do ar** – Quanto menor for a humidade relativa, maior é a capacidade do ar extrair água dos produtos;
- **Velocidade do ar** – O movimento do ar em torno dos produtos reduz a resistência da camada limite e favorece a perda de água. Numa câmara frigorífica, o movimento do ar também influencia o défice de pressão de vapor, devido à maior remoção de vapor de água ao nível do evaporador;
- **Temperatura** – Quanto maior for a temperatura, maior é a taxa de perda de água. Um aquecimento do ar reduz a humidade relativa e consequentemente aumenta o défice de pressão de vapor;
- **Pressão** – A taxa de perda de água aumenta com a redução de pressão;

- **Luz** – A perda de água tende a aumentar com o aumento da intensidade luminosa e com o aumento da duração de exposição à luz.

Através dos factores relacionados com o produto pode-se adoptar um conjunto de métodos para reduzir a perda de água nos produtos.

Tabela 3 – Métodos para reduzir a perda de água nos produtos

Condições ambientais	Reduzir a temperatura
	Manter humidade relativa elevada
	Evitar movimento de ar excessivo
	Minimizar as flutuações de temperatura
Tratamento aos produtos	Prevenir os danos mecânicos durante o após colheita
	Arrefecimento rápido logo após a colheita
	Embalagens que funcionem com barreiras à humidade

Fonte: http://www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual_II.pdf

Danos efectuados pela Transpiração

Os danos devido à perda de água são relevantes na qualidade do produto transmitindo em perdas quantitativas e qualitativas.

Perdas quantitativas

- A perda de água como indica o nome, reflecte-se em diminuição de peso e consequentemente no valor de venda dos produtos [13];
- Este processo é uma das causas do fim da vida pós colheita devido à aparência do produto, levando à desqualificação de lotes [13].

Perda de peso → Diminuição da margem de lucro do produto

Perdas qualitativas

- A perda de água nos produtos hortofrutícolas fomenta um aspecto murcho e engelhado [13];
- Acelera o aparecimento de danos causados pelo frio e dos danos mecânicos [13];
- Depreciação da textura: amolecimento, flacidez, redução da sensação do aroma [13];
- Depreciação do valor nutritivo [13].

3.3. Etileno

O etileno (C_2H_2) é uma hormona natural proveniente do metabolismo do produto, que produz enzimas e que causa as respostas fisiológicas [12].

O etileno acelera o amadurecimento e a senescência do produto, aumentando a velocidade de degradação da clorofila e o amolecimento dos produtos. Nos frutos climatéricos a taxa de produção de etileno aumenta em paralelo com a taxa de respiração e com o aumento de maturação. Os danos físicos, as doenças e o aumento de temperatura também provocam a libertação de etileno.

Aumento da taxa de Respiração → Maior libertação de etileno → Veloz maturação

Verificou-se que os três factores biológicos descritos (respiração, transpiração e acção do etileno), podem levar a uma degradação rápida do produto, devendo ser controlados por um conjunto de factores ambientais que possibilitam o retardamento das alterações indesejáveis.

Conforme será observado mais adiante os factores geralmente manipulados nos processos de conservação de produtos hortofrutícolas em estado fresco são a temperatura, humidade relativa e a composição da atmosfera circundante.

4. Operações na fase de produção

Para que o produto chegue ao consumidor na sua melhor qualidade é necessário que a colheita seja realizada em condições óptimas, de forma a atingir o melhor sabor e aroma no consumidor. De seguida serão descritas as várias operações na fase de produção.

4.1. Colheita

O sucesso da colheita começa por depender do planeamento feito desde as fases iniciais de produção. O critério para decidir quando o produto deve ser colhido depende de produto para produto. A decisão da data de colheita é um aspecto fundamental no processo de conservação.

Os critérios que influenciam a decisão da colheita são os seguintes: [14]

- Índices de maturação;
- Produtividade;
- Preços antecipados pelo produto;
- Condições climáticas no campo.

Os parâmetros usados para caracterizar a qualidade dos frutos e determinar a data óptima de colheita, são o teor em açúcares e a dureza dos frutos. O teor de açúcar é medido pelo índice refractómetro, que aumenta progressivamente com o aproximar da maturação [13].

O ponto ideal pela firmeza da polpa é medido através do aparelho penetrómetro; a cor de fundo da epiderme é comparada com tabelas de cores e pelo teste iodo-amido. Neste processo, o fruto é cortado ao meio e a superfície da polpa colocada em contacto com a solução de iodo, reagindo pelo escurecimento da fruta. Os frutos com tonalidades mais escuras não alcançaram suficiente grau de maturação.

Os frutos colhidos verdes são impróprios para armazenamento, por perderem peso e serem susceptíveis a alterações fisiológicas. Do mesmo modo, os frutos sobre maduro são susceptíveis a podridões e têm vida curta após a colheita [15].

4.2. Preparação

O produto antes de ir para armazenamento terá que passar por um conjunto de operações de preparação com o objectivo de aumentar o tempo de vida útil. Entre as operações comuns contam-se as seguintes:

- Descarga;
- Triagem;
- Lavagem do produto;
- Calibração;
- Aplicação de revestimentos (ceras);
- Embalamento.

Estas operações assentam sobretudo em processos físicos, mas que podem causar respostas biológicas, químicas e físicas nos produtos. Devem ser efectuadas com o cuidado de minimizar os danos que os produtos irão eventualmente sofrer, uma vez que estes condicionarão a qualidade do produto final [14]. Estas operações são habitualmente feitas em instalações ou do produtor ou em associações de produtores/cooperativas. Podem no entanto, realizar-se logo no campo.

4.2.1. Descarga do Produto

O produto deve ser retirado da caixa ou contentor de colheita o mais suavemente possível. Os processos de transferência classificam-se [14]:

- Transferências em água;
- Transferências a seco.

Se o produto o permitir, a transferência a água (clorada) diminui os choques. A sanidade da água tem de ser assegurada para evitar a disseminação de inoculo de patogénios. A sanidade pode ser assegurada com 50-200 ppm de cloro activo e valores de pH entre 6,5 e 7,5 [14].

Quando efectuada a seco, o uso de rampas e tapetes rolantes atenua os choques, podendo estes apresentar mesmo rolos almofadados. Na descarga é necessário este tipo preparação para que a fruta tenha um tempo de vida útil superior.

4.2.2. Triagem do produto

Depois do produto ser descarregado efectua-se uma primeira selecção com o intuito de rejeitar produto, que não irá ser comercializado. O produto que irá ser rejeitado é produto mal formado, com danos de parasitas que contaminam os produtos que estão à sua volta, devendo este produto rejeitado ser retirado para contentores próprios, de forma a evitar que se cruze novamente com produto são [14].

4.2.3. Lavagem do produto

A lavagem do produto tem como objectivo remover a sujidade. No entanto, a lavagem pode constituir um ponto crítico na preparação do produto e só deve ser feita se for imprescindível. A água superficial é um meio de desenvolvimento microbiano, por isso, a temperatura da água e a concentração de cloro tem de ser controlados. Para se reduzir a actividade microbiológica é conveniente que depois da lavagem se remova a água superficial, o que habitualmente é feito por centrifugação. Este tipo de secagem tem o inconveniente de alterar negativamente o aspecto físico do produto [17].

Estes tipos de sistemas devem garantir uma lavagem eficiente com um mínimo de danos mecânicos.

4.2.4. Calibragem

A calibragem ou selecção de frutas tem o objectivo de separar a fruta por tamanhos, cor, forma, consistência e valor comercial. As operações de selecção e de classificação conferem ao produto uma mais-valia, porque a percepção da qualidade depende da uniformidade de um lote ou de uma embalagem. A calibração efectua-se manualmente ou mecanicamente. Na calibração manual é utilizada anéis de calibre que se utilizam para medição do diâmetro da fruta.



Fig. 2 - Calibragem do Produto

Fonte: www.esb.ucp.pt/spiral

4.2.5. Aplicação de ceras

As ceras aplicadas substituem o aspecto natural que foram perdidas na limpeza e na lavagem e, por outro lado, minimizam as perdas de água. A aplicação da cera confere um brilho à fruta, o que é um importante chamativo durante a comercialização [17].

4.2.6. Embalamento

Os objectivos da embalagem é acondicionar, proteger, informar e vender o produto. A embalagem desempenha diversas funções que se pode agrupar em duas categorias:

- Funções técnicas relacionadas com a protecção, transporte, armazenamento, utilização e eliminação de produtos [14];
- Funções de comunicação, relacionadas com a venda, informações ao consumidor, identificação do produto, atracção visual [14];



Fonte: www.esb.ucp.pt/spiral

Fig.3 – Exemplo de Embalagem

As embalagens devem cumprir os seguintes requisitos fundamentais [14]:

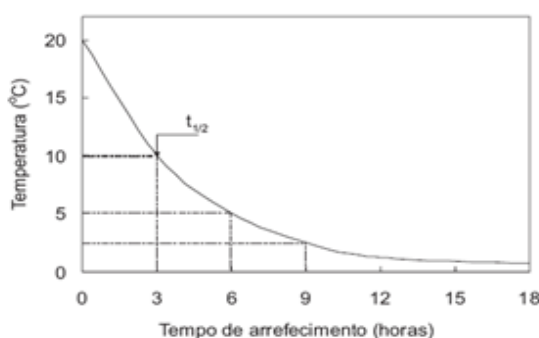
- Possuir resistência mecânica suficiente para proteger o conteúdo durante o manuseamento, transporte e enquanto estiverem empilhadas;
- A embalagem deve estabilizar e imobilizar os produtos, evitando o seu movimento dentro da embalagem durante o manuseamento e transporte;
- Cumprir exigências de manuseamento e de comercialização, em termos de peso, tamanho, e forma;
- Permitir o arrefecimento rápido (pré-arrefecimento) do conteúdo e/ou um certo grau de isolamento do calor ou de frio exteriores;
- Identificar o conteúdo, conter instruções de manuseamento, auxiliar a apresentação do produto no ponto de venda, através de informação completa e correcta na etiqueta;
- Ser económica, em relação aos benefícios

5. Pré-Arrefecimento do Produto

Os produtos depois de passarem por toda a parte de preparação passam pelo processo de pré arrefecimento. Este processo tem o objectivo de remover o calor sensível para assegurar a máxima longevidade de vida do produto, após este ser colhido. A rapidez com que o produto é arrefecido está claramente relacionada com a redução do processo de respiração, perda de água e indirectamente como desenvolvimento de microrganismos. O processo de arrefecimento pode ocorrer simplesmente na câmara de conservação, mas é vantajoso que antes do armazenamento na câmara de conservação o produto efectue uma operação de arrefecimento rápido ou pré arrefecimento.

Os dois factores mais importantes para um arrefecimento bem sucedido são a temperatura e o tempo, ou seja, o fruto deve ser arrefecido no mais curto espaço de tempo.

Através da seguinte figura observa-se a evolução da temperatura ao longo do tempo de arrefecimento.



Fonte: http://www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual_II.pdf

Fig. 4 - Evolução da temperatura ao longo do tempo de arrefecimento

Observa-se que à medida que o tempo de arrefecimento aumenta a temperatura diminui. No entanto verifica-se que é durante as primeiras horas que existe uma diminuição significativa de temperatura, e que após algumas horas é necessário demasiado tempo para pequenos decréscimos de temperatura, ou seja, o produto ao ser arrefecido, inicialmente sofre uma diminuição rápida de temperatura, e em seguida seu processo sofre um arrefecimento mais lento.

É por esta razão que para o pré arrefecimento é recomendado $7/8^{\circ}\text{C}$ de diferença entre a temperatura inicial e a temperatura refrigeração [13].

Assim, o produto entra na câmara de conservação sendo só necessário remover $1/8$ do calor. Este valor é removido gradualmente com um menor custo energético.

5.1. Métodos de pré arrefecimento

De seguida são descritos os principais métodos de pré arrefecimento para conservação de fruta:

5.1.1. Arrefecimento com circulação natural de ar

É o método mais simples e o mais lento, para arrefecer os produtos. Neste método os produtos são colocados em câmaras frigoríficas convencionais onde são arrefecidos pelo contacto com o ar. Como a velocidade do ar é reduzida e o processo é lento e demora dias a atingir os 7/8°C de arrefecimento, o que provoca na polpa do produto um elevado défice de pressão de vapor, o que origina perdas de água apreciáveis [13]. Este tipo de pré-arrefecimento é satisfatório para produtos que tem taxas de respiração baixas.

5.1.2. Arrefecimento por ar forçado

O sistema de arrefecimento por ar forçado é o adoptado para a estação fruteira.

Com o aumento da velocidade do ar e da capacidade de refrigeração o tempo necessário para o mesmo arrefecimento é apenas 10 a 25% do tempo necessário para atingir o mesmo arrefecimento em câmara.

O problema apresentado deste método é perda de água, que depende principalmente da humidade relativa e da velocidade do ar utilizadas no processo.

Para diminuir a perda de água, pode-se utilizar uma atmosfera praticamente saturada com água e até humedecer as frutas antes de iniciar o pré arrefecimento, ou então aumenta-se a humidade relativa [8].

5.1.3. Arrefecimento por água

Os sistemas de arrefecimento por água removem o calor latente com água fria. Este processo torna-se mais eficiente no arrefecimento porque o calor específico da água é superior ao do ar, o que para o volume de água pode-se remover mais calor do que para o mesmo volume de ar à mesma temperatura. Este sistema utiliza dois processos ao mesmo tempo, ou seja, ao mesmo tempo que faz o pré arrefecimento faz a lavagem do produto, o que diminui o tempo de preparação. Este sistema pode ser aplicado por aspersão, duche ou imersão [15]. Uma das desvantagens deste sistema é a possibilidade de contaminação, visto que a água pode ser um meio de desenvolvimento microbológico, o que deve ser desinfectada. Este sistema requer um frequente monitoramento do pH da água (quando da utilização de produtos à base de cloro), que deve ficar em torno de 7,0. Quando apresenta um pH baixo (<6,5) os problemas de corrosão e liberação de cloro tóxico aumentam muito, e quando tem um pH alto (>7,5) o cloro utilizado fica inactivo [15].

Este processo é vantajoso por ser mais rápido que o ar forçado e não causa perdas de água, no entanto, tem a desvantagem do custo ser bastante elevado.

Para propiciar resultados positivos, deve ser executado de maneira correcta. Entretanto, pouco vale um perfeito sistema de pré-arrefecimento se a armazenagem ocorrer em temperatura, humidade relativa do ar ou concentrações de gases inadequadas.

6. Factores influentes na Conservação de produtos hortofrutícolas

Após o processo de pré-arrefecimento do produto, segue-se a conservação. Este processo pretende minimizar o efeito dos factores biológicos referidos no capítulo 3, através da aplicação de condições adequadas. Deste modo, para que os produtos consigam chegar ao consumidor final com qualidade, têm de ser conservados durante um período de tempo com a utilização do frio. Este processo da utilização do frio é o factor que mais contribui para o retardamento dessas alterações indesejáveis.

No entanto as condições ambientais desejadas para uma conservação eficaz podem ser controladas através da temperatura, humidade relativa, circulação do ar e composição da atmosfera.

6.1. Temperatura

A temperatura é o factor pós colheita mais importante na conservação de produtos hortofrutícolas. Para garantir a qualidade e aumentar a vida pós colheita dos produtos, é necessário arrefecer rapidamente para a temperatura mínima de segurança, logo após a colheita, mantendo o frio até à distribuição do produto.

A diminuição da temperatura no produto, após a colheita tem um papel determinante apresentando vantagens:

- Reduz a actividade metabólica, causando uma redução da produção de etileno e perda de água [11];
- Prolonga a vida pós-colheita de frutas e hortaliças, reduzindo a taxa de depreciação da sua qualidade [11].

Deve-se evitar temperaturas que possam causar distúrbios fisiológicos pelo frio (*chilling*) e temperaturas de congelamento. As flutuações de temperatura são, na maioria dos casos, responsáveis pela condensação de água sobre os produtos armazenados, favorecendo o desenvolvimento de podridões.

6.2. Humidade relativa

A humidade relativa é um dos factores importantes para manter a qualidade do produto, e quando acentuada reflecte-se na aparência e perda de peso do mesmo. A humidade relativa é uma medida de água no ar, ou seja, é a concentração de vapor de água no ar. Para a maioria dos produtos as condições de humidade relativa do ar para a sua conservação óptima, encontram-se na ordem dos 90-95 %. Abaixo destes valores, poderão ocorrer perdas de água e, por outro lado, a humidade relativa próxima do ponto de saturação (98%-100%) poderá ocasionar o desenvolvimento de microrganismos causadores de doença, assim como cortes na superfície do produto [13].

Assim, para obter um produto com as propriedades organoléptica óptimas, a humidade relativa terá que ser mais alta, quanto mais baixa for a temperatura.

6.3. Circulação do ar

O ar é o meio de transporte de calor da fruta e do calor que penetra pelas paredes, tecto e pavimento da câmara para o fluido refrigerante do evaporador [15].

A circulação do ar é necessária em torno da carga, de modo a uniformizar a temperatura, impedindo a elevação da humidade no produto.

A uniformidade desta circulação é conseguida pela adequada localização dos ventiladores e pelo posicionamento das paletes ou dos paloxes, que devem ser empilhados de modo a permitir um fluxo livre na direcção apropriada [15].

6.4. Composição da atmosfera

A composição da atmosfera é conhecida pelo controlo/alteração nos conteúdos de dióxido de carbono e de oxigénio. A composição da atmosfera do ar tem influência na manutenção da qualidade, na medida em que altos teores de CO₂ (> 0% do ar ambiente) e baixos teores de O₂ (< 21% do ar ambiente) podem diminuir a respiração. O objectivo de alterar a atmosfera é aumentar o tempo de vida útil do produto e respectivo tempo de armazenagem.

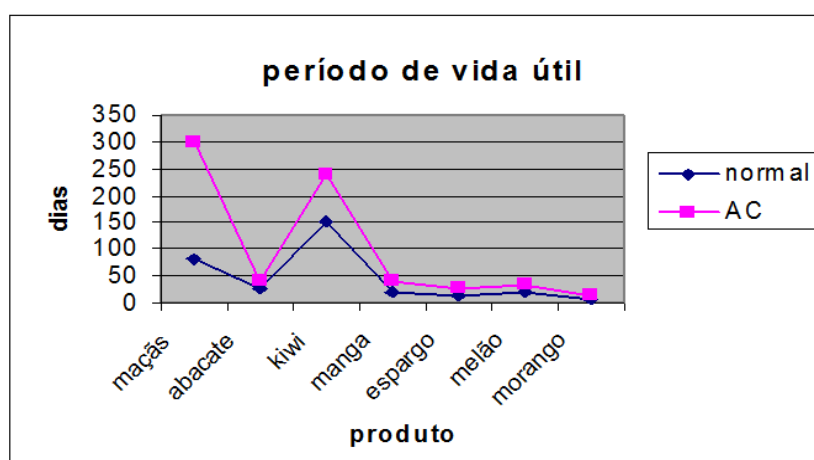
7. Armazenamento em câmara frigorífica com Atmosfera Controlada

Para retardar o processo de respiração e conseqüentemente a produção de etileno do produto, terá que se adoptar um sistema de monitorização de CO₂ e de O₂.

Este tipo de sistema designa-se «atmosfera controlada (AC)» e implica a alteração das concentrações de gases na atmosfera normal [13].

Os sistemas de monitorização e controlo medem e ajustam periodicamente as concentrações de O₂ e de CO₂ à medida que elas se vão alterando devido à actividade metabólica dos produtos [13]. Actuam principalmente na diminuição da concentração de O₂ e no aumento de CO₂, em relação às concentrações normalmente encontradas na atmosfera. Nestas condições, com a monitorização de O₂ e de CO₂, diminui a velocidade de metabolismo do fruto, e conseqüentemente diminui a taxa respiratória e a produção de etileno, prolongando a vida útil do fruto num período de armazenagem superior.

Através da figura 5, pode-se comparar o período de vida útil do produto armazenado em atmosfera controlada (AC) e atmosfera normal.



Fonte: Santos, Gonçalves, Sebenta da Unidade Curricular de Instalações Frigoríficas

Fig. 5 – Comparação do período de vida útil do produto armazenado em atmosfera controlada e normal

Torna-se evidente que a utilização da atmosfera controlada ao longo da cadeia hortofrutícolas apresenta resultados favoráveis para o produto quando comparada com atmosfera normal.

Observa-se que o período de vida útil depende do género, e que o investimento é compensável só para alguns produtos. O regime de atmosfera controlada apresenta uma

grande vantagem para a maçã, visto que esta consegue ficar armazenada durante um período de 300 dias.

A atmosfera controlada consegue com que o produto alcance um período de vida útil superior, mantendo a qualidade necessária para o consumidor. Terá que obter um maior controlo nas concentrações para evitar a respiração anaeróbica e a toxicidade por excesso de CO₂.

Tecnologias da atmosfera controlada

A atmosfera controlada convencional armazena o produto com concentrações de O₂ entre 2,5 % a 3% e CO₂ de 2,5 % a 3,8 % [1]. Com desenvolvimento das tecnologias da atmosfera controlada tornou-se possível reduzir as concentrações de O₂ em torno de 1,5 %, valores que se passaram a designar por *low oxygen* (LO) [13].

Mais tarde, as concentrações de O₂ e CO₂ desceram para 1 % e 0,5-1 % respectivamente, valores que passaram a designar por *ultra low oxygen* (ULO). Este sistema utiliza-se no armazenamento de maçãs e peras, pelas suas vantagens. Este sistema mantém a firmeza de polpa com níveis de sólidos solúveis totais e acidez, e reduz a escaldadura e a degenerescência interna, podendo reduzir a sensibilidade ao CO₂. Necessita, porém, de uma boa estanqueidade da câmara, controle automático da concentração de fases, um adequado empilhamento da câmara e uma temperatura baixa [13].

O *hiper low oxygen* é usado em concentrações abaixo de 1% de O₂ e CO₂. Baixo oxigénio inicial (ILO – *Initial low oxygen*) condição em que a maçã fica exposta a concentrações de oxigénio abaixo de 1% por um período de 1 a 4 semanas, ou pouco mais.

Não existem notícias da sua aplicação na prática do armazenamento de maçãs e de peras nestes dois últimos sistemas descritos.

Através da tabela 4 pode-se verificar a quantidade de O₂ e CO₂ a utilizar nos diferentes sistemas.

Tabela 4 – Quantidades de O₂ e CO₂

Gás	AC convencional	L.O	U.L.O	H.L.O	I.L.O
O ₂	3%	1,4 -1,8 %	1,0-1,3%	< 1%	< 1%
CO ₂	2,5 -3,8%	1,5 - 2,0%	< 1%	< 1%	< 1%

Fonte:http://www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual_II.pdf

Em relação à regulação da composição da atmosfera, considera-se a atmosfera controlada dinâmica, em que as concentrações de O₂ e de CO₂ são alteradas continuamente durante o período de armazenamento em função do comportamento fisiológico da fruta. Em relação ao etileno, nalguns sistemas a atmosfera controlada é combinada com equipamentos de remoção do etileno, utilizada para o armazenamento de frutas muito sensíveis ao etileno, como variedades de maçã e pêra. De um modo geral, reduz os efeitos negativos do etileno e mantém melhor as características organolépticas da fruta.

A atmosfera controlada diferida consiste em armazenar o produto em frio normal durante um período de tempo (3 semanas a 4 meses), depois reduz-se a concentração de O₂ e se aumenta a concentração de CO₂. Pode ser pouco prático de implementar. Tem vantagens em algumas variedades de peras [13].

