



ESCOLA SUPERIOR NÁUTICA INFANTE D. HENRIQUE

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MARÍTIMA

Mestrado em Engenharia de Máquinas