Quando se identificaram os efeitos negativos da atmosfera controlada em alguns produtos, estudou-se a possibilidade de alternar períodos de armazenamento em atmosfera controlada com períodos de armazenamento em frio normal. Os resultados da atmosfera controlada interrompida foram variáveis, positivos em alguns produtos e modalidades, negativos em outras e, por vezes, nenhuma vantagem foi observada [15].

A regulação na diminuição de O₂ e no aumento de CO₂ é obtida através de um queimador de O₂ e de um absorvedor de CO₂. Para o armazenamento de maçãs e peras optou-se por um sistema de atmosfera controlada com uma concentração de O₂ entre 1% e 1,3 % a e a concentração de CO₂ < 1%. O sistema utilizado é *ultra low oxygen*.

7.1. Vantagens da atmosfera controlada

A redução da concentração atmosférica de O₂ ou a elevação dos níveis de CO₂ podem ter os seguintes efeitos benéficos [6]:

- Retardar a senescência e o amadurecimento e as alterações fisiológicas que lhes estão associadas (respiração, produção de etileno, alterações na textura e na composição);
- Reduzir a síntese de etileno desde que a concentração de O₂ seja inferior a 8% e reduzir a sensibilidade ao etileno se a concentração de CO₂ for superior a 1%;
- Aliviar alguns acidentes fisiológicos, tais como a susceptibilidade a danos causados pelo frio em alguns produtos, o *escaldão* na maçã e na pêra e o *russet spotting* na alface;
- Influenciar directa ou indirectamente os patogénios, reduzindo a ocorrência e a severidade das podridões;

7.2. Desvantagens da atmosfera controlada

A redução da concentração atmosférica de O₂ ou a elevação dos níveis de CO₂ podem ter as seguintes desvantagens [6]:

- Investimento inicial elevado;
- Possibilidade de ocorrência de distúrbios fisiológicos consequentes de danos pelo baixo O₂ e o alto CO₂;
- Limitação da abertura das câmaras para a remoção de lotes de frutas;
- Amadurecimento irregular de frutos ;
- Aromas e odores desagradáveis resultantes da respiração anaeróbia;
- Maior necessidade de mão-de-obra qualificada para o acompanhamento diário das câmaras.

8. Segurança Alimentar

A garantia da segurança alimentar implica a redução dos riscos associados aos alimentos. No caso dos produtos hortofrutícolas, a segurança alimentar garante-se com a implementação dos seguintes procedimentos: [16]

- Boas práticas alimentares;
- Boas práticas de manuseamento ou boas práticas de processamento;
- Procedimentos definidos para operações (Standard Operating Procedures, SOP). SOP são referências escritas (protocolos) que descrevem uma sequência de eventos necessários para desempenhar uma tarefa;
- Procedimentos definidos para operações de sanidade (Sanitation Standard Operating Procedures, SSOP);
- HACCP, Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controlo (Hazard Analysis Critical Control Points).

A figura seguinte esquematiza a hierarquia dos programas de garantia da segurança alimentar.



Fonte: http://www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual_II.pdf

Fig. 6 – Esquema da hierarquia dos programas da segurança alimentar

8.1. Sistema de segurança do HACCP

O HACCP (Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos), é um sistema preventivo de controlo da segurança alimentar [19];

- Identifica os perigos específicos e as medidas preventivas para o seu controlo em todas as etapas de produção;
- Baseia-se numa abordagem sistemática, documentada e verificável.

No caso concreto da maçã e pera pretende-se, com esse sistema, estabelecer critérios adequados de boas práticas agrícolas, para obter uma fruta livre de contaminação de origem química, física e microbiológica, permitindo uniformizar a adopção de procedimentos que assegurem a qualidade da fruta produzida. Na actividade de pós-colheita, o sistema será implementado conforme os seus princípios, assegurando a qualidade e da segurança da fruta comercializada, exigidas pelos mercados consumidores.

8.1.1. Princípios do HACCP

1. Identificar os potenciais perigos associados à produção de um dado alimento. Determinar a probabilidade de ocorrência dos perigos e identificar as medidas preventivas para o seu controlo [16];
2. Determinar os pontos que podem ser controlados para eliminar os perigos ou minimizar a sua probabilidade de ocorrência [16];
3. Estabelecer limites críticos, que assegurem que cada Ponto Crítico (PCC) está sob controlo [16];
4. Estabelecer um sistema de monitorização para assegurar o controlo de cada PCC através de testes ou observações programadas [16];
5. Estabelecer a acção correctiva a ser tomada quando a monitorização indica que determinado PCC não está dentro do limite estabelecido [16];
6. Estabelecer os procedimentos de verificação, incluindo os testes e procedimentos complementares, destinados a confirmar que o sistema HACCP funciona eficazmente [16];

7. Estabelecer a documentação respeitante a todos os procedimentos e registos apropriados a estes princípios e à sua aplicação [16];

O sucesso da aplicação do sistema HACCP inclui o cumprimento das várias pessoas, desde a direcção aos operadores, que devem respeitar todos os pré-requisitos do sistema.

9. Legislação alimentar

A qualidade e a segurança alimentar dos produtos disponibilizados aos cidadãos da União Europeia continua a ser uma preocupação. As Leis, Regulamentos e Directivas (gerais e sectoriais), controlam muitos aspectos da produção de alimentos e são, frequentemente reforçados pelos governos nacionais através de regulamentos locais. É fundamental que os intervenientes conheçam a legislação alimentar aplicável à conservação e distribuição de produtos alimentares [16];

Encontra-se identificada a legislação nacional e comunitária relacionada com a venda e comercialização de produtos hortícolas. Foi seleccionada a legislação que foi considerada mais representativa:

- Regulamento (CE) nº 907/2004 – Normas de comercialização aplicáveis às frutas e produtos hortícolas frescos no respeitante à apresentação e à marcação;
- Regulamento (CE) nº 408/2003 – Relativo aos controlos de conformidade com as normas de comercialização aplicáveis no sector das frutas e produtos hortícolas frescos.

10. Descrição de Estação Fruteira

A estação fruteira localiza-se nas Caldas da Rainha. A região foi escolhida pelo facto de estar em ascensão devido à instalação de novos pomares. É um factor importante para o fornecimento da fruta que é adquirido directamente do produtor visando uma melhor qualidade e preço, para atender ao mercado interno e externo. A estação fruteira é constituída por um único piso.

A seguinte tabela apresenta todos os locais que constituem a estação fruteira:

Tabela 5 – Locais da estação fruteira

Local	Área (m ²)	Pé Direito (m)
Câmara Frigorífica Maças 1	416	6
Câmara Frigorífica Maças 2	416	6
Câmara Frigorífica Maças 3	416	6
Câmara Frigorífica Perês 1	416	6
Câmara Frigorífica Perês 2	416	6
Câmara Frigorífica Perês 3	416	6
Corredor	290	3
Túnel Pré-Arrefecimento	225	6
Zona Lavagem, Triagem e Calibragem	1136	6
Armazenamento de Paletes, Paloxes e Caixas	712	6
Sala Empilhadores	30	6
Sala Máquinas	290	3
3 Gabinetes	72	6
Sala Arrumos	8	6
Vestiários Homens	20	6
Vestiários Mulheres	20	6
I.S. Homens	12	6
I.S. Mulheres	12	6
Corredor Administrativo	73	6
Total	5396	

No Anexo 1 – Lista de Desenhos (Desenho nº1), é possível visualizar-se a planta da unidade industrial.

A estação fruteira foi dimensionada de forma a ser completamente estanque, para tal foram utilizados materiais de forma a assegurar uma adequada instalação em condições adversas.

10.1. Pavimentos

Os pavimentos das instalações de refrigeração de frio positivo (acima de 0 °C) não necessitam de nenhum tratamento particular sob o pavimento. No entanto, para evitar a penetração de humidade ascendente será construído um desvão sanitário. O pavimento da estação será isolado com aglomerado negro de cortiça com uma espessura de 0,15 m. A escolha do isolamento de aglomerado negro de cortiça para aplicação no pavimento deve-se pelo facto de ter uma grande resistência à compressão.

10.2. Tectos

O método de construção do tecto da central fruteira é do tipo tecto suspenso, para conseguir um completo envelope térmico e de vapor, e permitir a passagem de tubagens de redes da infra-estrutura e também as respectivas actividades de inspecção e manutenção. O tecto é isolado com painéis isotérmicos do tipo *sandwich*, com isolamento em poliuretano injectado com um peso específico de 35 kg/ m³.

O isolamento é colocado directamente sob o tecto em vez de colocado na estrutura do telhado. As instalações de refrigeração devem possuir sistemas de ventilação ou renovação do ar para não existir condensações evitando a corrosão da estrutura.

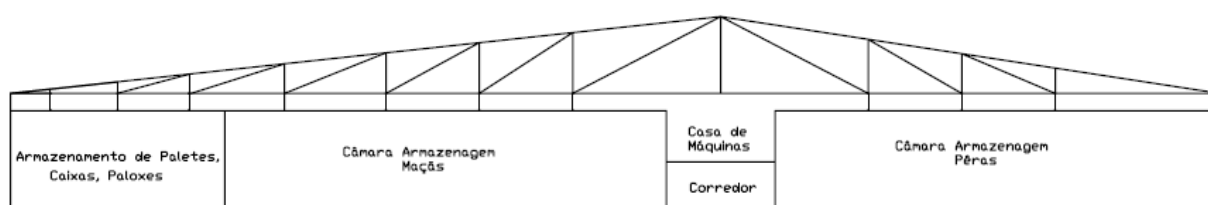


Fig. 7 – Representação do tecto da central fruteira

10.3. Paredes

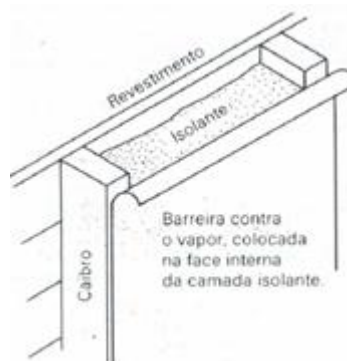
A construção das paredes deve ser concebida de forma que o menor número possível de elementos penetre na estrutura envolvente do isolamento. A câmara de conservação de refrigerados é isolada com o mesmo material do tecto, ou seja, com painéis isotérmicos do tipo *sandwich*, com isolamento em poliuretano injectado. Os painéis são construídos em chapa galvanizada de 0,8 mm, lacada no exterior e interior, sendo a sua espessura de 80 mm.



Fonte: www.absoger-france.fr

Fig. 8 – Aplicação dos painéis isotérmicos

A face quente do painel em chapa metálica constitui uma barreira ao vapor eficiente, sendo apenas necessário ter cuidado na execução das juntas que devem ser colmatadas com produtos do tipo *mastic* que não permitam a passagem do vapor.



Fonte: www2.ufp.pt/jguerra/PDF/.../Impermeabilizacoes.pdf

Fig. 9 – Barreira de vapor

A existência de barreira de vapor é um elemento importante para aumentar o tempo de vida útil da central fruteira. A humidade que penetra no isolamento diminui a eficiência térmica, aumentando a perda de energia, danificando o isolamento, por outro lado, a perda de eficiência do isolamento térmico ocasiona um aumento na carga térmica de refrigeração, o que por sua vez ocasiona um aumento no consumo de energia eléctrica na instalação.

10.4. Portas

Para a selecção das portas teve-se em conta vários factores, nos quais se incluem:

- As portas devem ser revestidas por uma leve chapa metálica ou de plástico que reforçam a protecção das portas. Portas em áreas mais sujeitas a choques devem ser protegidas com chapas metálicas mais grossas, na sua totalidade;
- As portas de maior dimensão ou operadas com mais frequência e sujeitas a danos, devem possuir igualmente protecções laterais nas paredes e, eventualmente, para segurança das pessoas deverão ter protecção nas zonas de passagem;
- As portas devem estar localizadas de forma a abrigar com segurança os produtos e facilitar uma operação economicamente eficaz das operações de carga e descarga;
- As dimensões específicas de uma porta podem requerer variações desta recomendação. Normalmente uma altura de 2,5 metros é adequada para a generalidade dos empilhadores utilizados.

A porta, assinalada na figura 10, será do tipo deslizante com 100mm de espessura, de duas folhas isolada a poliuretano rígido com as dimensões de 200x250 mm, forrada a chapa galvanizada e funcionamento automático.

A porta das câmaras de refrigeração de atmosfera controlada deve apresentar um anel de borracha para vedação e um dispositivo que permita pressioná-la contra o anel de borracha, para prover uma adequada estanqueidade à câmara. Deverá possuir uma janela geralmente colocada na estrutura da porta, para permitir a visualização dos produtos e a entrada de uma pessoa com o respectivo equipamento, para a colecta de amostra de frutas para avaliação da qualidade, o que evita a abertura da porta e a perda da atmosfera da câmara. Este tipo de portas utiliza-se somente em regime de atmosfera controlada.

Em câmaras com maiores dimensões, também se costuma colocar uma ou mais janelas na parte superior, atrás dos evaporadores, para verificar a formação excessiva de gelo no evaporador, alguma renovação de ar e eventual acompanhamento do estado da fruta.



Fonte: www.absoger-france.fr

Fig. 10 – Porta utilizada na estação fruteira

11. Descrição do funcionamento da Central Fruteira

A unidade possui uma zona de preparação da fruta onde se efectua a triagem, lavagem e calibragem. Este método de preparação tem o objectivo de seleccionar o produto mal formado, eliminar a sujidade e separar o produto por categorias, respectivamente.

Após o processo de preparação, a fruta é armazenada no túnel de pré arrefecimento durante um período de 10h. O produto entra a uma temperatura de aproximadamente +20°C para o túnel de pré arrefecimento. O túnel encontra-se a uma temperatura de +4°C e o produto sofre um arrefecimento até obter uma temperatura próxima de +8°C. Este arrefecimento é efectuado com circulação de ar forçado descrito no ponto 5.1.2. O túnel tem um horário de funcionamento de 10h, sendo que o produto entra no túnel às 20 h e sai às 6h.

De seguida, a fruta é armazenada nas respectivas câmaras frigoríficas com controlo de atmosfera controlada. As câmaras frigoríficas de maçãs e peras mantêm uma temperatura de +4°C e +1°C, respectivamente.

As câmaras serão dimensionadas para uma entrada diária de 4% do volume, com o produto pré arrefecido. No entanto, a direcção responsável pela central fruteira do Bombarral alertou para uma problemática existente, o excesso de produto no mesmo dia. Assim, caso haja excesso de fruta, e o túnel de pré arrefecimento não tenha capacidade de armazenamento então, o produto irá entrar directamente nas câmaras frigoríficas. Deste modo, considerou-se que as câmaras 2 e 3 de maçãs e peras têm capacidade para um excesso de 2,5 % do volume diário.

A seguinte figura apresenta as diferentes temperaturas que o produto sofre durante todo o processo, caso não haja excesso de fruta no mesmo dia:

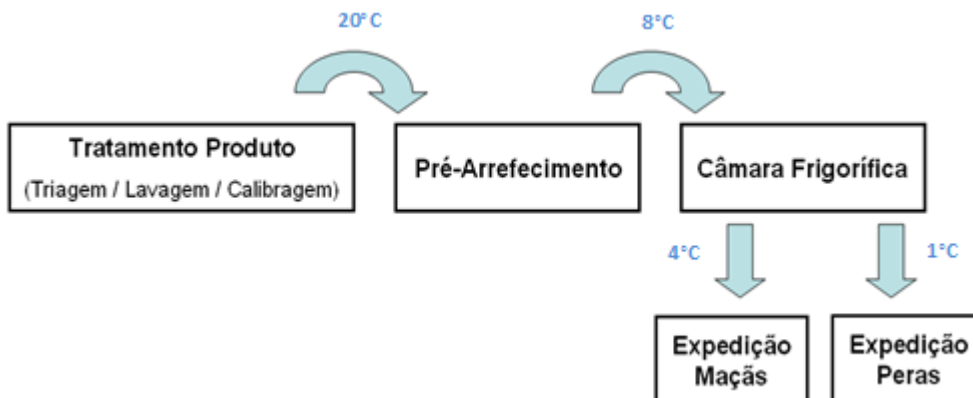


Fig.11 – Processo de funcionamento e respectivas temperaturas do produto sem excesso

Caso exista excesso de fruta produto irá sofrer as seguintes alterações de temperaturas:

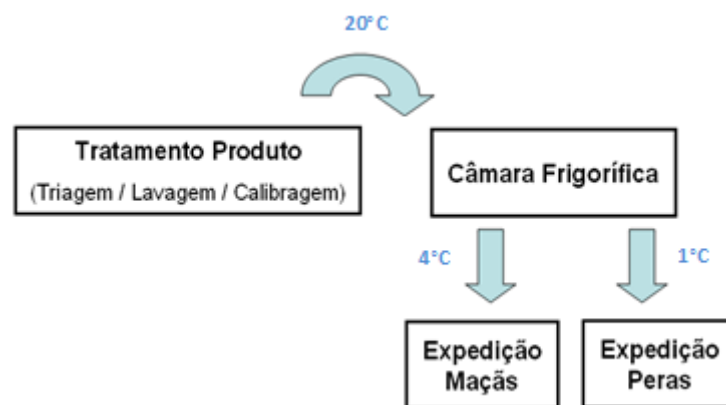


Fig.12 – Processo de funcionamento e respectivas temperaturas do produto com excesso

O processo de funcionamento do túnel de pré arrefecimento só ocorre durante a campanha, que são aproximadamente 25 dias. Depois o produto fica armazenado nas câmaras frigoríficas desde Setembro a Junho, até serem comercializados.

11.1. Fluxograma da instalação

O seguinte fluxograma resume toda a descrição acima elaborada:

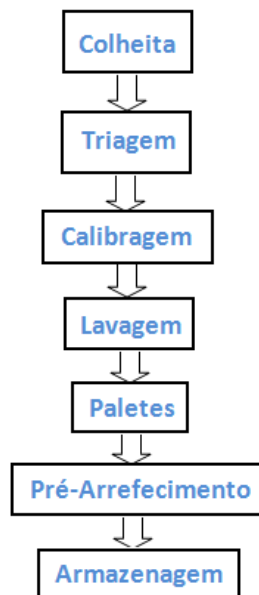


Fig.13 – Fluxograma da instalação

12. Dimensionamento dos Espaços Frigoríficos

De seguida serão dimensionados todos os espaços frigoríficos da instalação, para se proceder ao cálculo das respectivas cargas térmicas.

12.1. Dimensionamento das Câmaras Frigoríficas de Maçãs e Peras

Para o dimensionamento das câmaras é necessário o cálculo do número paletes a armazenar. A seguinte tabela apresenta os parâmetros a considerar:

Tabela 6 – Parâmetros necessários para o dimensionamento das Câmaras Frigoríficas

Produto a armazenar	Maçãs e Peras
Capacidade total da central fruteira	2400 ton
Capacidade por câmara	400 ton
Densidade de armazenagem de refrigerados	160 kg/m ³
Dimensões das paletes	1x1,2x1,7 m
Rodapé das câmaras armazenagem	0,2x0,2 m
Dimensões das portas	2x2,5 m
Altura das câmaras	6 m

Este projecto é constituído por 6 câmaras frigoríficas, das quais 3 armazenam peras e outras 3 armazenam maçãs, e ainda por um túnel de pré arrefecimento.

Cada câmara tem uma capacidade de fruta de 400 toneladas, assim o dimensionamento será calculado simplesmente para uma única câmara.

Verifica-se através do quadro acima apresentado que as dimensões das paletes são de 1x1,2x1,7 m, estando contabilizado 0,2m de altura devido aos seus pés [6].

A altura das câmaras é de 6 m, a estiva é efectuada a 3 alturas, o que totaliza 5,1 m de altura, restando 0,9 m para a circulação do ar [6].

Cálculo do número de paletes:

É necessário determinar o volume útil de cada câmara frigorífica. Este é determinado, pela relação da massa (kg) e densidade do produto (kg/m³).

$$d = \frac{M}{V} \Leftrightarrow V = \frac{M}{d} = \frac{400.000}{160} = 2500\text{m}^3$$

Depois de determinado o volume útil, obtém-se as dimensões de uma câmara frigorífica:

$$26 \times 16 \times 6 \text{ m}$$

Para o cálculo do número de paletes considerou-se que uma câmara armazena 24 paletes no seu comprimento e 5 paletes na sua largura a uma estiva de 3 alturas, o que perfaz um total de 360 paletes de cada lado. Assim a câmara frigorífica apresenta um total de 720 paletes:

$$n_{\text{paletes}} = 24 \times 5 \times 3 \times 2 = 720 \text{ paletes}$$

No Anexo 1 – Lista de Desenhos (Desenho nº2), visualiza-se todas as dimensões das câmaras, com as respectivas paletes.

12.2. Dimensionamento do Túnel de Pré-Arrefecimento

Para o cálculo da capacidade de armazenagem do túnel de pré arrefecimento, é necessário ter em conta os seguintes parâmetros:

Tabela 7 – Parâmetros necessários para o dimensionamento do túnel pré-arrefecimento

Produto a armazenar	Maçãs e Peras
Dimensões das paletes	1x1,2x1,7 m
Dimensões da caixa de fruta	0,3x0,6x0,3 m
Dimensões da porta	2x2,5 m
Altura do túnel	6 m
Comprimento do túnel	25 m
Largura do túnel	9 m

Para se obter a capacidade máxima de armazenagem no túnel de pré arrefecimento são armazenadas 8 paletes na sua largura e 20 paletes no seu comprimento o que perfaz um total de 160 paletes.

Cada caixa tem uma capacidade de 20 kg de fruta sendo que cada palete armazena 30 caixas. A capacidade total que uma palete armazena é de 600Kg de fruta.

No Anexo 1 – Lista de Desenhos (Desenho nº3), visualiza-se todas as dimensões do túnel, com as respectivas paletes.

Através do seguinte cálculo obteve-se a capacidade total do túnel de pré-arrefecimento:

$$\text{Capacidade} = 160 \times 0,6 = 96 \text{ ton}$$

O túnel de pré arrefecimento tem uma capacidade de armazenamento de 96 toneladas de fruta.

Como já foi referido, a fruta entra no túnel de pré arrefecimento às 20 horas a uma temperatura de 20°C. A fruta permanece 10 horas no túnel, e sai a uma temperatura de 8°C por volta das 6h.

13. Condições de Projecto

13.1. Características Psicrométricas exteriores

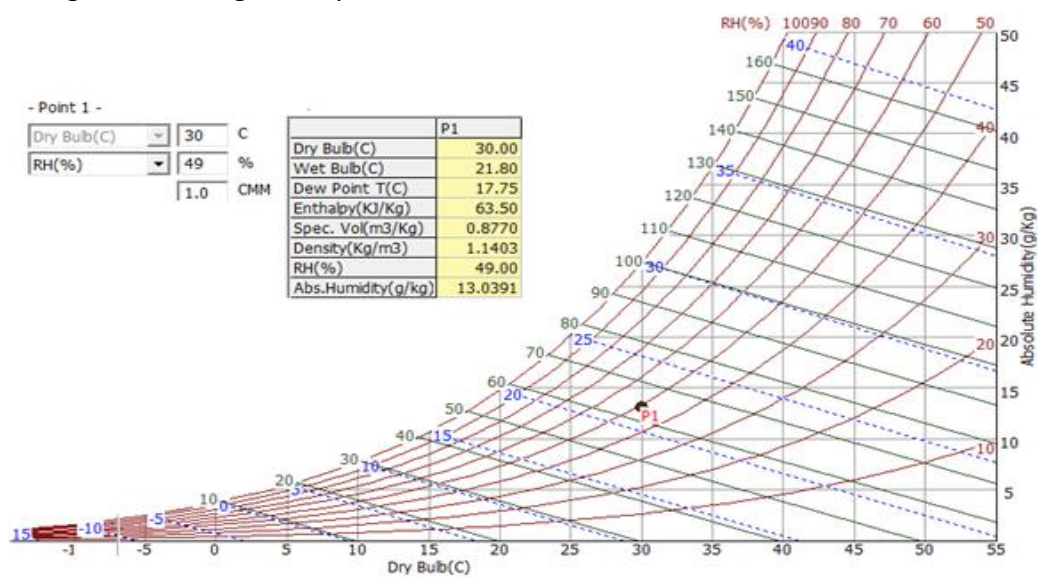
A estação fruteira localiza-se nas Caldas da Rainha. Através do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), obteve-se a informação necessária, que tomaram como base de cálculo para as cargas térmicas.

Tabela 8 – Características Psicrométricas Exteriores

Temperatura exterior seca (°C)	30°C
Humidade relativa (%)	49 %

Fonte: <http://www.ineti.pt/>

Com base nos dois parâmetros acima descritos e com o auxílio da carta psicrométrica obteve-se os seguintes os seguintes parâmetros:



Fonte: Software LG Electronics

Fig.14 – Carta Psicrométrica

13.2. Características Psicrométricas interiores

Para a conservação de produtos as condições de temperatura e humidade relativa são fundamentais e devem permanecer dentro de limites definidos ao longo do dia e do ano.

Através da temperatura interior e da humidade relativa e com o auxílio da carta Psicrométrica (segue o mesmo raciocínio das características Psicrométricas exteriores), foram retirados os seguintes valores que tomaram como base de cálculo para as cargas térmicas:

Tabela 9 – Características Psicrométricas Interiores

Propriedades	Câmaras Maçãs	Câmaras Peras	Túnel Pré Arrefecimento	Zona Preparação/Corredor
Temperatura (°C)	4	1	4	25
Humidade relativa (%)	90	90	85	50
Temperatura Húmida (°C)	3,4	0,50	3,0	17,9
Entalpia (kJ/kg)	15,38	10,14	14,74	50,31
Volume específico (m ³ /kg)	0,79	0,78	0,79	0,858

14. Escolha do Isolamento – Poliuretano Vs Perlite

Pretende-se efectuar uma comparação entre dois tipos de isolamento, perlite e poliuretano, de forma a aplicar o isolamento mais económico e com melhores vantagens.

A finalidade do isolamento térmico é reduzir as trocas térmicas indesejáveis e, manter a temperatura da parede externa do recinto isolado, próximo à do ambiente externo, para evitar problemas de condensação [20].

A perlite é um material de rocha vulcânica cujas moléculas contém água de cristalização. Este material é triturado a uma granulometria pré estabelecida, e aquece-se a uma temperatura de 1200 °C. A água no interior das moléculas evapora-se e actua como elemento expansivo, até se constituir um grão muito leve formado por micro células fechadas e vazias, aumentando por 20 vezes o seu volume.

O poliuretano é um material plástico resultante da reacção química de dois componentes básicos, polioliol e isocianato, em associação com aditivos que controlam e homogeneízam o resultado. Desta forma o poliuretano é, sem sombra de dúvidas, um dos polímeros de maior uso e maior importância em praticamente todos os mercados de bens de consumo e uso industrial.

De seguida calcula-se a espessura mínima a utilizar de cada isolamento, para que o produto seja mais eficiente.

Espessura mínima de cada isolamento:

O cálculo efectua-se através da seguinte expressão matemática:

$$e = \frac{k}{q_{\text{máx}}} \times \Delta T$$

- e – espessura de isolamento (mm);
- k – Condutividade térmica do material (W/m.°C);
- q – Fluxo máximo de calor para refrigerados - 9 W/m² [7].
- ΔT – Diferencial de temperatura do espaço frigorífico (°C).

Espessura mínima do Poliuretano:

Para o cálculo da espessura, será necessário conhecer o valor do coeficiente de condutividade térmica do poliuretano que é de 0,022 W/m.°C[7] . Sabendo que no interior a temperatura é de + 4 °C e que no exterior são considerados + 30 °C, então a espessura mínima de isolamento é a seguinte:

$$e = \frac{0,022}{9} \times (30 - 4) = 0,063\text{m} = 63\text{mm}$$

Espessura mínima da Perlite

O valor do coeficiente de condutividade térmica da perlite que é de 0,041W/m.°C [7]. Sendo a temperatura interior de 4 °C e a exterior de 30 °C, então a espessura mínima de isolamento é o seguinte:

$$e = \frac{0,041}{9} \times (30 - 4) = 0,118\text{m} = 118\text{mm}$$

Carga térmica através das paredes e tecto:

Os valores apresentados na tabela 10 são explicados no capítulo 15.

Apresenta-se o calculo da carga térmica das paredes e tecto da câmara os dois tipos de isolamentos:

Tabela 10 – Carga térmica para diferentes isolamentos

		Paredes				Tecto
Área (m ²)		N	S	E	O	416
Temperatura Exterior (°C)		30	1	30	25	30
Poliuretano	R (m ² .°C/w)	2,964				
	U (w/m ² .°C)	0,337				
	Q (w)	1526,5	0	939,39	777,42	4070,67
	Q TOTAL (W)Poliuretano	7313,988				
Perlite	R (m ² .°C/w)	2,722				
	U (w/m ² .°C)	0,367				
	Q (w)perlite	1661,88	0	1022,69	846,37	4431,67
	Q TOTAL (W) perlite	7962,612				

Devido à diferença de valores do coeficiente global de transmissão entre a perlite ($U= 0,041\text{W/m.}^{\circ}\text{C}$) e o poliuretano ($U= 0,022\text{W/m.}^{\circ}\text{C}$), verifica-se que a espessura do isolamento em perlite tem que ser superior ao do poliuretano, para conseguir eliminar as trocas térmicas e conservar a temperatura no interior da câmara. No entanto pode-se concluir que aumentando-se a espessura do isolamento de perlite aumenta-se o custo do mesmo, porém, a carga térmica reduz-se. Por outro lado, diminuindo-se a espessura, o custo dos painéis também diminui, mas aumenta a carga térmica da instalação.

Ao analisar a tabela 10 verifica-se que o isolamento em poliuretano com uma espessura de 63 mm deixa atravessar menor perdas térmicas quando comparada com o isolamento de perlite. No entanto através tabela 11 analisa-se qual a diferença entre as características da perlite e do poliuretano:

Tabela 11 – Características dos diferentes isolamentos

Perlite expandida	Poliuretano
Baixo peso	Baixo peso
>> Duração	>Duração
Material Incombustível	Material combustível
Isolamento térmico e acústico	Isolamento térmico e acústico
Custo Alto	Custo baixo

Fonte: www.isolamentotermicopt.com

Depois de analisar as características de cada isolamento verifica-se que o poliuretano é mais eficaz e consegue um menor custo quando comparado com a perlite. A aplicação do isolamento em perlite, tem um investimento muito superior, mas com a vantagem de ser incombustível e com uma durabilidade superior.

No entanto, embora o poliuretano seja inflamável, existe retardadores de chama como aditivo e quando aplicados no material este fica classificado na classe M1 ou seja não inflamável. Embora o poliuretano com classificação M1 fique a um custo superior ao da classificação M3, é compensável o investimento. Desta forma, a estação fruteira será isolada com painéis isotérmicos do tipo sandwich em poliuretano injectado nas paredes e tecto.

15. Cargas Térmicas da Instalação

É definida como carga térmica, a porção de calor latente e sensível que deve ser retirado de um ambiente de modo a serem mantidas as condições de temperatura e humidade estabelecidas para o entreposto frigorífico. [1]

A primeira análise a ser feita no projecto de refrigeração é o cálculo das cargas térmicas. Através do cálculo das cargas térmicas pode-se efectuar uma previsão dos consumos de energia associados ao sistema projectado e deste modo proceder a uma análise económica.

As cargas térmicas existentes numa câmara frigorífica dividem-se em duas classes: cargas térmicas externas e cargas térmicas internas.

As cargas térmicas externas estão associadas às trocas de calor através da envolvente exterior da zona onde se situa o estabelecimento. São cargas resultantes do fluxo de calor através das paredes, tecto, pavimento, renovação de ar e abertura de portas.

As cargas térmicas internas podem ser dependentes ou independentes do produto armazenado. Na seguinte tabela estão discriminadas todas as cargas térmicas presentes na instalação frigorífica:

Tabela 12 – Cargas térmicas presentes na instalação frigorífica

Cargas Térmicas Externas
Q ₁ – Cargas térmicas através das paredes, tecto e pavimento
Q ₂ – Cargas térmicas devidas à renovação do ar
Q ₃ – Cargas térmicas devida à abertura de portas
Cargas Térmica Internas
<i><u>Independentes dos produtos armazenados</u></i>
Q ₄ – Carga térmica devida à iluminação da câmara
Q ₅ – Carga térmica devida ao pessoal de estiva
Q ₆ – Carga térmica devida a empilhadores e porta-paletes
<i><u>Dependentes dos produtos armazenados</u></i>
Q ₇ – Carga térmica devida à temperatura de entrada do produto
Q ₈ – Carga térmica devida ao calor de respiração dos frutos

Neste projecto serão calculadas as cargas térmicas para as seguintes situações:

- 100% de produto a passar pelo túnel de pré-arrefecimento.
- Produto a passar pelo túnel de pré-arrefecimento e excesso de produto referido no ponto 11.
- Estação de Inverno.

Os balanços térmicos de todos os espaços foram feitos segundo a metodologia apresentada. A título de exemplo apresenta-se o cálculo das cargas térmicas para a câmara de refrigeração de maçãs 1, uma vez que os cálculos para as outras câmaras são efectuados de forma análoga. Todas as formulas apresentadas para o cálculo das cargas Térmicas foram retiradas dos *Apontamentos da Unidade Curricular de Refrigeração*.

15.1. Cargas Térmicas nas Câmaras Frigoríficas

As cargas térmicas a retirar das câmaras frigoríficas são as que se encontram na tabela 21.

15.1.1. Cargas Térmicas Externas

Cargas térmicas através das paredes, tecto e pavimento (Q_1)

Para o cálculo das cargas térmicas através das paredes, tecto e pavimento é essencial ter em conta o modo como é feita a propagação de calor.

Existe dois tipos de propagação de calor existentes nas paredes, tecto e pavimento, e que são: condução e convecção.

A condução pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida de uma região de alta temperatura para outra de baixa temperatura dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contacto directo [5].

A lei empírica da condução de calor "*Lei de Fourier*" estabelece qual o fluxo de calor por condução, em uma dada direcção do fluxo e ao gradiente de temperatura naquela direcção. Deste modo determina-se a transmissão de calor por condução [5]:

$$\frac{q}{A} = -k \frac{\partial T}{\partial x}$$

Integrando esta expressão tem-se:

$$q = k.A. \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

- q – Transferência de calor (Watt);
- k – Condutividade térmica do material (W/m.°C);
- A – Superfície da temperatura considerada (m²);
- ΔT – Diferença de temperatura entre as duas faces da parede considerada (°C);
- Δx – Diferença de espessura entre as duas faces da parede considerada (m).

A convecção é definida como uma propagação de calor em que a energia térmica é transmitida mediante transporte de matéria, havendo portanto um deslocamento de partículas [5].

A seguinte equação representa a equação de *Newton* de transferência de calor por convecção:

$$q = h.A.\Delta T \quad (2)$$

Através da expressão 1 e 2, obteve-se a seguinte expressão:

$$Q = U.A.\Delta T \quad (3)$$

- Q – Carga térmica através das paredes, tecto e pavimento (Watt);
- U – Coeficiente global de transmissão de calor da parede considerada (Watt/m². °C);
- A – Superfície da temperatura considerada (m²);
- ΔT – Diferença de temperatura entre as duas faces da parede considerada (°C).

A equação 3 é utilizada para efectuar o cálculo da carga térmica, visto que tem em conta as transferências de calor referentes à condução e convecção.

É necessário utilizar a expressão da resistência térmica: $U = \frac{1}{R}$ sendo $R = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{e}{K} + \frac{1}{h_e}$ em que:

- $\frac{1}{h_i}$ – Resistência térmica de convecção na superfície interna ($m^2 \cdot ^\circ C / Watt$);
 $h_i = 15 \text{ Watt}/m^2 \cdot ^\circ C$;
- $\sum \frac{e}{k}$ – Somatório das resistências térmicas de condução das diferentes camadas de materiais que constituem a parede ($m^2 \cdot ^\circ C / Watt$);
- $\frac{1}{h_e}$ – Resistência térmica de convecção na superfície externa ($m^2 \cdot ^\circ C / Watt$);
 $h_e = 30 \text{ Watt}/m^2 \cdot ^\circ C$.

Espessuras e condutividades térmicas das paredes, tectos e pavimento:

- **Paredes e tectos:** Através do cálculo da espessura do isolamento verificou-se que espessura mínima a utilizar é de 63 mm. No entanto por motivos de *standardização* deste tipo de painéis, serão considerados 80 mm de espessura para as paredes e tecto e com uma condutividade térmica de 0,022 Watt/m. $^\circ C$;
- **Pavimento:** Isolamento com cortiça de espessura 150 mm e com uma condutividade térmica de 0,035 Watt/m. $^\circ C$.

Cálculo do coeficiente global de transmissão de calor:

- **Paredes e tectos:** $U = \frac{1}{R} \Rightarrow R = \frac{1}{h_i} + \frac{e_{pol.}}{k_{pol.}} + \frac{1}{h_e} = \frac{1}{15} + \frac{0,08}{0,022} + \frac{1}{30} = 3,74 (m^2 \cdot ^\circ C / W)$

$$U = \frac{1}{3,74} = 0,268 (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

- **Pavimento:** $U = \frac{1}{R} \Rightarrow R = \frac{1}{h_i} + \frac{e_{cortiça}}{k_{cortiça}} \Leftrightarrow R = \frac{1}{15} + \frac{0,150}{0,035} = 4,35 (m^2 \cdot ^\circ C / W)$

$$U = \frac{1}{4,35} = 0,229 (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

Através dos valores calculados, é possível determinar a carga térmica da câmara de refrigeração. Para tal, é necessário conhecer os seguintes parâmetros:

Tabela 13 – Características das paredes, tecto e pavimento

	Paredes				Tecto	Pavimento
Área (m ²)	N 156	S 156	E 96	O 96	416	416
Temp. Ext. (°C)	30	4	25	25	30	15
U (w/m ² .°C=)	0,268					0,229

De seguida calcula-se a carga térmica:

Tabela 14 – Cargas Térmicas através das paredes, tectos e pavimento

Parede orientada a Norte	$Q_N = U \times A \times \Delta T = 0,268 \times 156 \times (30 - 4) = 1085,55W$
Parede orientada a Sul	$Q_S = U \times A \times \Delta T = 0,268 \times 156 \times (4 - 4) = 0W$
Parede orientada a Este	$Q_E = U \times A \times \Delta T = 0,268 \times 96 \times (25 - 4) = 539,5W$
Parede orientada a Oeste	$Q_O = U \times A \times \Delta T = 0,268 \times 96 \times (25 - 4) = 539,5W$
Tecto	$Q_{\text{tecto}} = U \times A \times \Delta T = 0,268 \times 416 \times (30 - 4) = 2894,79W$
Pavimento	$Q_{\text{chão}} = U \times A \times \Delta T = 0,23 \times 416 \times (15 - 4) = 1051,38W$
Carga térmica total	$Q_1 = Q_N + Q_S + Q_E + Q_O + Q_{\text{Tecto}} + Q_{\text{Chão}} = 6110,84W$

Cargas térmicas através da renovação do ar (Q₂)

A renovação do ar consiste em retirar uma porção do ar da câmara frigorífica e substituir pelo ar exterior que deverá ser arrefecido até á temperatura que se encontra dentro da câmara.

A fórmula que se utiliza para este cálculo é a seguinte:

$$Q = m \cdot \Delta h$$

- Q₂ – Carga térmica devida à renovação de ar (Watt);
- m – Caudal mássico de ar exterior que entra na câmara (kg/s);
- Δh – Diferença de entalpias entre o ar exterior e o ar da câmara frigorífica (J/kg).

Para calcular o caudal mássico utiliza-se a seguinte expressão:

$$m = \frac{V_{\text{diário}}}{v \times 86400}$$

- $V_{\text{diário}}$ – Caudal volumétrico diário de ar exterior (m^3/dia);
- v – Volume específico do ar exterior (m^3/Kg);

Para determinar o caudal volumétrico diário de ar exterior, é necessário calcular a taxa de renovação de ar exterior (n). Esta taxa de renovação de ar depende da movimentação de produtos, máquinas e pessoas entre o exterior e o interior da câmara frigorífica, e do volume da câmara. O cálculo da taxa de renovação é obtido através da seguinte expressão:

$$n = \frac{70}{\sqrt{V}}$$

O valor 70 na expressão da taxa de renovação de ar exterior é usado caso se trate uma movimentação normal, caso seja uma movimentação intensiva substituíam-se por 100.[7]

O caudal volumétrico diário de ar exterior é obtido através da seguinte expressão:

$$V_{\text{diário}} = V \times n$$

Deste modo, a câmara frigorífica apresenta a seguinte carga térmica relativamente à renovação de ar:

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{70}{\sqrt{2496}} = 1,40 \\ V_{\text{diário}} &= 1,40 \times 2496 = 3497 \text{m}^3/\text{dia} \\ m &= \frac{3497}{0,858 \times 86400} = 0,047 \text{kg/s} \end{aligned} \right\} Q_2 = 0,047 \times (15,38 - 50,31) = 1655,5 \text{W}$$

Para o cálculo da entalpia exterior foi utilizado a temperatura que se encontra dentro do corredor de acesso às câmaras. O ar encontra-se a uma temperatura de +25 °C.

Cargas térmicas devida à abertura de portas (Q3)

Esta carga térmica corresponde ao calor que a câmara atinge através da abertura de portas. Cada vez que a porta é aberta, o ar correspondente ao corredor de acesso às câmaras (25 °C) penetra no interior da câmara, representando uma carga térmica adicional.

A expressão usada para o cálculo da carga térmica devido à abertura de portas é a seguinte:

$$Q_3 = 8 + (0,067 \times \Delta T) + \frac{t_{ab}}{v_i} \times L \times H \times A \times C$$

- ΔT – Diferença de temperatura entre as duas faces da porta (°C);
- t_{ab} – Tempo de abertura da porta expresso em (min/hora);
- v_i – Volume específico do ar interior (m³/kg);
- v_e – Volume específico do ar exterior (m³/kg);
- h_i – Entalpia específica do ar interior (kJ/kg);
- h_e – Entalpia específica do ar exterior (kJ/kg);
- L – Largura da porta = 2m.

Para o cálculo do coeficiente A utiliza-se a seguinte expressão:

$$A = (h_e - h_i) \times (H \times (1 - \frac{v_i}{v_e})^{1/2})$$

O tempo médio em que uma porta da câmara frigorífica permanece aberta para permitir a passagem de um empilhador com uma tonelada de produto (ida e retorno), será dado por:

$$t_{ab} = d_{ton} \times \frac{f_d}{24}$$

- t_{ab} – Tempo de abertura (min/hora);
- d_{ton} – Duração média da abertura das portas em minutos para permitir a passagem de uma tonelada de produto;
- f_d – Fluxo diário de produto expresso em toneladas;

A duração média da abertura das portas (d_{ton}), depende do tipo de porta e do tipo de produto, como se pode ver na seguinte tabela:

Tabela 15 – Duração média da abertura das portas

Tipo de Porta	Tipo de Produto	dt (mn/ton.)
Porta de abertura manual	Carcaças de animais suspensas	15
	Produtos paletizados	6
Porta de abertura automática	Carcaças de animais suspensas	1
	Produtos paletizados	0.8

Fonte: Unidade Curricular de refrigeração

Utiliza-se uma porta de abertura manual sem cortinas de ar, sendo que a duração média de abertura para permitir a passagem de uma tonelada de produto é de 6 min/ton.

Para o cálculo da carga térmica da câmara frigorífica são necessários os seguintes parâmetros:

Tabela 16 – Parâmetros para o cálculo da carga térmica

Fluxo diário	4% do volume total
Largura da porta	2 m
Altura da porta	2,5 m
Coefficiente minorante (C)	1
$h_{exterior}$	50,310 kJ/kg
$h_{interior}$	15,38 kJ/kg
$v_{interior}$	0,79 kg/s
$v_{exterior}$	0,858 kg/s

Com estes valores já se pode calcular o tempo de abertura das portas:

$$t_{ab.} = d_{ton.} \times \frac{f_d}{24} = 6 \times \frac{16}{24} = 4 \text{ min/h}$$

Cálculo do coeficiente:

$$A = (h_{ext.} - h_{int.}) \times \left(H \times \left(1 - \frac{v_{int.}}{v_{ext.}} \right) \right)^{\frac{1}{2}} = (50,31 - 15,38) \times \left(2,5 \times \left(1 - \frac{0,79}{0,858} \right) \right)^{\frac{1}{2}} = 15,43 \text{ m}^2$$

Com base neste valor já se pode finalmente calcular a carga térmica:

$$Q = 8 + (0,067 \times \Delta T) \times \frac{t_{ab.}}{v_{int}} \times L \times H \times A \times C \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow 8 + (0,067 \times (25 - 4)) \times \frac{4,0}{0,79} \times 2,0 \times 2,5 \times 15,43 \times 1 = 557,05W$$

15.1.2. Cargas Térmicas Internas

Cargas térmicas independentes dos produtos armazenados

Carga térmica devida à iluminação (Q4):

Considera-se que os espaços frigoríficos, apresentam uma carga térmica de iluminação (q) de 10 w/m². A fórmula utilizada para este cálculo é a seguinte [8]:

$$Q = A_{\text{tecto}} \times q \times \frac{t}{h}$$

- Q – Carga térmica devida à iluminação da câmara (W);
- A – Área do tecto (m²);
- q – Carga térmica das lâmpadas (W/m²);
- t – Tempo funcionamento de cada lâmpada (h);
- h – Horas de funcionamento do local (h).

Será considerado que as lâmpadas trabalham 4 horas por dia, e que cada lâmpada tem uma potência de 10 Watt. Como a área do tecto não varia, então esta carga térmica é igual para as 6 câmaras.

A câmara de refrigeração tem de área de tecto 416 m² apresentando a seguinte carga térmica:

$$Q_4 = 416 \times 10 \times \frac{4}{24} = 693,33W$$

Carga térmica devida ao pessoal de estiva (Q5):

Esta carga térmica é obtida através seguinte expressão:

$$Q_5 = n \times q \times \frac{t}{24}$$

- n – Número de pessoas;
- q – Quantidade de calor libertado pelas pessoas (W);
- t – Tempo de permanência na câmara (h).

São consideradas duas pessoas a trabalhar e com uma permanência de duas horas por dia. Relativamente ao calor libertado por cada pessoa, é necessário fazer interpolações com base na seguinte tabela:

Tabela 17 – Calor libertado pelas pessoas

Temperatura da câmara (°C)	Quantidade de calor libertado pelas pessoas (Watt)
+15	200
+5	240
0	270
-20	390
-25	420

Fonte: Unidade Curricular de refrigeração

Sabendo que a câmara apresenta uma temperatura de 4 °C e fazendo uma interpolação de valores da tabela acima descrita, obtém-se: $T_i = +4^\circ\text{C} \Rightarrow q = 246\text{ W}$

Desta forma a carga térmica relativa ao pessoal de estiva é a seguinte:

$$Q_5 = 2 \times 246 \times \frac{2}{24} = 41\text{ W}$$

Carga térmica devida a empilhadores (Q6):

Esta carga térmica é obtida pela seguinte expressão

$$Q_6 = n \times P \times \frac{t}{24}$$

- n – Número de empilhadores;
- P – Potência do empilhador (W);
- t – Tempo de funcionamento do empilhador (h)

Existe apenas um empilhador a funcionar 4 horas por dia apresentando uma potência de 6kW. Deste modo a carga térmica é a seguinte:

$$Q_6 = 1 \times 6000 \times \frac{4}{24} = 1000W$$

Cargas térmicas dependentes dos produtos armazenados

Cargas térmicas devido à temperatura de entrada dos produtos (Q7):

Os produtos de origem animal ou vegetal encontram-se na maioria das vezes a uma temperatura superior à temperatura da câmara frigorífica. Libertam uma determinada quantidade de calor até que a sua temperatura fique em equilíbrio com a temperatura da câmara.

Como se trata de câmaras de refrigerados, utiliza-se a seguinte expressão:

$$Q_7 = \frac{m \times c_p \times (T_1 - T_2)}{86400}$$

- m – Massa de produto introduzido por dia (kg);
- Cp – Calor específico acima da temperatura de congelação (kJ/kg.°C);
- T₁ – Temperatura de entrada do produto na câmara (°C);
- T₂ – Temperatura da câmara frigorífica (°C).

Para o cálculo desta carga térmica é necessário ter em conta os calores específicos da maçã e pêra a temperaturas positivas: Cp= 3,65 a 3,72 (kJ/Kg°C).

Com base na seguinte tabela é possível determinar os calores específicos pretendidos:

Tabela 18 – Calor específico dos produtos

Produto	Conteúdo de água – a (%)	Cp (kJ/Kg °C)
Maçãs	84	3,65
Peras	86	3,72

Fonte: Guerra, Matos, Apontamentos da Unidade Curricular de Refrigeração

Para o cálculo da carga térmica são necessários os seguintes parâmetros:

- m - 16000 Kg;
- T₂ – 4 °C;
- T₁ – 8 °C.

Com estes valores, obteve-se a seguinte carga térmica:

$$Q_7 = \frac{16000 \times 3,65 \times (8 - 4)}{86400} = 2703,7W$$

Carga térmica devida ao calor de respiração dos frutos (Q8)

Os frutos durante a armazenagem nas câmaras frigoríficas de refrigerados libertam uma carga térmica designada por calor latente de respiração. Esta carga térmica é calculada pela seguinte expressão:

$$Q_8 = \frac{m \times q_{resp} \times 24}{86400}$$

- m – Massa de produto presente na câmara (ton);
- q_{resp} – Quantidade de calor libertado pelo produto (kJ/ton.h).

O valor da quantidade de calor libertado pelo produto é retirado da seguinte tabela:

Tabela 19 – Calor libertado pelo produto

Produto	Calor de respiração (kJ/t.h)			Produto	Calor de respiração (kJ/t.h)		
	0°C	10°C	20°C		0°C	10°C	20°C
Alhos	54	293	572	Feijão verde	279	663	1 745
Ananas maduro	89	229	300	Cebolas	250	712	2 195
Bananas maduras	337	698	Laranjas	31	98	241
Cenouras	164	318	1 000	Peras	131	344	463
Coqumelos	384	820	2 006	Macãs	53	175	356
Couve	213	691	1 727	Batatas	75	91	143
Couve flôr	181	433	1 211	Tomates verdes	28	125	331
Morangos	134	506	865	Tomates maduros	58	125	323

Fonte: Collin, Daniel, "Applications Frigorifiques", Tomo 1 e 2, Edition PYC, Paris, 1975;

O cálculo é efectuado para a situação mais crítica, ou seja, a quantidade de calor libertado por respiração da fruta será maior no último dia.

A câmara ficará completa (100% de produto armazenado), em que 4% da fruta chega nesse dia a uma temperatura de 8°C e os restantes 96% estão a 4°C.

Fazendo uma interpolação tem-se que: $m_{4\%/8^{\circ}\text{C}} = 16 \text{ ton} \Rightarrow q_{\text{resp}} = 150,6 \text{ kJ/ton.h}$

$m_{96\%/4^{\circ}\text{C}} = 384 \text{ ton} \Rightarrow q_{\text{resp}} = 101,8 \text{ kJ/ton.h}$

Deste modo a carga térmica devido à respiração dos frutos é a seguinte:

$$Q_{\text{resp}} = \frac{4\% \times m_{\text{total}} \times q_{\text{resp.}}}{86400} \text{ (a } 8^{\circ}\text{C)} + Q_{\text{resp}} = \frac{96\% \times m_{\text{total}} \times q_{\text{resp.}}}{86400} \text{ (a } 4^{\circ}\text{C)}$$

$$Q_{\text{resp}} = \frac{0,04 \times 400 \times 150,6 \times 24}{86400} + \frac{0,96 \times 400 \times 150,6 \times 24}{86400} = 11528 \text{ W}$$

Carga térmica intermédia

A carga térmica intermédia é carga térmica a ser removida na câmara de refrigeração, ou seja é soma de todas as cargas térmicas calculadas anteriormente. Desta forma a câmara de refrigeração em questão tem a seguinte carga térmica:

$$Q_{\text{int.}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = 24290\text{W} = 24,29\text{kW}$$

15.1.3. Potência Intermédia e Potência Previsional

A potência frigorífica intermédia é a potência que os evaporadores deverão assegurar para conseguir retirar as cargas térmicas atrás calculadas.

O cálculo de carga térmica é efectuado para um período de 24 horas. Entretanto, devemos considerar um período de 16 a 20 horas de operação dos compressores, de forma a possibilitar a descongelação, e também possíveis sobrecargas de capacidade. Optou-se efectuar o cálculo para 18 horas de funcionamento. A expressão a utilizar é a seguinte:

$$P_{\text{int}} = \frac{Q_{\text{int.}} \times 24}{18}$$

A câmara de maçãs 1, apresenta a seguinte potência intermédia:

$$P_{\text{int}} = \frac{Q_{\text{int.}} \times 24}{18} = \frac{24,29 \times 24}{18} = 32,39\text{kW}$$

A selecção dos evaporadores realiza-se a partir do cálculo da potência frigorífica previsional, acrescentando 20% à potência frigorífica intermediária, devido aos motores dos ventiladores, e às resistências de descongelação.

Por uma questão de segurança acrescenta-se mais 10%, de forma a instalação não ficar dimensionada no limite, então:

$$P_{\text{Prev}} = P_{\text{Int.}} \times 1,2 \times 1,1$$

A câmara de refrigeração apresenta a seguinte potência previewal:

$$P_{\text{Prev}} = 32,39 \times 1,2 \times 1,1 = 42,7 \text{ kW}$$

Esta é a potência que se irá utilizar para dimensionar os equipamentos da câmara frigorífica de maçãs 1. Todas as restantes câmaras seguem o mesmo raciocínio.

15.2. Cargas Térmicas do Túnel de Pré-Arrefecimento

O cálculo das cargas térmicas existentes no túnel de pré arrefecimento segue exactamente o mesmo procedimento das cargas térmicas calculadas para as câmaras frigoríficas.

No entanto no túnel de pré arrefecimento as cargas externas devido à abertura de portas, renovação do ar e as cargas térmicas internas independentes do produto armazenados são desprezáveis, porque a utilização do túnel de pré arrefecimento é de 10 horas.

As cargas térmicas calculadas para o túnel de pré arrefecimento são as seguintes:

Tabela 20 – Cargas Térmicas no túnel pré-arrefecimento

Cargas externas
Q ₁ – Cargas térmicas através das paredes, tecto e pavimento
Cargas internas
<u>Dependentes dos produtos armazenados</u>
Q ₇ – Carga térmica devida à temperatura de entrada do produto
Q ₈ – Carga térmica devida ao calor de respiração dos frutos

15.2.1. Cargas Térmicas Externas

Cargas térmicas através das paredes, tecto e pavimento (Q_1)

Esta carga térmica segue exactamente o mesmo cálculo das câmaras frigoríficas. Desta forma a carga térmica é de 2852,52 kW.

Esta carga térmica é mais baixa, uma vez que a diferença de temperatura entre o interior e o exterior do túnel é mais baixa.

15.2.2. Cargas Térmicas Internas

Carga térmica devida à temperatura de entrada do produto (Q_7)

A temperatura de entrada da fruta no túnel de pré arrefecimento é de +20°C e é arrefecida até uma temperatura de +8°C.

Como no mesmo dia entra no túnel de pré arrefecimento os dois tipos de fruta, teremos que fazer uma média dos calores específicos. Através da tabela 18, obteve-se um calor específico de 3,68 kJ/kg. °C.

No túnel pré-arrefecimento a massa introduzida por dia é de 96 toneladas. A campanha tem a duração de 25 dias, sendo que apresenta uma carga térmica devida à temperatura de entrada do produto de 157,013 kW.

Carga térmica devida ao calor de respiração dos frutos (Q_8)

Como já foi referido anteriormente, entra no túnel de pré arrefecimento os dois tipos de fruta, pelo que estes libertam calor de respiração. O valor do $q_{resp.}$ é retirado da tabela 19 através de uma interpolação. O cálculo da carga térmica devida ao calor de respiração dos frutos é a soma total do calor de respiração da pêra mais o cálculo do calor de respiração das maçãs. A carga térmica é de 8473,3 W.

Carga térmica intermédia ($Q_1 + Q_7 + Q_8$)

A carga térmica intermédia do túnel de pré-arrefecimento é a seguinte:

$$Q_{\text{Int.}} = Q_1 + Q_7 + Q_8 = 168,34\text{kW}$$

15.2.3. Potência intermédia e potência previsual

O cálculo da potência intermédia e potência previsual segue o mesmo exemplo atrás calculado para as câmaras frigoríficas. A única exceção é na potência previsual, que tem um coeficiente de segurança de 5% e não de 10 % como acontecia nas câmaras frigoríficas. Isto acontece uma vez que no túnel são contabilizadas menores cargas térmicas, como por exemplo a abertura portas, iluminação empilhadores.

O compressor do túnel de pré arrefecimento funciona um período de 8 horas, pelo que existe 2 horas de descongelação, uma vez que o túnel trabalha durante 10 horas. Desta forma o túnel apresenta a seguinte potência intermédia:

$$P_{\text{Int.}} = \frac{Q_{\text{Int.}} \times 10}{8} = \frac{168,34 \times 10}{8} = 210,42\text{kW}$$

Após o cálculo a potência intermédia, é possível determinar a potência previsual:

$$P_{\text{Prev}} = 210,42 \times 1,05 \times 1,1 = 252,51\text{kW}$$

15.3. Resumo das cargas Térmicas

De seguida apresentam-se o resumo das cargas térmicas para as situações mais atrás descritas:

15.3.1. 100% de produto pré-arrefecido

Apresenta-se de seguida o resumo das cargas térmicas das câmaras frigoríficas e do túnel de pré arrefecimento.

Tabela 21 – Cargas térmicas para 100% do produto pré-arrefecido

Cargas Térmicas (W)	Câmara Maçãs 1	Câmara Maçãs 2	Câmara Maçãs 3	Câmara Peras 1	Câmara Peras 2	Câmara Peras 3	Túnel Pré-Arrefecimento
Q Paredes (Q1)	6111	5025	5902	7139	5929	6221	2853
Q Renovação de ar (Q2)	1656	1656	1656	1904	1904	1904	0
Q Abertura Portas (Q3)	557	557	557	798	798	798	0
Q Iluminação (Q4)	693	693	693	693	693	693	0
Q Estiva (Q5)	41	41	41	41	41	41	0
Q Empilhador (Q6)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	0
Q Produto Armazenado (Q7)	2704	2704	2704	4822	4822	4822	157013
Q respiração dos frutos (Q8)	11528	11528	11528	17585	17585	17585	8473
Q Int (kW)	24,29	23,20	24,08	33,98	32,77	33,06	168,34
P Int (kW)	32,39	30,94	32,11	45,31	43,70	44,09	210,42
P Prev com 20% (kW)	38,86	37,13	38,53	54,37	52,43	52,90	252,51
Q Total com 10% Segurança (kW)	42,75	40,84	42,38	59,81	57,68	58,19	-
Q Total com 5% Segurança (kW)	-	-	-	-	-	-	265,13
Q Total (kW)	42,7	40,8	42,4	59,8	57,7	58,2	265,1
Q Instalação (kW)	566,8						

15.3.2. Excesso de produto

O excesso de produto irá entrar directamente para as câmaras frigoríficas 2 e 3 de maçãs e peras, o que provoca um aumento nas seguintes cargas térmicas:

- Abertura de portas (Q3);
- Produto Armazenado (Q7);
- Respiração dos frutos (Q8).

A razão destas cargas térmicas serem superiores, deve-se ao facto de entrar 2,5% do volume diário a mais, a uma temperatura superior, visto que o produto não é pré-arrefecido, pelo que entra nas câmaras a uma temperatura de 20°C.

A seguinte tabela apresenta as cargas térmicas para o excesso de produto:

Tabela 22 – Cargas térmicas para o produto pré-arrefecido e para o excesso de produto

Cargas Térmicas (W)	Câmara Maçãs 1	Câmara Maçãs 2	Câmara Maçãs 3	Câmara Peras 1	Câmara Peras 2	Câmara Peras 3	Tunel Pré-Arrefecimento
Q Paredes (Q1)	6111	5025	5902	7139	5492	6221	2853
Q Renovação de ar (Q2)	1656	1659	1656	1904	1904	1904	0
Q Abertura Portas (Q3)	557	888	900	798	1291	1291	0
Q Iluminação (Q4)	693	693	693	693	693	693	0
Q Estiva (Q5)	41	41	41	41	41	41	0
Q Empilhador (Q6)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	0
Q Produto Armazenado (Q7)	2704	9463	9463	4822	13003	13003	157013
Q respiração dos frutos (Q8)	11528	12234	12234	17585	18448	18448	8473
Q Int (kW)	24,29	31,00	31,89	33,98	41,87	42,60	168,34
P Int (kW)	32,39	41,34	42,52	45,31	55,83	56,80	210,42
P Prev com 20% (kW)	38,86	49,61	51,02	54,37	67,00	68,16	252,51
Q Total com 10% Segurança (kW)	42,75	54,57	56,13	59,81	73,69	74,98	-
Q Total com 5% Segurança (kW)	-	-	-	-	-	-	265,13
Q Total (kW)	42,7	54,6	56,1	59,8	73,7	75,0	265,1
Q Instalação (kW)	627,1						

A seguinte tabela apresenta a diferença das cargas térmicas (kW) das câmaras 2 e 3 de maçãs e peras, devido ao excesso de produto:

Tabela 23 – Diferença das cargas Térmicas devido ao excesso de produto

Câmaras Maçãs 2	Câmaras Maçãs 3	Câmaras Peras 2	Câmaras Peras 3
13,8	13,7	16	16,8

15.3.3. Cargas Térmicas durante a Estação do Inverno

Calculou-se as cargas térmicas para o período de Inverno e verificou-se que diferem das cargas térmicas calculadas mais atrás. A razão destas cargas térmicas serem inferiores é devido à temperatura de Inverno ser muito inferior, passando de uma temperatura exterior de 30 °C para 17 °C. No entanto durante este período não existe entrada de produto sendo que as cargas térmicas influenciadas são as seguintes:

- Paredes (Q_1)
- Respiração dos Frutos (Q_8)

As restantes cargas térmicas não são contabilizadas porque o produto fica armazenado e as câmaras ficam fechadas até à saída do produto para a comercialização.

A seguinte tabela apresenta as cargas térmicas para o período de Inverno:

Tabela 24 – Cargas térmicas no período de Inverno

Cargas Térmicas (W)	Câmara Maçãs 2	Câmara Maçãs 3	Câmara Peras 2	Câmara Peras 3
Q Paredes (Q_1)	3577,90	4788,70	4095,88	4216,32
Q respiração dos frutos (Q_8)	11,31	11,31	16,92	16,92
Q Int (kW)	3,59	4,80	4,11	4,23
P Int (kW)	4,79	6,40	5,48	5,64
P Prev com 20% (kW)	5,74	7,68	6,58	6,77
Q Total com 10% Segurança (kW)	6,32	8,45	7,24	7,45
Q Total (kW)	6,3	8,45	7,2	7,5
Q Instalação (kW)	29,5			

15.4. Comparação das cargas térmicas

Seguidamente irá analisar-se a diferença das cargas térmicas entre as câmaras frigoríficas e o túnel de pré-arrefecimento.

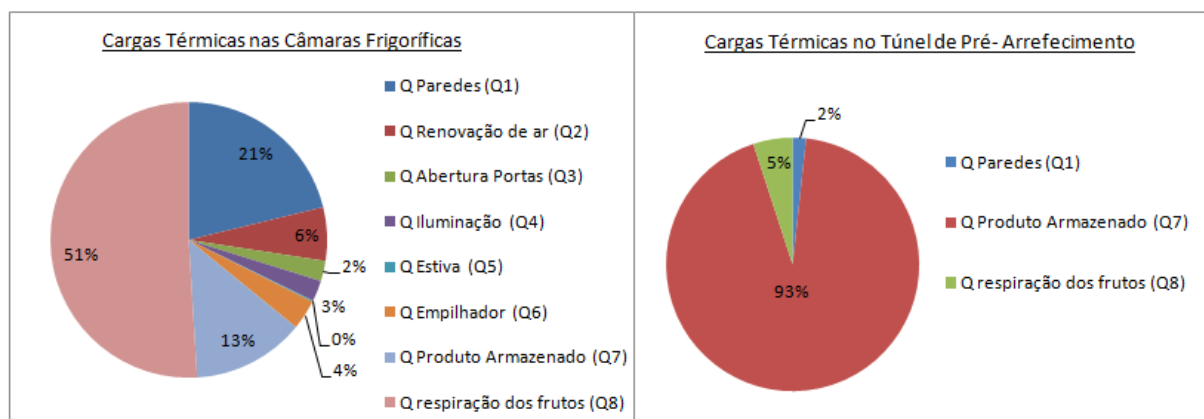


Fig.15 – Comparação das cargas térmicas

O gráfico que apresenta as cargas térmicas das câmaras frigoríficas foi obtido através de valores ponderados entre as câmaras de maçãs e de peras. Verifica-se que as cargas térmicas mais influentes diferem entre as câmaras e o túnel de pré arrefecimento.

O facto de as temperaturas de entrada do túnel de pré arrefecimento ($T_e = +20^{\circ}\text{C}$) e da câmara de refrigeração ($T_e = +8^{\circ}\text{C}$) serem diferentes, conduz a um aumento significativo em relação à carga térmica do produto, ou seja, quanto maior a diferença entre a temperatura de entrada e a temperatura de saída maior será a carga térmica em relação ao produto. Por esta razão, no túnel de pré-arrefecimento a carga térmica devido ao produto corresponde a 93 % e nas câmaras de refrigeração corresponde a 13 %. Isto demonstra que a utilização de temperaturas diferentes de entrada compromete a operação da instalação devido à retirada de calor sensível.

A maior carga térmica a ser retirada nas câmaras de refrigeração é em relação à produção de vapor de água (calor latente de vaporização) devido à respiração dos frutos que são seres vivos. A fruta armazenada produz dióxido de carbono o que se terá que proceder à sua remoção.

16. Instalação Frigorífica

De seguida será descrita toda a instalação frigorífica, desde o fluido utilizado, esquemas de princípio de funcionamento e selecção e dimensão dos equipamentos.

16.1. Fluido frigorígeno da Instalação

O fluido frigorígeno utilizado na instalação é o R134a. Este fluido é à base de hidrofluorcarboneto (HCFC) e é apropriado para ciclos com temperaturas de evaporação médias / altas, e que podem ir de -12° a $+12^{\circ}$ C [22].

Este fluido apresenta várias características tais como: [22].

- Não ataca a camada do ozono;
- Não é tóxico em baixas concentrações;
- Não é inflamável;
- Não é corrosivo;
- Absorve a humidade rapidamente;
- Não ataca os metais;
- A temperatura de descarga do compressor é significativamente mais baixa quando comparada à do R-12.

Este fluido apresenta ainda as seguintes características termodinâmicas:

Tabela 25 – Características Termodinâmicas do fluido R134a

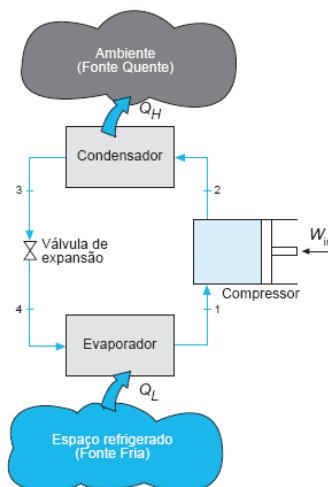
Características Termodinâmicas do fluido R134a		
Massa molar	102,0 g/mol	
Ponto ebulição a 1030 mbar	Temperatura	247,05 K ($-26,1^{\circ}$ C)
	Calor latente de ebulição	215,9 kJ/kg
Ponto Critico	Temperatura	374,15 K (101° C)
	Pressão	40,7 bar
	Densidade	0,512 kg/dm ³
Fase Líquido a 25° C	Densidade	1,206 kg/dm ³
Vapor Saturado	Densidade	5,28 kg/m ³
Calor Específico a 25° C	Estado Líquido	1,46 kJ/(kg.K)
	Estado Gasoso a 1030 mbar	0,858 kJ/(kg.K)

Fonte: <http://www.linde.com/>

16.2. Descrição Teórica do funcionamento dos ciclos de expansão directa

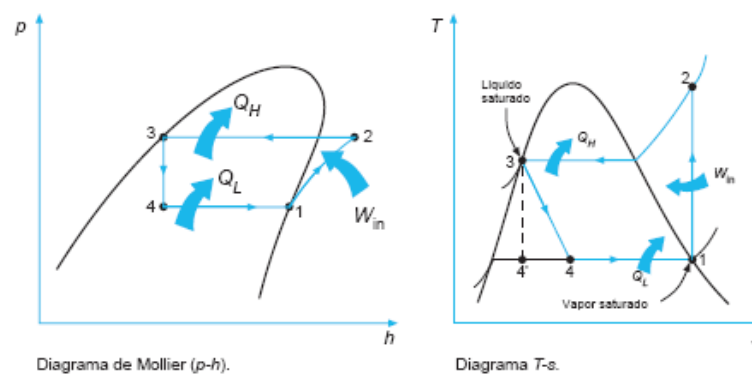
O sistema de armazenamento aplicado é um sistema de refrigeração mecânica em regime de atmosfera controlada. O sistema de refrigeração mecânica utiliza ciclos de expansão directa para conseguir retirar as cargas térmicas. O processo de refrigeração é uma transferência de energia (na forma de calor), de um corpo frio para um corpo quente, pela aplicação de trabalho externo (ou calor).

Através dos seguintes diagramas pode-se distinguir as principais fases de um sistema de compressão mecânica:



Fonte: Guerra, Matos, Apontamentos da Unidade Curricular de Refrigeração do ISEL

Fig.16 – Representação Esquemática do ciclo ideal de expansão directa



Fonte: Guerra, Matos, Apontamentos da Unidade Curricular de Refrigeração do ISEL

Fig.17 – Funcionamento de um ciclo ideal de expansão directa

Com base na figura 17, descreve-se as diferentes fases:

Compressão (1-2):

O fluido frigorigénio sai do evaporador no estado saturado e ao entrar no compressor sofre uma compressão até a pressão de condensação. Durante este processo a temperatura do fluido aumenta acima da temperatura do meio envolvente, sendo que o fluido abandona o compressor no estado sobreaquecido, entrando de seguida no condensador.

Condensação (2-3):

O fluido frigorigénio entra no condensador como vapor sobreaquecido onde é realizada a dissipação de calor isotérmica até atingir o estado de líquido saturado, todavia, com uma temperatura superior à do meio envolvente;

Expansão (3-4):

Expansão do líquido após condensação a entalpia constante através de um tubo capilar ou válvula de expansão com o objectivo de regular a admissão de fluido frigorigénio ao evaporador. Durante este processo a temperatura do fluido desce abaixo da temperatura do espaço que se pretende refrigerar. O arrefecimento provoca uma diminuição da pressão, sendo o fluido frigorigénio parcialmente vaporizado;

Evaporação (4-1):

Absorção de calor do espaço que se pretende refrigerar no evaporador, sendo o seu estado alterado para vapor saturado e retornando ao Ponto 1.

16.3. Funcionamento da instalação frigorífica

A instalação frigorífica é constituída por duas zonas de refrigeração, as câmaras de armazenamento e túnel pré-arrefecimento. Estas zonas apresentam o controlo da temperatura e humidade através dos equipamentos que complementam os ciclos de expansão directa.

A instalação terá 5 ciclos frigoríficos de expansão directa independentes, sendo eles constituídos pelos seguintes ciclos:

- **A)** Circuito Principal de Câmaras de Maçãs 1,2 e 3;
- **B)** Circuito Principal de Câmaras de Peras 1,2 e 3;
- **C)** Túnel Pré-Arrefecimento;
- **D)** Circuito Secundário - Excesso de fruta nas câmaras de Maçãs 2 e 3;
- **E)** Circuito Secundário - Excesso de fruta nas câmaras de Peras 2 e 3;

Todos os ciclos frigoríficos seguem exactamente o mesmo raciocínio, no entanto servirá de explicação o exemplo da instalação frigorífica do ciclo A.

Começando no depósito líquido, o líquido flui do depósito a pressão e temperaturas elevadas através da *linha de líquido* para a válvula de expansão termostática. A *linha de líquido* tem o objectivo de fornecer à válvula de expansão o fluido sob a forma de líquido saturado a uma pressão elevada para permitir que a válvula de expansão funcione eficientemente [10]. A válvula de expansão é um dispositivo que permite uma queda de pressão alimentando correctamente o evaporador, ou seja, a pressão do líquido é reduzida para a pressão do evaporador quando o líquido passa através da válvula de expansão, de modo a que a temperatura de saturação que entra no evaporador seja inferior à temperatura da câmara de refrigeração. Durante o processo de passagem do fluido na *linha de líquido*, o fluido passa por um visor líquido que tem como objectivo visualizar a carga de refrigerante e permitir a verificação de humidade no sistema. Logo de seguida o fluido é filtrado através de um filtro que tem como propósito remover a sujidade e retirar na medida do possível a humidade do sistema de modo a manter o fluido continuamente limpo. Mesmo antes do fluido chegar á válvula de expansão, o fluido passa por uma válvula solenoide, que se encontra o mais próximo possível da válvula de expansão.

Quando é atingida a temperatura na câmara o termóstato obriga a fechar a válvula solenoide, enquanto pressostato de baixa pressão pára o compressor.

Quando a temperatura sobe na câmara o termóstato abre a válvula solenoide e liberta a passagem de fluido para a válvula de expansão termostática provocando uma subida de pressão e o arranque do compressor comandado pelo pressostato.

Depois da válvula de expansão o fluido segue para o evaporador, cuja função permitir que o fluido frigorigéneo receba calor do meio que se pretende arrefecer. O evaporador não é mais do que um permutador de calor que arrefece um fluido exterior a uma temperatura constante (a temperatura de vaporização do fluido frigorigéneo à pressão de trabalho). Durante este processo de transferência de calor, o fluido recebe energia e evapora-se.

Pela acção do compressor o vapor resultante de vaporização é retirado do evaporador pela *linha de aspiração* para a entrada de admissão do compressor.

O vapor que deixa o evaporador é sobreaquecido e a sua pressão é igual à do líquido em vaporização. O vapor, enquanto está a fluir na linha de aspiração do evaporador para o compressor, absorve o calor do ar que circunda a linha de aspiração aumentando o sobreaquecimento. Como já foi referido o pressostato de baixa pressão que se localiza à entrada do compressor tem a função de controlar a pressão de admissão, ou seja desliga a instalação quando a pressão de aspiração é mais baixa que a pressão de vaporização.

A temperatura e pressão de vapor, no compressor, são elevadas por compressão e descarregado para a *linha de descarga* [6]. Logo após o compressor, está instalado na *linha de descarga* um separador de óleo, que está ligado ao cárter do compressor a baixa pressão. É utilizado para reter o óleo de lubrificação que sai do compressor. A seguir à descarga do compressor existe um pressostato de alta pressão que protege o compressor contra a alta pressão de descarga, ou seja, desliga a instalação quando a pressão de descarga se torna superior a um determinado valor. Para evitar que o fluido retorne ao compressor, foi instalado uma válvula anti-retorno logo a seguir ao pressostato de alta pressão. O fluido flui para o condensador através da *linha de descarga*, onde é condensado passando para o estado líquido. O refrigerante alcança o depósito líquido através da *linha de dreno*. O depósito líquido é um recipiente no qual está destinado a recolher o fluido frigorigénio condensado, e enviar de seguida todo o fluido necessário à instalação pela linha de líquido, evitando a entrada de vapor na válvula de expansão.

No depósito existe um purgador de ar que tem como função retirar o ar que se encontra no depósito, pois a presença de ar poderá provocar um aumento da pressão [10]. De seguida todo o ciclo mencionado se repete.

Existe ainda um colector de aspiração, para o caso da avaria de um compressor, a instalação não pare, sendo a aspiração efectuada pelos restantes compressores. Na linha de aspiração existe duas válvulas de corte para que deste modo se consiga fechar a instalação, quando o compressor avaria. Para proceder à limpeza do filtro procede-se ao seu isolamento por um by-pass não sendo interrompido o fluxo do fluido, continuando a funcionar a instalação.

Através do diagrama pode-se observar detalhadamente o esquema de princípio:

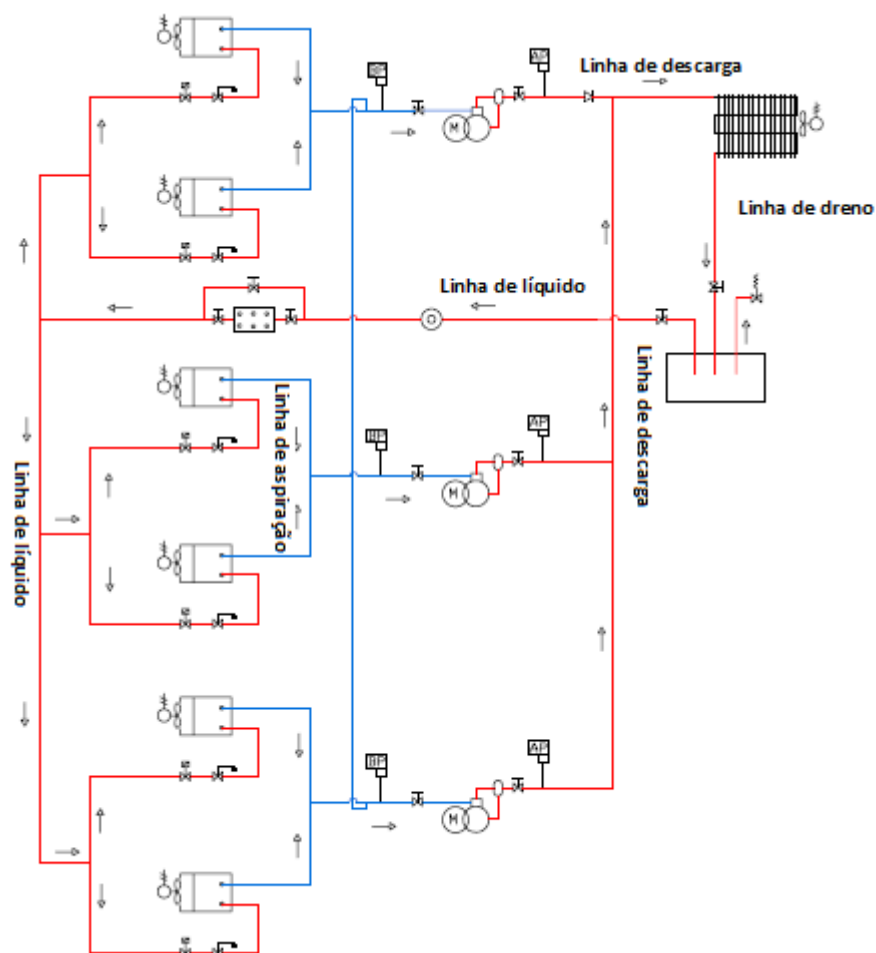


Fig.18 – Esquema de princípio das câmaras maçãs 1,2 e 3

No Anexo 1 – Lista de Desenhos, os desenhos nº4, 5 e 6 apresentam os esquemas de princípios das câmaras de maçãs, peras e túnel pré-arrefecimento, respectivamente.

Solução aplicada para o excesso de fruta – Circuito Secundário

Neste ponto serão explicadas as diferentes soluções aplicadas nas câmaras frigoríficas. A câmara frigorífica 1 de maçãs e peras, tem como finalidade armazenar a fruta que sai do túnel de pré arrefecimento. Assim, esta câmara é dimensionada simplesmente para o produto que leve um pré arrefecimento, visto que os evaporadores não têm capacidade para retirar a carga térmica do produto, que chega a temperaturas de 20 °C.

As câmaras frigoríficas 2 e 3 de maçãs e peras, foram dimensionadas para armazenar a fruta que sai do túnel, mas também o produto que poderá vir em excesso no mesmo dia. O túnel de pré arrefecimento só tem capacidade para 96 toneladas, caso num determinado dia venha um excesso de fruta, esta não poderá receber o pré arrefecimento e terá que entrar directamente para as câmaras frigoríficas. Desta forma, as câmaras frigoríficas 2 e 3 de maçãs e de peras foram dimensionadas para solucionar este tipo de problema.

Estas câmaras frigoríficas serão alimentadas pelo circuito principal e pelo circuito secundário, para que assim se consiga retirar a carga térmica existente na câmara devido à fruta que entra a 20 °C.

Esta instalação também tem a finalidade de funcionar durante o período de Inverno. Assim esta instalação secundária consegue retirar a carga térmica por ser muito inferior durante esse período.

Foram colocados nas instalações válvulas de corte para fechar o circuito principal e funcionar unicamente nas câmaras 2 e 3 o circuito secundário. A temperatura é regulada através de um termóstato que faz disparar a instalação principal quando a temperatura dentro das câmaras de maçãs e peras se encontrar acima dos 4°C e 1°C, respectivamente.

Deste modo consegue-se obter uma racionalização de energia, visto que as câmaras 2 e 3 de maçãs e pêras, funcionam cada uma com um evaporador, durante 5 meses (Outubro a Março).

No Anexo 1 – Lista de Desenhos, o desenho nº7 apresenta o esquema de princípio das câmaras 2 e 3 de maçãs e peras do circuito secundário - Excesso de fruta.

A seguinte figura apresenta a localização dos evaporadores do circuito primário e secundário das câmaras frigoríficas:

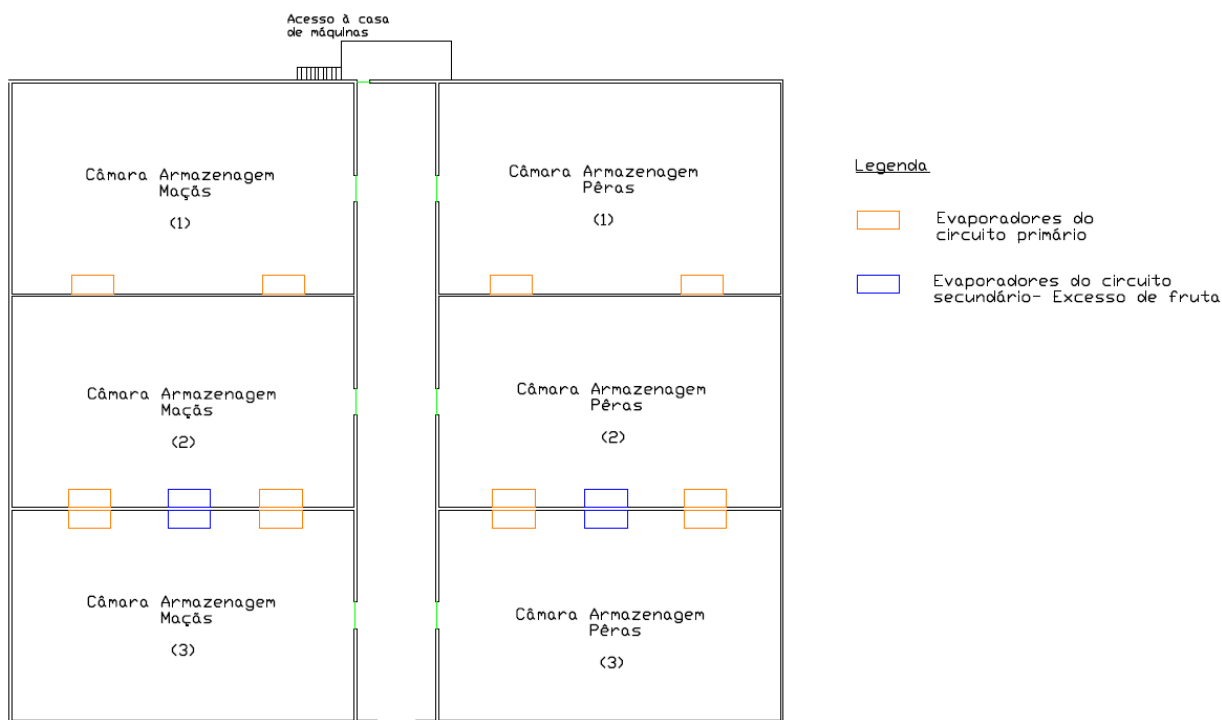


Fig.19 – Localização dos evaporadores do circuito primário e secundário.

16.4. Funcionamento da instalação da atmosfera controlada

A atmosfera controlada utiliza sistemas que efectuem uma constante monitorização e regulação da concentração de O_2 e de CO_2 na atmosfera dentro de câmaras hermeticamente fechadas. Normalmente, o sistema mantém concentrações de O_2 inferiores e de CO_2 superiores às da atmosfera normal.

A atmosfera controlada utiliza os seguintes equipamentos:

- Analisadores de gases;
- Válvula equalizadora de pressão;
- Queimador de O_2 ;
- Absorvedor de CO_2 .

Através destes equipamentos a composição da atmosfera é modificada de uma atmosfera normal para uma atmosfera com a seguinte composição:

$78\% N_2 + 20,95\% O_2 + 0,03\% CO_2 + 0,94\% \text{ Gases} \rightarrow 98\% N_2 + 1,2\% O_2 + 0,09\% CO_2 + 0,72\% \text{ Gases}$

Utiliza-se um sistema centralizado para as câmaras de maçãs e outro sistema centralizado para as câmaras de peras, como se pode ver na figura 20. Não se utilizou um sistema centralizado para as todas câmaras, visto que as concentrações de O_2 e de CO_2 diferem da espécie para espécie.

16.4.1. Analisadores de gases

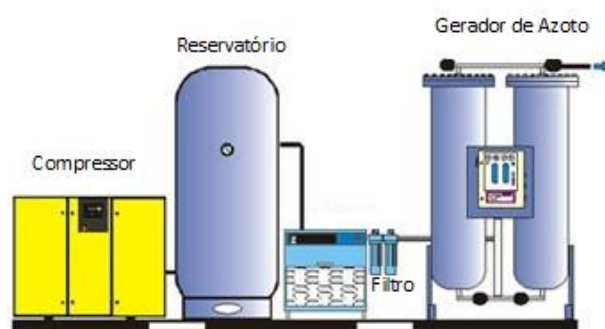
Para a análise da concentração de O_2 e de CO_2 utiliza-se actualmente analisadores electrónicos de fluxo contínuo. Utilizam dois princípios de medição: o paramagnético e o electroquímico [16]. Os analisadores com princípios electroquímicos necessitam de uma renovação periódica da célula, que tem uma durabilidade de 3 a 8 anos, dependendo do número de horas de uso diário e da concentração de O_2 medida. Quanto maior a concentração de O_2 , menor a vida útil da célula.

16.4.2. Queimador de Oxigénio através de PSA (Pressure Swing Adsorption)

A queima de Oxigénio é obtida através de um equipamento que utiliza um fluxo de N_2 que é produzido pelo equipamento PSA. O equipamento dilui o O_2 através de um processo de alternância de pressão num filtro de carbono, que produz nitrogénio a partir do ar atmosférico. São necessários dois recipientes de funcionamento alternado. Enquanto um recipiente produz nitrogénio, o outro é regenerado. A alternância de pressão é feita de forma cíclica com tempo fixo. O tempo total de um ciclo de absorção e regeneração é aproximadamente duas vezes a cada 60 segundos. O ar ambiente é absorvido pelo compressor e comprimido em um depósito. Esse ar comprimido de seis a nove bares é conduzido pela peneira molecular de carbono, constituída por carvão activado [16].

A coluna do filtro absorve vapor de água, CO_2 CO e O_2 do ar, deixando fluir na outra extremidade, uma mistura enriquecida com nitrogénio.

Este tipo de equipamento é muito utilizado pelo baixo custo de produção de gás. As seguintes figuras mostram o funcionamento do equipamento referido através de PSA.



Fonte: www.absoger-france.fr

Fig.20 – Esquema de princípio do Queimador de oxigênio

16.4.3. Absorvedor CO₂ através de carvão activado

É o equipamento que elimina o CO₂ e funciona a partir de duas torres. Enquanto uma torre está a absorver CO₂ a outra está a regenerar permitindo um funcionamento contínuo. O gás da câmara é pressurizado durante um período de 3 a 5 minutos, sobre o carvão activado de uma torre de absorção do equipamento até á saturação do CO₂. Automaticamente, o ar da câmara é canalizado para uma segunda torre de absorção, enquanto é regenerado o carvão da primeira torre, pela “lavagem” com ar externo, que elimina o CO₂ do carvão, tornando-o apto para nova absorção [16].

16.4.4. Válvula equalizadora de pressão

Dentro de cada câmara frigorífica encontra-se uma válvula equalizadora de pressão. Esta válvula é essencial para o bom funcionamento da instalação frigorífica em regime de atmosfera controlada. A pressão interna de uma câmara de atmosfera controlada sofre uma variação contínua, em consequência da paragem e arranque dos ventiladores dos evaporadores e do absorvedor de CO₂. A câmara frigorífica, mesmo carregada com frutas, apresenta um grande volume de ar que se contrai e se expande durante o funcionamento da instalação frigorífica e sobretudo durante os processos de descongelação.

Estima-se que a variação da temperatura em 1°C provoque a variação de 1/273 do volume de ar, correspondendo a uma variação de pressão de 37,7 mm da coluna de água (0,37Pa). Assim, sem a abertura da válvula equalizadora de pressão, poderia ocorrer danos

nas paredes e tecto da câmara. Pode também haver depressão na câmara quando o CO₂ é removido pelo absorvedor.

A eliminação de 0,5% de CO₂ de uma câmara de 500 t significa a remoção de aproximadamente 4500 L de CO₂, ou seja, o volume de gás diminui 4,5 m³.

Essas variações de pressão devem ser rapidamente compensadas para evitar danos na estrutura das câmaras [16]. A válvula equalizadora de pressão, também conhecida como válvula de segurança, é accionada pela sobrepressão ou depressão da câmara. Deverá abrir por sobrepressão ou depressão de 5 a 10 mm de coluna de água.

A seguinte figura, apresenta o esquema de princípio da atmosfera controlada.

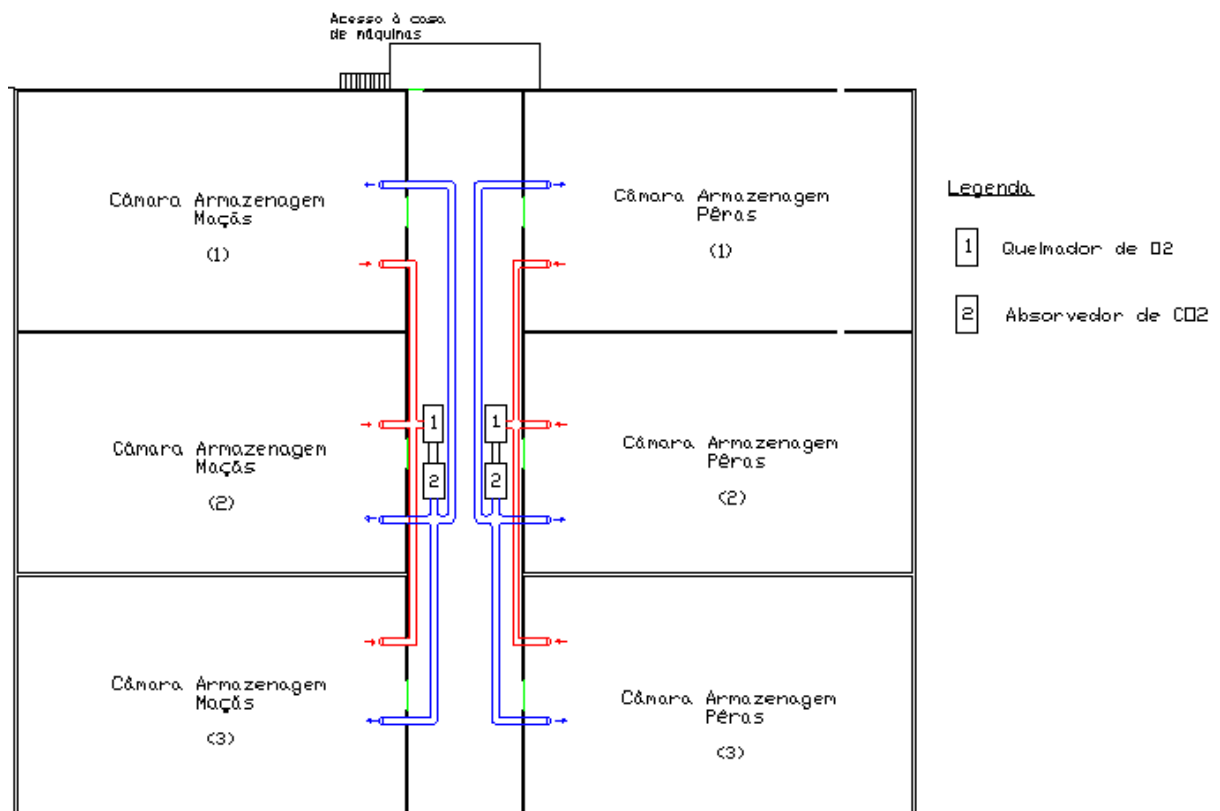


Fig.21 – Esquema de princípio da atmosfera controlada

O Anexo 1 – Lista de Desenhos (Desenho nº8), apresenta o referido esquema de princípio da atmosfera controlada.

16.5. Dimensionamento e Selecção dos Equipamentos

De seguida, serão dimensionados e seleccionados, todos os equipamentos que constituem os ciclos de expansão directa e os equipamentos da atmosfera controlada.

16.5.1. Equipamentos que constituem os ciclos de expansão directa

Para o dimensionamento dos equipamentos irá ter-se em conta as seguintes características:

Tabela 26 - Características dos locais

Local	Regime Funcionamento	Fluido Frigorígeno
Câmaras Maçãs 1,2 e 3	- 2 / + 45 °C	R134a
Câmara Peras 1,2 e 3	- 5 / + 45 °C	R134a
Túnel Pré-Arrefecimento	- 2 / + 45 °C	R134a
Circuito Secundário - Câmara Maçãs 2 e 3	- 2 / + 45 °C	R134a
Circuito Secundário - Câmara Peras 2 e 3	- 5 / + 45 °C	R134a

16.5.1.1. Evaporadores

Os grupos frigoríficos da instalação, apresentam evaporadores de expansão directa, com tubos em cobre, alhetas e protecção em alumínio em alumínio. A instalação tem um total de 18 evaporadores, e são instalados no interior dos respectivos locais. Cada evaporador terá que ter capacidade para retirar todas as cargas térmicas calculadas mais atrás.

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

O funcionamento dos evaporadores em regime é comandado por termóstato, com bolbo localizado junto da aspiração dos evaporadores.

A descongelação dos evaporadores será realizada automaticamente por resistências eléctricas. A tubagem de recolha da água de descongelação será aquecida por meio de resistências eléctricas em fita enrolada nos tubos. Estas resistências estarão continuamente sob tensão.

Para a selecção dos evaporadores utilizou-se o Software da “Centaurus”, tendo em conta os seguintes parâmetros:



Fonte: Software Centaurus

Fig.22 – Parâmetros para a selecção dos evaporadores

Com base nos parâmetros apresentados, seleccionou-se os evaporadores de cada local:

Tabela 27 – Selecção dos Evaporadores

Local	Quantidade	Carga Térmica a retirar por cada evaporador(kW)	Modelo Evaporador	Capacidade nominal (kW)	Projeção Ar (m)	Dimensões (mm)
Câmara Maçãs 1	2	21,4	MT/E - 4125	24,76	18	1693 x 704
Câmara Maçãs 2	2	20,4	MT/E - 4125	24,76	18	1693 x 704
Câmara Maçãs 3	2	21,2	MT/E - 4125	24,76	18	1693 x 704
Câmara Peras 1	2	29,9	MT/E - 4144	31,59	18	2343 x 704
Câmara Peras 2	2	28,85	MT/E - 4144	31,59	18	2343 x 704
Câmara Peras 3	2	29,1	MT/E - 4144	31,59	18	2343 x 704
Túnel Pré-Arrefecimento	2	132,55	BSUT 1902 XL	156,8	35	5000 x 1646
Câmara Maçãs 2 - Cir. Secundário	1	13,8	MT/E - 4071	15,23	20	1273 x 784
Câmara Maçãs 3 - Cir. Secundário	1	13,7	MT/E - 4071	15,23	20	1273 x 784
Câmara Peras 2 - Cir. Secundário	1	16	MT/E - 4079	18,89	16	2343 x 628
Câmara Peras 3 - Cir. Secundário	1	16,8	MT/E - 4079	18,89	16	2343 x 628

16.5.1.2. Compressores

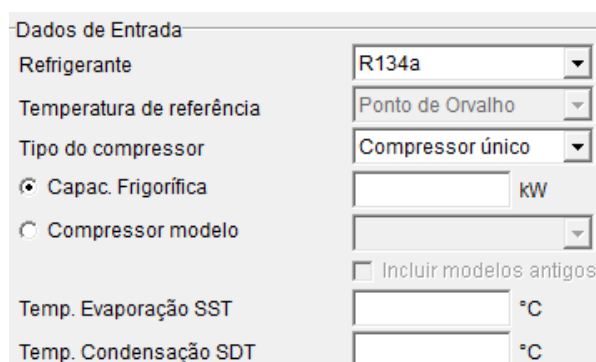
A instalação tem um total de 9 compressores. Todos os espaços frigoríficos apresentam compressores semi-herméticos de pistões, à excepção do túnel pré- arrefecimento que tem um compressor de parafuso, uma vez que a capacidade frigorífica é bastante elevada comparada com as restantes.

Nos compressores semi-herméticos, o motor e o compressor encontram-se acoplados e ambos encerrados por invólucro metálico selado, estando localizados na sala de máquinas.

Sendo estes equipamentos bastante importantes numa instalação frigorífica terão que possuir elementos de protecção tais como:

- Pressostato diferencial de óleo;
- Pressostato de alta e baixa pressão;
- Separador de óleo de grande capacidade;
- Válvula de retenção na descarga e válvulas de passagem na sucção e descarga;
- Manómetro de aspiração, descarga e pressão de óleo.

A selecção dos compressores, é efectuada com base na potência dos respectivos evaporadores. Para tal utilizou-se o software da “Bitzer”, e teve-se em conta os seguintes parâmetros:



The screenshot shows a software window titled "Dados de Entrada" (Input Data) with the following fields and values:

Refrigerante	R134a
Temperatura de referência	Ponto de Orvalho
Tipo do compressor	Compressor único
<input checked="" type="radio"/> Capac. Frigorífica	[] kW
<input type="radio"/> Compressor modelo	[]
	<input type="checkbox"/> Incluir modelos antigos
Temp. Evaporação SST	[] °C
Temp. Condensação SDT	[] °C

Fonte: Software Bitzer

Fig.23 – Parâmetros para a selecção dos compressores

Com base nestes parâmetros, obteve-se as seguintes capacidades frigoríficas dos compressores:

Tabela 28 – Selecção dos Compressores

Local a que se destina	Capacidade nominal dos evaporadores (kW)	Modelo Compressor	Capacidade Frigorífica (kW)
Câmara Maçãs 1	49,52	6HE-25Y-40P	50,3
Câmara Maçãs 2	49,52	6HE-25Y-40P	50,3
Câmara Maçãs 3	49,52	6HE-25Y-40P	50,3
Câmara Peras 1	63,18	8GC-50.2Y-40P	68,9
Câmara Peras 2	63,18	8GC-50.2Y-40P	68,9
Câmara Peras 3	63,18	8GC-50.2Y-40P	68,9
Túnel Pré-Arrefecimento	313,60	CSH9571-180Y-40D	335
Câmara Maçãs 2 e 3 - Cir. Secundário	30,46	4H-15.2Y-40P	32,6
Câmara Peras 2 e 3 - Cir. Secundário	37,78	6J-22.2Y-40P	38,6

16.5.1.3. Condensadores

A instalação apresenta 5 condensadores, um para cada circuito frigorífico. Estes equipamentos são instalados no exterior da sala de máquinas. Trata-se de condensadores a ar, com alhetas em alumínio e com ventiladores axiais

A selecção dos condensadores é feita com base na potência frigorífica do compressor, e a potência absorvida do mesmo (CTR). Através da seguinte tabela da “Centauro”, é possível retirar o factor de correcção que corresponde à potência absorvida do compressor. Este factor depende da temperatura de evaporação, condensação e do tipo de compressor:

Tabela 29 – Factores de correcção dos condensadores

Temp. evaporação Evaporating Temp. [°C]	Factor "FR" - "FR" Factor														
	TEMPERATURA CONDENSAÇÃO / CONDENSING TEMPERATURE [°C]														
	+35			+40			+45			+50			+55		
	Herm	Aber.	Sem.	Herm	Aber.	Sem.	Herm	Aber.	Sem.	Herm	Aber.	Sem.	Herm	Aber.	Sem.
	Open	Open	Open	Open	Open	Open	Open	Open	Open	Open	Open	Open	Open	Open	Open
5	1,26	1,20	1,22	1,30	1,23	1,26	1,35	1,27	1,31	1,41	1,32	1,37	1,48	1,38	1,44
0	1,31	1,23	1,26	1,35	1,27	1,30	1,40	1,31	1,35	1,47	1,36	1,42	1,55	1,43	1,49
-5	1,36	1,26	1,30	1,41	1,30	1,34	1,47	1,35	1,40	1,55	1,41	1,47	1,64	1,48	1,55
-10	1,43	1,30	1,34	1,49	1,35	1,39	1,56	1,40	1,45	1,65	1,46	1,52	1,76	1,55	1,61
-15	1,52	1,34	1,39	1,59	1,39	1,44	1,67	1,45	1,51	1,77	1,52	1,59	1,90	1,62	1,68
-20	1,64	1,39	1,44	1,71	1,44	1,50	1,80	1,51	1,57	1,91	1,60	1,66	2,01	--	--
-25	1,68	1,44	1,50	1,76	1,51	1,56	1,86	1,58	1,64	1,98	1,68	1,73	2,11	--	--
-30	1,75	1,51	1,57	1,84	1,58	1,64	1,95	1,67	1,72	2,08	1,79	1,82	2,21	--	--
-35	1,83	1,58	1,65	1,92	1,67	1,73	2,04	1,79	1,82	2,18	1,94	1,93	2,32	--	--

Herm - Hermético / Hermetic

Sem - Semi Hermético - Semi Hermetic

Fonte: Catálogos da Centauro

O factor de correcção é multiplicado pela potência frigorífica do compressor, obtendo-se a potência frigorífica do condensador:

$$P_{\text{Cond}} = F_c \times P_{\text{Compressor}}$$

A seguinte tabela mostra a capacidade frigorífica de cada condensador, antes da sua selecção:

Tabela 30 – Capacidade Frigorífica dos condensadores

Local a que se destina	Factor Correção	Capacidade frigorífica dos compressores (kW)	Capacidade frigorífica do condensador (kW)
Câmara Maçãs 1,2,3	1,37	150,9	206,73
Câmara Peras 1,2,3	1,4	206,7	283,18
Túnel Pré-Arrefecimento	1,4	335	458,95
Câmara Maçãs 2 e 3 - Cir. Secundário	1,37	32,6	44,66
Câmara Peras 2 e 3 - Cir. Secundário	1,4	38,6	52,88

A selecção dos condensadores, é efectuada com base no Software da Centauro”, tendo em conta os seguintes parâmetros:



Fonte: Software Centauro

Fig.24 – Parâmetros para a selecção dos condensadores

Através destes parâmetros seleccionou-se os seguintes condensadores:

Tabela 31 – Selecção dos condensadores

Local a que se destina	Modelo	Capacidade Nominal (kW)	Dimensões (m)
Câmara Maçãs 1,2,3	ACI/M D - 04153	210,9	6520 x 951
Câmara Peras 1,2, 3	ACI/E Y - 08354	304,0	4380 x 951
Túnel Pré-Arrefecimento	ACI/E D-12464	463,6	6520 x 951
Câmara Maçãs 2 e 3 - Cir. Secundário	ACI/M Y-02077	50,35	2240 x 951
Câmara Peras 2 e 3 - Cir. Secundário	ACI/M Y-02089	54,15	2240 x 951

16.5.1.4. Tubagens

Todas as tubagens da instalação são em tubo de cobre electrolítico.

O dimensionamento das tubagens, é efectuado com base em ábacos da “DUPONT Refrigeration” para o fluido R134a. Para tal são necessários os seguintes parâmetros:

- Potência do evaporador;
- Temperaturas de Evaporação e Condensação;
- Velocidade de escoamento.

As velocidades de escoamento, variam consoante as linhas de tubagens que se está a calcular:

Tabela 32 – Velocidades de escoamento

Linha	Local da linha	Velocidade (m/s)
Aspiração	Montante compressor	10
Descarga	Jusante compressor	6
Dreno	Jusante condensador e montante depósito de líquido	0,5
Líquido	Jusante depósito de líquido	0,5

Fonte: http://www2.dupont.com/Refrigerants/en_US/

As tubagens de aspiração são dimensionadas com base na temperatura de evaporação, enquanto as tubagens de descarga são dimensionadas com base na temperatura de condensação.

Após o dimensionamento das tubagens, é necessário calcular as respectivas perdas de carga com base nos seguintes parâmetros:

- Potência do evaporador;
- Regime de funcionamento;
- Diâmetro da tubagem do troço em questão.

No entanto, existem valores máximos de perdas de carga por metro linear, consoante a linha que se trata:

- Tubagem de aspiração: 0,15 kPa/m;
- Tubagem de descarga: 0,2 kPa/m;
- Tubagem de líquido: 0,25kPa/m.

Após o cálculo das perdas de carga por metro linear, é necessário o cálculo da perda de carga em toda a tubagem, nunca ultrapassando os seguintes valores:

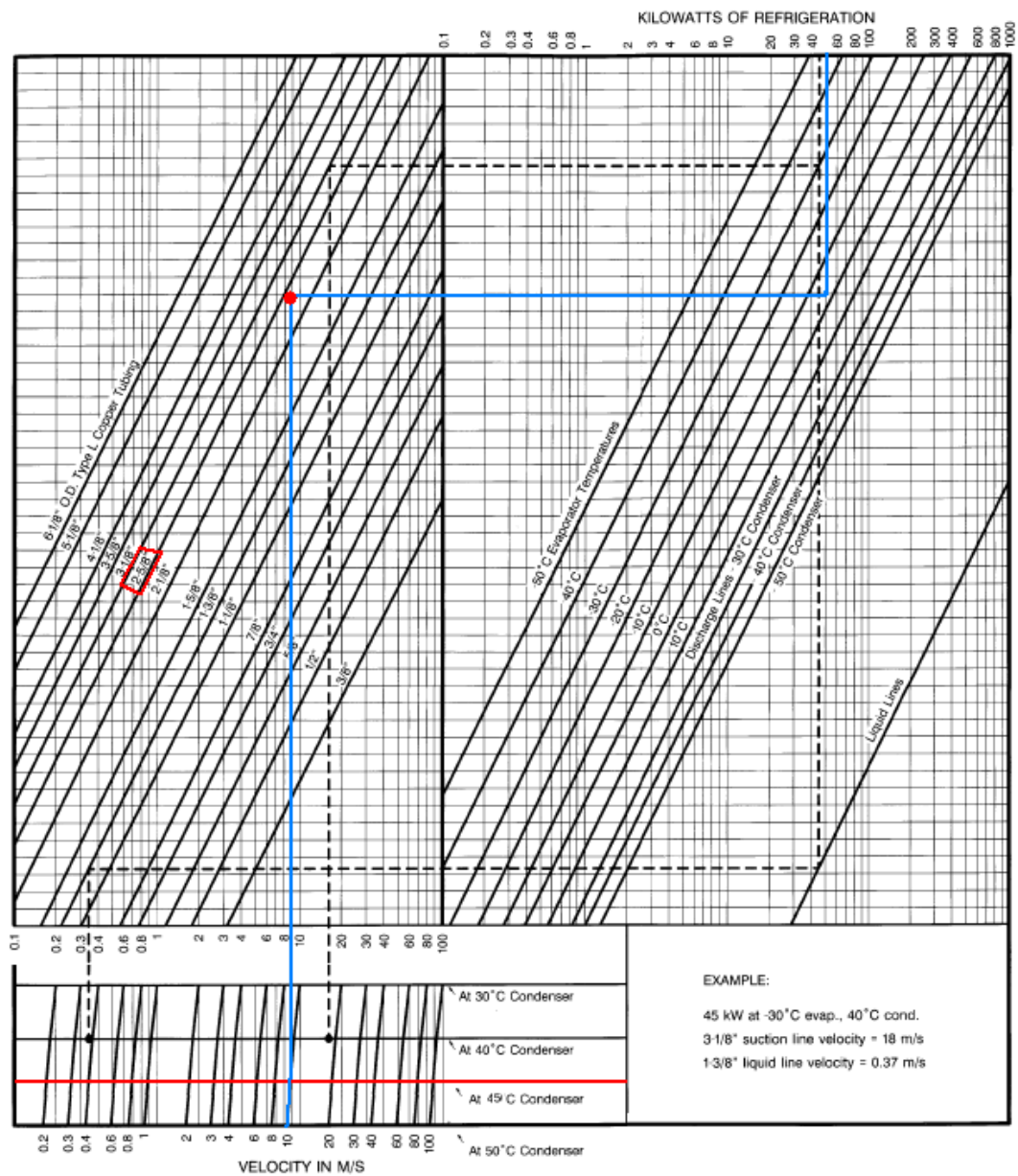
- Tubagem de aspiração: 0,150 bar (15 kPa);
- Tubagem de descarga: 0,180 bar (18 kPa);
- Tubagem de líquido: 0,320 bar (32 kPa).

Caso a tubagem seleccionada ultrapassar a perda de carga limite, então terá que se escolher a tubagem com um diâmetro maior de forma a baixa a perda de carga.

A título de exemplo, é dimensionada a tubagem de aspiração e a respectiva perda de carga da câmara maçãs 1. As restantes tubagens seguem todo o mesmo raciocínio.

Para o dimensionamento da tubagem de aspiração da câmara de maçãs 1, é necessário conhecer os seguintes parâmetros:

- Potência Evaporação: 50 kW;
- Temperatura Evaporação: -2°C;
- Temperatura Condensação: 45°C;
- Velocidade: 10 m/s.



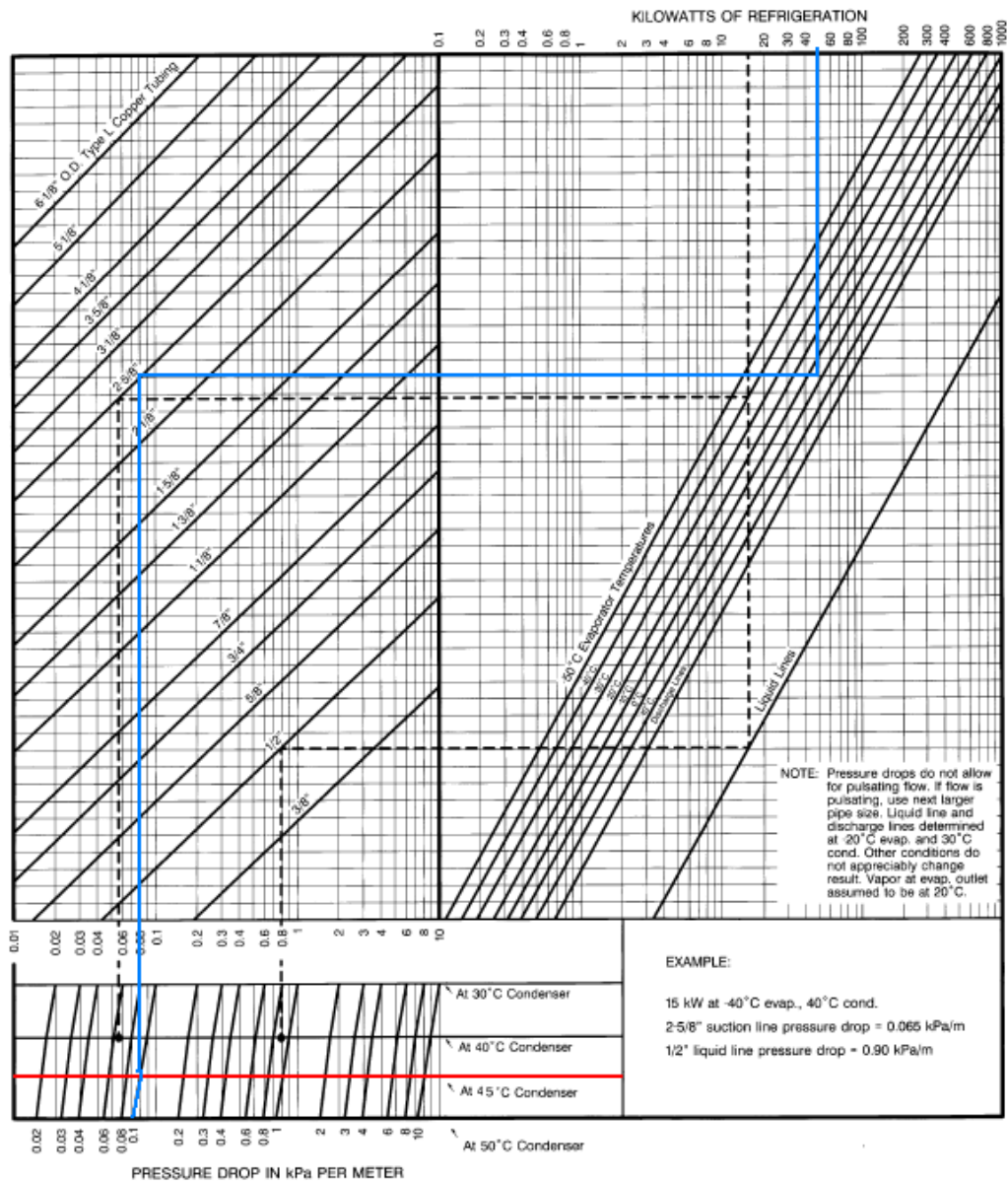
Fonte: http://www2.dupont.com/Refrigerants/en_US/

Fig.25 – Ábaco para o dimensionamento das tubagens

Através do ábaco conclui-se que o diâmetro da tubagem é de **2-5/8"**.

De seguida é calculada a perda de carga para este diâmetro. Para tal são necessários os seguintes parâmetros:

- Potência Evaporação: 50 kW;
- Temperatura Evaporação: -2 °C;
- Temperatura Condensação: 45°C;
- Diâmetro: 2-5/8”.



Fonte: http://www2.dupont.com/Refrigerants/en_US/

Fig.26 – Ábaco para o dimensionamento das perdas de carga

A perda de carga é de 0,1 kPa/m. Este valor não ultrapassa o admissível pelo que o diâmetro seleccionado foi o correcto. Caso ultrapassasse o valor limite de 0,15 kPa/m teria que se escolher o diâmetro a seguir.

É necessário determinar ainda a perda de carga em toda a tubagem. Esta tubagem tem um comprimento de 11,3m pelo que tem uma perda de carga total de 0,565 kPa. Este valor não ultrapassa o admissível, pelo que se conclui que o diâmetro da tubagem escolhido é o correcto.

No Anexo 1 – Lista de Desenhos (Desenho nº9) apresenta-se o dimensionamento das tubagens das câmaras de maçãs 1, 2 e 3.

O dimensionamento das restantes tubagem segue o mesmo raciocínio, e encontram-se tabelados no Anexo 2.

Nota: Não se calculou os restantes comprimentos das tubagens e respectivas perdas de carga, uma vez que segue exactamente o mesmo raciocínio das câmaras maçãs.

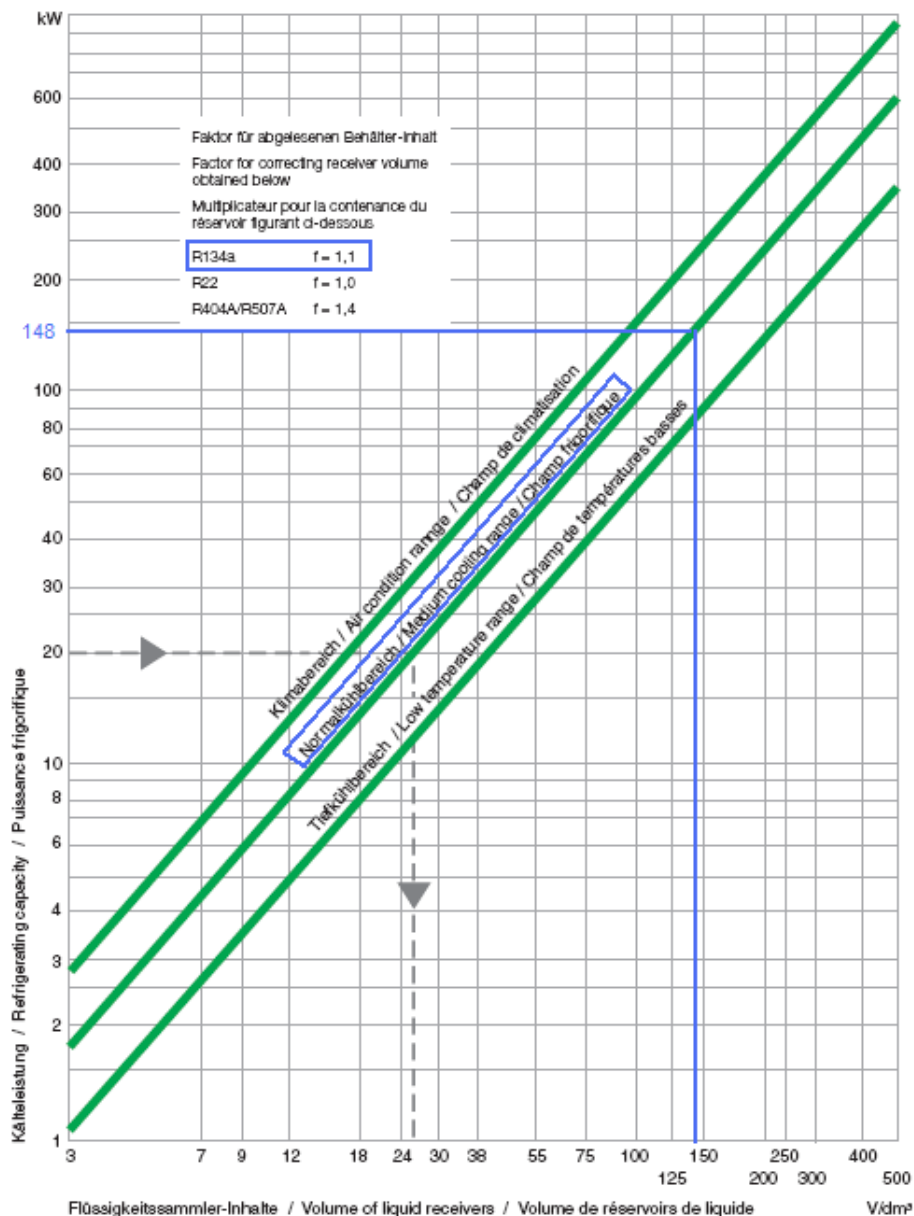
16.5.1.5. Depósitos de Líquido

A instalação frigorífica necessita de 5 depósitos de líquido. Estes localizam-se na sala de máquinas tratando-se de depósitos horizontais.

Estes equipamentos estão equipados com válvulas de corte e um purgador de ar. São seleccionados com base num ábaco da "Bitzer" sendo necessário ter em conta os seguintes parâmetros:

- Capacidade do evaporador;
- Natureza do Local – refrigerado;
- Fluido Frigorígeno – R134a.

De seguida, e com base nos parâmetros descritos, calcula-se a título de exemplo o depósito de líquido da câmara de maçãs 1, 2 e 3. A capacidade total dos evaporadores é de 148,56 kW:



Fonte: <http://www.bitzer.de/eng/Products-Service>

Fig.27 – Ábaco para o dimensionamento dos depósitos de líquido

Através do ábaco, conclui-se que a capacidade do depósito de líquido é de 148 dm³. No entanto, é necessário multiplicar esta capacidade por um factor de correcção dependendo do tipo de fluido utilizado. Uma vez que se utiliza o fluido R134a, de acordo com o ábaco o factor de correcção é de 1,1 o que dá uma capacidade final de 163 dm³. A seguinte tabela apresenta as capacidades dos depósitos de líquido:

Tabela 33 – Capacidade dos depósitos de líquido

Local a que se destina	Potência Evap. (kW)	Volume Ábaco (dm ³)	Factor Correção	Volume Total (dm ³)
Câmara Maçãs 1,2,3	148,56	148	1,1	163
Câmara Peras 1,2, 3	189,54	160	1,1	176
Túnel Pré-Arrefecimento	313,6	275	1,1	303
Câmara Maçãs 2 e 3 - Cir. Secundário	30,46	38	1,1	42
Câmara Peras 2 e 3 - Cir. Secundário	37,78	42	1,1	46

Com base nas capacidades acima apresentadas, seleccionou-se os depósitos de líquido com as seguintes características:

Tabela 34 – Selecção dos depósitos de líquido

Local a que se destina	Modelo	Volume (dm ³)
Câmara Maçãs 1,2,3	Bitzer F22002N	220
Câmara Peras 1,2, 3	Bitzer F22002N	220
Túnel Pré-Arrefecimento	Bitzer F3102N	320
Câmara Maçãs 2 e 3 -Cir. Secundário	Bitzer F552T	54
Câmara Peras 2 e 3 - Cir. Secundário	Bitzer F552T	54

16.5.1.6. Válvulas

Todas as válvulas da instalação são soldadas às respectivas tubagens. De seguida são descritas e seleccionadas todas as válvulas existentes na instalação.

Válvulas de expansão termostáticas

A instalação tem no total 18 válvulas termostáticas. Estas situam-se na linha de líquido, a entrada do evaporador.

As válvulas seleccionadas são da “Danfoss”. Este tipo de válvulas suportam uma ampla faixa de temperaturas que pode atingir uma gama de temperaturas de – 60 °C a + 50°C.

A sua selecção é efectuada com base dos seguintes parâmetros:

- Fluido frigorígeno;
- Capacidade do evaporador;
- Temperatura de evaporação;
- Temperatura condensação;
- Temperatura da linha de líquido (35°C);
- Perda de carga;
- Diâmetro de ligação (Semelhante a tubagem de líquido a entrada do evaporador).

Através dos parâmetros apresentados, seleccionou-se as seguintes válvulas:

Tabela 35 – Selecção das válvulas de expansão termostáticas

Local a que se destina	Capacidade Evaporador (kW)	Modelo	Quantidade	Capacidade Frigorífica (kW)
Câmara Maças 1	24,76	Danfoss TEN 12 - 7.7	2	29,44
Câmara Maças 2	24,76	Danfoss TEN 12 - 7.7	2	29,44
Câmara Maças 3	24,76	Danfoss TEN 12 - 7.7	2	29,44
Câmara Peras 1	31,59	Danfoss TEN 12 - 11.4	2	40,9
Câmara Peras 2	31,59	Danfoss TEN 12 - 11.4	2	40,9
Câmara Peras 3	31,59	Danfoss TEN 12 - 11.4	2	40,9
Túnel Pré-Arrefecimento	156,8	Danfoss TEN 55 - 51	2	156,84
Câmara Maças 2 - Cir. Secundário	15,23	Danfoss TEN 5 - 5.4	1	21,56
Câmara Maças 3 - Cir. Secundário	15,23	Danfoss TEN 5 - 5.4	1	21,56
Câmara Peras 2 - Cir. Secundário	18,89	Danfoss TEN 5 - 5.4	1	21,56
Câmara Peras 3 - Cir. Secundário	18,89	Danfoss TEN 5 - 5.4	1	21,56

Válvulas Solenóides

As válvulas solenóides, também designadas por válvulas eléctricas, localizam-se na linha de líquido, tendo um total de 18 válvulas.

As válvulas seleccionadas são da “Danfoss”, tendo em conta os seguintes parâmetros:

- Fluido frigorígeno;
- Capacidade do evaporador;
- Temperatura de evaporação;
- Temperatura de condensação;
- Temperatura de linha de líquido (35°C).

A seguinte tabela apresenta as válvulas seleccionadas:

Tabela 36 – Selecção das válvulas solenóides

Local a que se destina	Capacidade Evaporador (kW)	Modelo	Quantidade	Capacidade Frigorífica (kW)
Câmara Maçãs 1	24,76	Danfoss EVR 10	2	33
Câmara Maçãs 2	24,76	Danfoss EVR 10	2	33
Câmara Maçãs 3	24,76	Danfoss EVR 10	2	33
Câmara Peras 1	31,59	Danfoss EVR10	2	33
Câmara Peras 2	31,59	Danfoss ERV10	2	33
Câmara Peras 3	31,59	Danfoss EVR10	2	33
Túnel Pré-Arrefecimento	156,80	Danfoss EVR25	2	186
Câmara Maçãs 2 - Cir. Secundário	15,23	Danfoss EVR 10	1	33
Câmara Maçãs 3 - Cir. Secundário	15,23	Danfoss EVR 10	1	33
Câmara Peras 2 - Cir. Secundário	18,89	Danfoss EVR 10	1	33
Câmara Peras 3 - Cir. Secundário	18,89	Danfoss EVR 10	1	33

Válvulas Retenção

A instalação apresenta 9 válvulas de retenção que se localizam na linha de descarga. Este tipo de válvulas é dimensionado com base no diâmetro da tubagem, e são seleccionadas com base nos catálogos da "Danfoss".

Tabela 37 – Selecção das válvulas retenção

Local a que se destina	Diâmetro da tubagem (Polegadas)	Modelo	Diâmetro Válvula (Pol.)
Câmara Maçãs 1	2-1/8"	Danfoss CHV 65 A ANG	2-1/2"
Câmara Maçãs 2	2-1/8"	Danfoss CHV 65 A ANG	2-1/2"
Câmara Maçãs 3	2-1/8"	Danfoss CHV 65 A ANG	2-1/2"
Câmara Peras 1	2-1/8"	Danfoss CHV 65 A ANG	2-1/2"
Câmara Peras 2	2-1/8"	Danfoss CHV 65 A ANG	2-1/2"
Câmara Peras 3	2-1/8"	Danfoss CHV 65 A ANG	2-1/2"
Túnel Pré-Arrefecimento	4-1/8"	Danfoss CHV 125 A ANG	5"
Câmara Maçãs 2 e 3 - Cir. Secundário	1-5/8"	Danfoss CHV 50 A ANG	2"
Câmara Peras 2 - Cir. Secundário	2-1/8"	Danfoss CHV 65 A ANG	2-1/2"

Válvulas de corte

Estas válvulas situam-se a montante e jusante dos compressores, a montante do depósito de líquido, e a montante e jusante dos filtros.

Estas válvulas são da “Danfoss”, e a sua selecção é efectuada com base no diâmetro de ligação da válvula.

Tabela 38 – Selecção das válvulas de corte

Local a que se destina	Localização válvula	Diâmetro Tubagem (Pol.)	Modelo	Qtd	Ligação (Pol.)
Câmara Maças 1, 2 e 3	Montante Compressor	2-5/8"	Danfoss, SVA-ST 80A	3	3"
	Jusante Compressor	2-1/8"	Danfoss, SVA-ST 65A	3	2-1/2"
	Montante Depósito de Líquido	2-1/8"	Danfoss, SVA-ST 65A	1	2-1/2"
	Montante e Jusante do Filtro	2-1/8"	Danfoss, SVA-ST 65A	4	2-1/2"
Câmara Peras 1, 2 e 3	Montante Compressor	3-1/8"	Danfoss, SVA-ST 100A	3	4"
	Jusante Compressor	2-1/8"	Danfoss, SVA-ST 65A	3	2-1/2"
	Montante Depósito de Líquido	2-1/8"	Danfoss, SVA-ST 65A	1	2-1/2"
	Montante e Jusante do Filtro	2-1/8"	Danfoss, SVA-ST 65A	4	2-1/2"
Túnel Pré-Arrefecimento	Montante Compressor	6-1/8"	Danfoss, SVA-ST 200A	1	8"
	Jusante Compressor	4-1/8"	Danfoss, SVA-ST 125A	1	5"
	Montante Depósito de Líquido	3-1/8"	Danfoss, SVA-ST 100A	1	4"
	Montante e Jusante do Filtro	3-1/8"	Danfoss, SVA-ST 100A	4	4"
Câmaras Maças 2 e 3 - Cir. Secundário	Montante Compressor	2-1/8"	Danfoss, SVA-ST 65A	1	2-1/2"
	Jusante Compressor	1-5/8"	Danfoss, SVA-ST 40A	1	1-1/2"
	Montante Depósito de Líquido	1-1/8"	Danfoss, SVA-ST 32A	1	1-1/4"
	Montante e Jusante do Filtro	1-1/8"	Danfoss, SVA-ST 32A	4	1-1/4"
Câmaras Fruta 2 e 3 - Cir. Secundário	Montante Compressor	2-1/8"	Danfoss, SVA-ST 65A	1	2-1/2"
	Jusante Compressor	1-5/8"	Danfoss, SVA-ST 40A	1	1-1/2"
	Montante Depósito de Líquido	1-1/8"	Danfoss, SVA-ST 32A	1	1-1/4"
	Montante e Jusante do Filtro	1-1/8"	Danfoss, SVA-ST 32A	4	1-1/4"

16.5.1.7. Pressostatos

De forma a controlar a pressão do sistema, são instalados de pressostatos de baixa e alta, sendo que se localizam respectivamente a montante e jusante do compressor.

Estes equipamentos são seleccionados com base dos catálogos da “Danfoss”, e a sua selecção é simples, bastando apenas indicar se trata de baixa ou alta pressão.

Tabela 39 – Selecção dos pressostatos

Tipo de Pressostato	Modelo
Baixa Pressão	Danfoss KP1
Alta Pressão	Danfoss KP5

16.5.1.8. Separador de óleo

O separador de óleo localiza-se à jusante do compressor. Este, assegura o retorno do óleo ao cárter do compressor, evitando o desgaste do compressor por falta de lubrificação. Desta forma a vida útil do compressor é prolongada.

A sua selecção é feita através do tipo de fluido e da capacidade do compressor e com base nos catálogos da “Emerson Climate Technologies”.

A seguinte tabela apresenta os separadores de óleo seleccionados com as respectivas características:

Tabela 40 – Selecção dos separadores de óleo

Local a que se destina	Capacidade Compressor (kW)	Modelo	Capacidade (kW)	Volume (L)	Ligação (Pol.)
Câmara Maçãs 1	50,3	Emers.Clim.Technol. OSH 617	73,8	7,9	2-1/8"
Câmara Maçãs 2	50,3	Emers.Clim.Technol. OSH 617	73,8	7,9	2-1/8"
Câmara Maçãs 3	50,3	Emers.Clim.Technol. OSH 617	73,8	7,9	2-1/8"
Câmara Peras 1	68,9	Emers.Clim.Technol. OSH 617	73,8	7,9	2-1/8"
Câmara Peras 2	68,9	Emers.Clim.Technol. OSH 617	73,8	7,9	2-1/8"
Câmara Peras 3	68,9	Emers.Clim.Technol. OSH 617	73,8	7,9	2-1/8"
Túnel Pré-Arrefecimento	335	Emers.Clim.Technol. OSH 617	73,8	7,9	2-1/8"
Câmara Maçãs 2 e 3 - Cir. Secundário	32,6	Emers.Clim.Technol. OSH 441	32,8	3,6	1-3/8"
Câmara Peras 2 e 3 - Cir. Secundário	38,6	Emers.Clim.Technol. OSH 413	45,9	3,6	1-5/8"

16.5.1.9. Visores Líquido

Cada ciclo frigorífica apresenta um visores de líquido que se localizam na linha de líquido. Os visores são seleccionados com base dos catálogos da “Emerson Climate Technologies” através do diâmetro da tubagem, apresentando as seguintes vantagens:

- Alta precisão de indicação de humidade;
- Longa vida útil de indicadores de utilização de cristais;
- Pressões elevadas até 31 bar.

Tabela 41 – Selecção dos visores de líquido

Local a que se destina	Dimensão Tubagem (Pol.)	Modelo	Ligação (Pol.)
Câmara Maçãs 1,2,3	2-1/8"	Emers.Clim.Technol. AMI-2 S17	2-1/8"
Câmara Peras 1,2, 3	2-1/8"	Emers.Clim.Technol. AMI-2 S17	2-1/8"
Túnel Pré-Arrefecimento	3-1/8"	Emers.Clim.Technol. AMI-2 S17	2-1/8"
Câmara Maçãs 2 e 3 - Cir. Secundário	1-1/8"	Emers.Clim.Technol. AMI-1 SS9	1-1/8"
Câmara Peras 2 e 3 - Cir. Secundário	1-1/8"	Emers.Clim.Technol. AMI-1 SS9	1-1/8"

16.5.1.10. Filtros

A instalação frigorífica tem um total de 5 filtros, que se localizam na linha de líquido. Estes filtros protegem a instalação da humidade, ácidos e partículas, tornando a instalação mais segura contra reacções químicas e impurezas abrasivas.

Os filtros são da marca “Emerson Climate Technologies”, e a sua selecção é feita com base nos seguintes parâmetros:

- Fluido refrigerante;
- Capacidade da linha de líquido;
- Dimensão da tubagem;
- Perda de Carga.

Através dos parâmetros descritos, seleccionou-se os seguintes filtros:

Tabela 42 – Selecção dos filtros

Local a que se destina	Capacidade Linha Líquido (kW)	Modelo	Capacidade Filtro (kW)	Ligação (Pol.)
Câmara Maçãs 1,2,3	150	Emers.Clim.Technol. ADKS-Plus 489T	187	1-1/8"
Câmara Peras 1,2, 3	192	Emers.Clim.Technol. ADKS-Plus 4811T	285	1-3/8"
Túnel Pré-Arrefecimento	314	Emers.Clim.Technol. ADKS-Plus 9613T	321	1-5/8"
Câmara Maçãs 2 e 3 - Cir. Secundário	32	Emers.Clim.Technol. ADKS-Plus 485T	72	5/8"
Câmara Peras 2 e 3 - Cir. Secundário	38	Emers.Clim.Technol. ADKS-Plus 485T	72	5/8"

No Anexo 3, encontram-se todos os equipamentos que acabaram de ser descritos.

16.5.2. Equipamentos que constituem a atmosfera controlada

Todos os equipamentos referentes à atmosfera controlada são da marca “Absorger”.

16.5.2.1. Analisadores de Gases

Optou-se por um equipamento portátil. Este equipamento foi especialmente concebido para a análise específica de CO₂ e de O₂ para locais de armazenagem de Atmosfera controlada.

Tabela 43– Características dos analisadores de gases

Características	
Sensores	O ₂ : Célula em óxido de zircónio, com tempo de vida superior a 3 anos. CO ₂ : Detecção através de infravermelhos.
Precisão/ Resolução	0,1 %
Tempo resposta	Geralmente menos que 1 minuto
Capacidade	200 Medidas
Alimentação	Bateria Interna recarregável
Dimensões	300mm x 200mm x 320mm

16.5.2.2. Queimador de Oxigénio

O queimador de oxigénio é da marca “ Absoger “ do tipo PSA. São geradores de Nitrogénio que permitem obter rapidamente as câmaras de oxigénio de 5% para 1%. A potência do gerador assegura entre 100 a 600 toneladas por dia de fruta. O nitrogénio é gerado e livre de impurezas e, em especial o dióxido de carbono. Esta última característica faz com que seja uma cópia em caso de falha do absorvedor de carbono. Este gerador é desenhado em um formato que permita facilmente ser movido com um empilhador

16.5.2.3. Absorvedor de dióxido de Carbono

O absorvedor é da marca “Absoger”. Estes aparelhos são projectados para ser conectado automaticamente com uma ou várias câmaras (até seis câmaras), desde que o seu volume não exceda a capacidade de processamento do absorvedor. O controlo é efectuado através de uma central de gestão de O₂ e de CO₂. Os absorvedores utilizam carvão activado que regeneram.

17. Manutenção das instalações

O bom funcionamento de qualquer sistema de refrigeração devidamente concebido e bem instalado depende de uma manutenção periódica. A manutenção de uma instalação frigorífica previne o número de reparações e para tal as inspecções deverão ser realizadas se possível mensalmente [4].

A seguinte lista indica os pontos principais que devem ser verificados quando a instalação inicia o seu funcionamento [4]:

- Pressão de paragem e de arranque do compressor;
- Pressão de alta, com o compressor a funcionar;
- Temperatura de paragem e de arranque;
- Válvulas de aspiração e de descarga abertas;
- Carga do refrigerante de acordo com a potência frigorífica da Instalação;
- Nível de óleo no compressor;
- Válvula de expansão termostática devidamente ajustada;
- Verificação dos valores de pressão nos manómetros.

Realizar estas verificações torna-se imprescindível para um excelente funcionamento da instalação.

De seguida apresenta-se um quadro com as respectivas causas e diagnóstico de avarias uma instalação frigorífica por expansão directa. Este quadro serve de auxílio, e determina um método lógico que simplifique a procura da avaria.

Tabela 44 – Manutenção dos equipamentos

1ª AVARIA: O compressor não se põe em marcha	
<i>1-Não chega corrente ao motor devido a:</i>	
a) Interruptor desligado	a) Ligar interruptor
b) Avaria nos tubos de ligação	b) Rever a linha
<i>2- O pressostato não liga devido a:</i>	
a) Má regulação da baixa pressão	a) Ajustar
b) Molas partidas	b) Substituir molas
c) Controlo desnivelado	c) Nivelar
d) Disparo provocado por alta pressão	d) Examinar a causa
<i>3-Obturação do refrigerante devido a:</i>	
a) Válvula de corte na linha de líquido fechada	a) Abrir
b) Linha de líquido obstruída	b) Verificar obstrução
c) Filtro tapado	c) Limpar filtro
d) Avaria na válvula de solenóide	d) Reparar ou substituir
e) Existência de partículas de sujidade na válvula de expansão	e) Limpar a válvula. Instalar um filtro e substituir o óleo do compressor
f) Linha de aspiração obstruída	f) Verificar causa
g) Perda de carga do refrigerante	g) Detectar e reparar a fuga. Recarregar refrigerante
2ª AVARIA: A instalação frigorífica não arrefece	
<i>1-O refrigerante não circula em quantidade suficiente devido a:</i>	
a) Válvula solenóide com pouca passagem	a) Substituir
b) Linha de líquido com pouco diâmetro	b) Substituir
c) Linha de aspiração interrompida	c) Eliminar a obstrução
d) Linha de líquido interrompida	d) Eliminar a obstrução
e) Falta de refrigerante	e) Verificar se existe qualquer fuga
3ª AVARIA: Faz demasiado frio	
1- Pressostato de baixa pressão mal ajustado	Ajustar a pressão e temperatura de paragem
2- Existe obstrução na agulha da válvula de expansão	Limpar válvula e aquecer para fundir o gelo
3- Válvula de expansão desajustada	Ajustar a válvula de expansão

Fonte: J.Alarcon creus, "Tratado práctico de refrigeración automática", 8ª Edition

18. Análise de Viabilidade Económica

Neste capítulo efectua-se uma comparação entre os custos do consumo eléctrico da estação fruteira em regime de atmosfera funcionando unicamente com circuito primário, com o funcionamento do circuito secundário durante o período de Novembro a Março, e os custos da estação fruteira convencional com uma estação fruteira em regime de atmosfera controlada. Para o estudo da viabilidade económica consideram-se os custos referentes aos equipamentos das instalações frigoríficas e atmosfera controlada, fornecimento e concepção da estação fruteira e consumos fixos anuais.

Consumo eléctrico

Se a estação fruteira for sustentada unicamente através da instalação principal a potência eléctrica é obtida através dos 3 compressores que alimentam as câmaras de maçãs e outros 3 compressores que alimentam as câmaras de peras: $(3 \times 50,3 \text{ kW} + 3 \times 68,9 \text{ kW}) \times 18 \text{ h} = 6.437 \text{ kWh}$

As câmaras 1 de maçãs e peras são alimentadas pela instalação principal enquanto as câmaras 2 e 3 são alimentadas pela instalação secundária. Assim a potência eléctrica obtida é: $(50,3 \text{ kW} + 68,9 \text{ kW} + 32,6 \text{ kW} + 38,6 \text{ kW}) \times 18 \text{ h} = 3.427,20 \text{ kWh}$

O seguinte quadro apresenta a distribuição diária do consumo pelos diferentes tipos de horas.

Tabela 45 – Custo por hora do consumo eléctrico da instalação principal e da instalação secundária

Tipo de horas	Instalação principal				Instalação Secundária			
	Percentagem por horas	Consumo diário (kWh)	Valores por hora	Valor por tipo de hora	Percentagem por horas	Consumo diário (kWh)	Valores por hora	Valor por tipo de hora
Activa super vazio	12,5%	804,6	0,0485 €	39,02 €	12,5%	428,40	0,0485 €	20,78 €
Activa vazio normal	23%	1480,464	0,0521 €	77,1322 €	23%	788,26	0,0521 €	41,07 €
Activa ponta	8%	514,944	0,1072 €	55,2020 €	8%	274,18	0,1072 €	29,39 €
Activa Cheias	56,5%	3636,792	0,0814 €	296,0349 €	57%	1936,37	0,0814 €	157,62 €
Total	100%	6436,8		467,39 €	100%	3427,20		248,86 €

Fonte: Tese de Mestrado de Maria Gabriela

Percebe-se que é durante as horas normal de trabalho que existe maior consumo. Isto era de esperar devido às cargas térmicas de entrada do produto.

A estação fruteira funciona durante o mês de Setembro até Junho. Será efectuado o cálculo do consumo para o período de funcionamento da instalação.

Tabela 46 - Custo total do consumo eléctrico

Mês	Percentagem de consumo	Dias	Consumo
Setembro - Outubro	100%	61	28.510,92 €
Novembro -Março	50%	150	35.054,41 €
Abril -Junho	25%	91	10.633,17 €
Instalação principal			81.618,35 €
Setembro - Outubro	100%	61	28.510,92 €
Novembro -Março	50%	150	18.664,32 €
Abril -Junho	25%	25	10.633,17 €
Instalação principal+ Instalação secundária			63.589,25 €

Estima-se que é durante os meses de Setembro e Outubro que os compressores funcionam a 100%. No entanto nos meses que se seguem não é necessário um funcionamento de 100% dos compressores, visto que é durante os primeiros meses que é necessário eliminar as cargas térmicas mais influenciáveis, nomeadamente devido à entrada do produto. Por esta razão, durante o período de Novembro a Março utiliza-se a instalação secundária.

Se a estação fruteira funcionar unicamente com a instalação principal verifica-se que o consumo eléctrico é de 81.618,35,20 €. No entanto, se durante o período de Inverno funcionar a instalação secundária, a estação fruteira tem um consumo de 63.589,25 €. Acrescenta-se mais 10 % devido ao consumo dos equipamentos da atmosfera controlada. Deste modo temos uma poupança de 18.029,10 €.

Comparação de uma Estação fruteira convencional com uma estação fruteira em regime de atmosfera controlada.

De seguida irá ser analisado o custo de uma estação fruteira convencional com uma estação fruteira em regime de atmosfera controlada.

Investimento

Através da tabela seguinte verifica-se o Investimento inicial na estação fruteira convencional e em regime de atmosfera controlada.

Tabela 47 – Investimento de estação fruteira convencional e em regime de atmosfera controlada

		Área	Custo por m2	Custo
Painéis sadwich	Paredes + tectos	5146	25 €	128.650 €
	Pavimentos	2736	15 €	41.040 €
	Área de tratamento	1000,8	15 €	15.012 €
construção civil	betão armado	4451	150 €	667.650 €

		Volume	Custo por m3	Custo
convencional	Equipamentos de frio	14976	15 €	224.640 €
TOTAL				1.076.992 €

		Volume	Custo por m3	Custo
Instalação frigorífica em Regime de Atmosfera controlada	Equipamentos de frio	14976	15	224.640 €
	Equipamentos Atmosfera controlada			150.000 €
TOTAL				1.226.992 €

Estes valores foram obtidos a partir de propostas concretas de empresas instaladoras de frio (Instalfrio; Arcofil) empresas utilizadoras (Ibertejo e Gelalentejo) e empresa de Construção civil (Linha civil).

Constata-se que o investimento na estação fruteira convencional é mais económica que a estação fruteira em regime de atmosfera controlada. No entanto irá ser averiguada qual das duas estações fruteiras terá maior lucro.

Encargos bancários

Estimou-se que o juro bancário é de 6 %, o que implica que todos os meses terá que se abater à prestação bancária um valor de:

- Atmosfera Normal: 323,098 €
- Atmosfera Controlada: 368,00 €

Anualmente o custo da prestação da estação fruteira convencional e da estação fruteira em regime de atmosfera controlada terá um valor de 64.620€ e 73.620€ respectivamente.

Verifica-se que o investimento das centrais fruteiras será pago num prazo de 17 anos. Fazendo uma comparação com a vida útil das centrais que são aproximadamente 25 anos, verifica-se que o investimento é viável.

Custos de consumo eléctrico

Através da seguinte tabela apresenta-se o consumo eléctrico da estação fruteira convencional e em regime de atmosfera controlada.

Tabela 48 – Custo total do consumo eléctrico

Mês	Percentagem de consumo	Dias	Consumo
Setembro - Outubro	100%	61	28.510,92 €
Novembro -Março	50%	150	35.054,41 €
Abril -Junho	25%	91	10.633,17 €
Atmosfera Normal			63.565,33 €
Atmosfera Controlada			81.618,35 €

A atmosfera normal funciona durante o período de Setembro a Março o que contabiliza anualmente um consumo de electricidade de 63.565,33 €. A atmosfera controlada prolonga-se até ao mês de Junho o que contabiliza um consumo eléctrico de 81.618,35€. Este valor já contabiliza os 10 % devido ao consumo dos equipamentos da atmosfera controlada.

Custos dos trabalhadores

Tabela 49 – Custos dos trabalhadores

	Atmosfera Convencional				Atmosfera Controlada			
	Quantidade	Vencimento	Meses	Total	Quantidade	Vencimento	Meses	Total
Administrador	2	1000	14	28000	2	1000	14	28000
Mecânico de frio	1	1000	14	14000	1	1000	14	14000
Gerente	1	1500	14	21000	1	1500	14	21000
Pessoal para a área	10	500	6	30000	10+4	500	6+2	34000
Total				93.000,00 €				97.000,00 €

Estimou-se que para as duas estações fruteiras são necessários 2 administradores, 1 mecânico de frio, e 1 gerente.

No entanto para a estação fruteira convencional são necessárias 10 pessoas para área de tratamento da fruta. Para a estação fruteira em regime de atmosfera controlada contabilizou-se mais 4 pessoas para os restantes dois meses.

Custos fixos anuais

Os custos fixos são os que permanecem constantes, independentemente da quantidade produzida.

Todos os custos acima apresentados fazem parte dos custos fixos. No entanto os encargos bancários poderão ser variáveis.

Tabela 50 – Custos fixos anuais

Encargos fixos anuais		
	Atmosfera Convencional	Atmosfera Controlada
Electricidade	63.565 €	81.618 €
Custos pessoal	93.000 €	97.000 €
Encargos bancários	3.876 €	4.416 €
consumo de água , combustíveis e escritório	10.000 €	10.000 €
Seguros pessoal	5.500 €	5.500 €
TOTAL	175.941 €	198.534 €

Verifica-se que a estação fruteira em regime atmosfera controlada tem um custo anual superior ao da atmosfera normal. No entanto irá ser avaliado qual a estação fruteira com maior rendimento lucrativo.

Receitas

Calcula-se a receita. Para isso, multiplicamos o preço de venda de uma unidade do nosso produto pela quantidade anual que planejamos produzir.

Tabela 51 – Receitas

Receita			
Estação fruteira:	Quantidade (kg)	Preço unitário	Total
Atmosfera Normal	2.400.000	0,50 €	1.200.000,00 €
Atmosfera Controlada	2.400.000	0,75 €	1.800.000,00 €

Lucro Anual

De seguida calcula-se o lucro que a estação fruteira terá ao final do ano:

Tabela 52 – Lucro anual

	Atmosfera Convencional	Atmosfera Controlada
Receita	1.200.000,00 €	1.800.000,00 €
Despesas Produtor	996.000,00 €	996.000,00 €
Despesas fixas estação fruteira	175.941,33 €	198.534,35 €
lucro	28.058,669 €	605.465,65 €

Embora a estação fruteira em regime de atmosfera controlada tenha um investimento inicial superior ao da atmosfera convencional, será rentável o investimento na estação fruteira em regime de atmosfera controlada.

Lucro com 50 % de subsídio

No entanto verificou-se que o ministério da Agricultura paga 50% em subsídios aos produtores.

Tabela 53 – Lucro anual com 50% de subsídio

	Atmosfera Convencional	Atmosfera Controlada
Receita	1.200.000,00 €	1.800.000,00 €
Despesas Produtor	996.000,00 €	996.000,00 €
Despesas fixas da central fruteira	174.757,81 €	197.185,83 €
lucro	29.242,189 €	606.814,17 €

A estação fruteira convencional e em regime de atmosfera controlada, com a ajuda do subsídio, conseguem ter um lucro anual de 29.242,189 € e de 606.814,17€, respectivamente. O produto é vendido a um preço superior quando refrigerado em regime de atmosfera controlada devido ao seu armazenamento prolongado. A comercialização da maçã e pêra em Portugal no mês de Maio e Junho seria impossível se a fruta não fosse armazenada em regime de atmosfera controlada.

No entanto terá que se analisar os mercados internacionais.

A comercialização da fruta devia dar-se através de contrato pré fixados, projectando preços futuros para garantir a estabilidade do mercado e evitar oscilações de preço.

Sendo assim, deveria ser firmados contratos de compra e venda com os compradores de mercado interno. No entanto devido ao aumento de importações surgiu o conflito dos produtores de fruta, e os seus lucros acabariam por ser prejuízos.

Infelizmente hoje em dia, a importação é o meio mais utilizado pelos compradores de fruta, devido á mão-de-obra barata dos países do terceiro mundo (África do Sul e América do Sul) e diminuição dos custos de transporte originando baixos preços nos produtos frutícolas importados.

Assim, não será economicamente viável sem fortes subsídios governamentais implementar novas estações fruteiras com ou sem atmosfera controlada em Portugal.

19. Lista de Desenhos

No anexo I – Lista de Desenhos, encontra-se os seguintes desenhos:

Tabela 54 – Lista de desenhos

Nº Desenho	Descrição
1	Planta da Unidade Industrial
2	Dimensionamento das Câmaras Frigoríficas
3	Dimensionamento do Túnel Pré-Arrefecimento
4	Esquema de princípio das câmaras de maçãs
5	Esquema de princípio das câmaras de peras
6	Esquema de princípio do túnel pré-arrefecimento
7	Esquema princípio do circuito secundário - Excesso de fruta
8	Esquema de princípio do sistema da atmosfera controlada.
9	Dimensionamento das tubagens das câmaras de maçãs 1, 2 e 3

20. Referências

- [1] Collin, Daniel, “Applications Frigorifiques”, Tomo 1 e 2, Edition PYC, Paris, 1975;
- [2] ASHRAE, Handbook: Refrigeration, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2006.
- [3] Roy J. Dossat / Thomas J. Horan, “Principles of Refrigeration, Prentice Hall, 5ª Edition,
- [4] J. Alarcon creus, “Tratado prático de refrigeração automática”, 8ª Edition,
- [5] Holman, J.P., “Transferência de Calor”, Editora McGraw-Hill, 1983;
- [6] Santos, Gonçalves, Sebenta da Unidade Curricular de Instalações Frigoríficas;
- [7] Guerra, Matos, Apontamentos da Unidade Curricular de Refrigeração;
- [8] Carvalho, J. M. C. & Rousseau, J. A. 2000. Produtos hortofrutícolas frescos ou minimamente processados - Logística. Sociedade Portuguesa de Inovação, Porto.
- [9] LNEC, Sebenta, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- [10] Monteiro, Vítor, “Novas Técnicas de Refrigeração Comercial em Hotelaria”, Volume I, 2ª Edição
- [11] <http://www.ambientegegado.com.br/v21/> (Consultado em 22/02/2010);
- [12] http://www.eletrodomesticosforum.com/cursos/refrigeracao_ar/Apostila_Refrigeracao_1.pdf(Consultado em 16/11/2009);
- [13] http://www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual_II.pdf (Consultado em 16/11/2009);
- [14] <http://www.esb.ucp.pt/spiral/>(Consultado em 21/03/2010);
- [15] http://www.upis.br/pesquisas/.../projeto.../Antonio_Felippe_boletim.pdf/(Consultado em 7/02/2010);
- [16] <http://www.dgv.min-agricultura.pt/> (Consultado em 19/01/2010);
- [17] <http://www.ctaa.embrapa.br/> (Consultado em 29/03/2010);
- [18] <http://www.iac.sp.gov.br/> (Consultado em 19/03/2010);
- [19] <http://www.esac.pt/noronha/cq/pdf/HACCP%20agro44%202005.pdf/> (Consultado em 4/04/2010);
- [20] <http://www.grupocultivar.com.br/> (Consultado em 18/04/2010);
- [21] <http://www.isolamentotermicopt.com> (Consultado em 25/02/2010);
- [22] <http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/.../Impermeabilizacoes.pdf> (Consultado em 27/01/2010);
- [23] <http://www.dupont.com/Refrigeration..> (Consultado em 26/04/2010);

- [24] <http://www.absoger-france.fr> (Consultado em 25/04/2010);
- [25] <http://www.centauro.pt/> (Consultado em 25/04/2010);
- [26] <http://www.bitzer.de/eng/Intro>; (Consultado em 5/05/2010);
- [27] <http://www.danfoss.com/> (Consultado em 12/05/2010);
- [28] http://www.dupont.com/Refrigerants/en_US/ (Consultado em 05/05/2010);
- [29] http://www.linde.com/international/web/lg/pt/like35lgpt.nsf/docbyalias/news_refrig
(Consultado em 15/05/2010);

ANEXOS

ANEXO I

Lista de Desenhos

Desenho nº1

Planta da Unidade Industrial

Desenho nº2

Dimensionamento das Câmaras Frigoríficas

Desenho nº3

Dimensionamento do Túnel Pré-Arrefecimento

Desenho nº4

Esquema de princípio das câmaras de maçãs

1,2 e 3

Desenho nº5

Esquema de princípio das câmaras de peras

1,2 e 3

Desenho nº6

**Esquema de princípio do túnel
pré-arrefecimento**

Desenho nº7

**Esquema de princípio do circuito secundário –
Excesso de fruta**

Desenho nº8

Esquema de princípio do sistema de atmosfera controlado

Desenho nº9

Tubagens das câmaras de maçãs

ANEXO II

Dimensionamento das tubagens e perdas de carga

Dimensionamento das tubagens e perdas de carga das câmaras maçãs 1,2 e 3

Espaço Frigorífico	Linha	Potência Evaporador (kW)	Velocidade (m/s)	Diâmetro Tubagem (m)	Perda Carga (kPa/m)	Dimensão Tubagem (m)	Perda Carga (kPa)
Câmara Maçãs 1	Saída 1º Evaporador	25	10	2-1/8"	0,05	11,3	0,565
	Saída 2º Evaporador	25	10	2-1/8"	0,05	11,3	0,565
	Linha Aspiração	50	10	2-5/8"	0,1	14	1,4
	Linha Descarga	50	6	2-1/8"	0,07	2,8	0,196
	Linha Líquido	50	0,5	1-1/8"	0,07	22	1,54
	Entrada 1º Evaporador	25	0,5	7/8"	0,09	16,3	1,467
	Entrada 2º Evaporador	25	0,5	7/8"	0,09	16,3	1,467
Câmara Maçãs 2	Saída 1º Evaporador	25	10	2-1/8"	0,05	11,3	0,565
	Saída 2º Evaporador	25	10	2-1/8"	0,05	11,3	0,565
	Linha Aspiração	50	10	2-5/8"	0,1	14	1,4
	Linha Descarga	50	6	2-1/8"	0,07	2,8	0,196
	Linha Líquido	50	0,5	1-1/8"	0,07	37	2,59
	Entrada 1º Evaporador	25	0,5	7/8"	0,09	16,3	1,467
	Entrada 2º Evaporador	25	0,5	7/8"	0,09	16,3	1,467
Câmara Maçãs 3	Saída 1º Evaporador	25	10	2-1/8"	0,05	11,3	0,565
	Saída 2º Evaporador	25	10	2-1/8"	0,05	11,3	0,565
	Linha Aspiração	50	10	2-5/8"	0,1	14	1,4
	Linha Descarga	50	6	2-1/8"	0,07	2,8	0,196
	Linha Líquido	50	0,5	1-1/8"	0,07	31	2,17
	Entrada 1º Evaporador	25	0,5	7/8"	0,09	16,3	1,467
	Entrada 2º Evaporador	25	0,5	7/8"	0,09	16,3	1,467
Câmara Maçãs 1,2, e 3	Colector entre os 3 compressores	150	10	4-1/8"	0,12	31,5	3,78
	Linha descarga comum os 3 espaços	150	6	3-1/8"	0,15	41	6,15
	Linha Dreno	150	0,5	2-1/8"	0,05	5,8	0,29
	Linha Líquido dos 3 espaços	150	0,5	2-1/8"	0,05	2	0,1

Dimensionamento das tubagens e perdas de carga das câmaras peras 1,2 e 3

Espaço Frigorífico	Linha	Potência Evaporador (kW)	Velocidade (m/s)	Diâmetro Tubagem (m)	Perda Carga (kPa/m)
Câmara Peras 1	Saída 1º Evaporador	32	10	2-1/8"	0,12
	Saída 2º Evaporador	32	10	2-1/8"	0,12
	Linha Aspiração	64	10	3-1/8"	0,07
	Linha Descarga	64	6	2-1/8"	0,15
	Linha Líquido	64	0,5	1-5/8"	0,025
	Entrada 1º Evaporador	32	0,5	1-1/8"	0,04
	Entrada 2º Evaporador	32	0,5	1-1/8"	0,04
Câmara Peras 2	Saída 1º Evaporador	32	10	2-1/8"	0,12
	Saída 2º Evaporador	32	10	2-1/8"	0,12
	Linha Aspiração	64	10	3-1/8"	0,07
	Linha Descarga	64	6	2-1/8"	0,15
	Linha Líquido	64	0,5	1-5/8"	0,025
	Entrada 1º Evaporador	32	0,5	1-1/8"	0,04
	Entrada 2º Evaporador	32	0,5	1-1/8"	0,04
Câmara Peras 3	Saída 1º Evaporador	32	10	2-1/8"	0,12
	Saída 2º Evaporador	32	10	2-1/8"	0,12
	Linha Aspiração	64	10	3-1/8"	0,07
	Linha Descarga	64	6	2-1/8"	0,15
	Linha Líquido	64	0,5	1-5/8"	0,025
	Entrada 1º Evaporador	32	0,5	1-1/8"	0,04
	Entrada 2º Evaporador	32	0,5	1-1/8"	0,04
Câmara Peras 1,2, e 3	Colector entre os 3 compressores	192	10	5-1/8"	0,035
	Linha descarga comum os 3 espaços	192	6	3-1/8"	0,15
	Linha Dreno	192	0,5	2-1/8"	0,05
	Linha Líquido dos 3 espaços	192	0,5	2-1/8"	0,05

Dimensionamento das tubagens e perdas de carga do túnel pré-arrefecimento

Espaço Frigorífico	Linha	Potência Evaporador (kW)	Velocidade (m/s)	Diâmetro Tubagem (m)	Perda Carga (kPa/m)
Túnel Pré-Arrefecimento	Saída 1º Evaporador	157	10	4-1/8"	0,12
	Saída 2º Evaporador	157	10	4-1/8"	0,12
	Linha Aspiração	314	10	6-1/8"	0,05
	Linha Descarga	314	6	4-1/8"	0,12
	Linha Dreno	314	0,5	3-1/8"	0,02
	Linha Líquido	314	0,5	3-1/8"	0,02
	Entrada 1º Evaporador	157	0,5	2-1/8"	0,05
	Entrada 2º Evaporador	157	0,5	2-1/8"	0,05

Dimensionamento das tubagens e perdas de carga do sistema secundário de maçãs

Espaço Frigorífico	Linha	Potência Evaporador (kW)	Velocidade (m/s)	Diâmetro Tubagem (m)	Perda Carga (kPa/m)
Câmaras Maçãs 2 e 3 - Cir. Secundário	Saída 1º Evaporador	16	10	1-5/8"	0,14
	Saída 2º Evaporador	16	10	1-5/8"	0,14
	Linha Aspiração	32	10	2-1/8"	0,13
	Linha Descarga	32	6	1-5/8"	0,07
	Linha Dreno	32	0,5	1-1/8"	0,07
	Linha Líquido	32	0,5	1-1/8"	0,07
	Entrada 1º Evaporador	16	0,5	7/8"	0,09
	Entrada 2º Evaporador	16	0,5	7/8"	0,09

Dimensionamento das tubagens e perdas de carga do sistema secundário de peras

Espaço Frigorífico	Linha	Potência Evaporador (kW)	Velocidade (m/s)	Diâmetro Tubagem (m)	Perda Carga (kPa/m)
Câmaras Peras 2 e 3 - Cir. Secundário	Saída 1º Evaporador	19	10	1-5/8"	0,14
	Saída 2º Evaporador	19	10	1-5/8"	0,14
	Linha Aspiração	38	10	2-1/8"	0,13
	Linha Descarga	38	6	1-5/8"	0,07
	Linha Dreno	38	0,5	1-1/8"	0,07
	Linha Líquido	38	0,5	1-1/8"	0,07
	Entrada 1º Evaporador	19	0,5	7/8"	0,09
	Entrada 2º Evaporador	19	0,5	7/8"	0,09

ANEXO III

Equipamentos utilizados nas instalações frigoríficas

Equipamentos dos ciclos de expansão directa

Evaporadores

- Câmaras Frigoríficas: Centauro, MT/E



- Túnel Pré-Arrefecimento BSUT



Compressores: Bitzer, Semi-Herméticos e Parafuso Compactos (Túnel Pré-Arrefecimento)



Semi-Hermético



Parafuso Compacto

Condensadores: Centauro, ACI



Depósitos de Líquido: Bitzer



Válvulas

- Válvulas de expansão termostáticas: Danfoss, TEN



- Válvulas solenóides: Danfoss, EVR



- Válvulas de retenção: Danfoss, EVR



- Válvulas de corte: Danfoss, SVA-ST



Pressostato: Danfoss



Separadores de Óleo: Emerson Climate Technologies, OSH



Visores de Líquido: Emerson Climate Technologies, AMI



Filtros: Emerson Climate Technologies, AMI



Equipamentos de Atmosfera controlada

Absorvedor CO2 através de carvão activado: Absoger



Queimador de Oxigénio através de PSA: Absoger



Analizador de gases: Absoger

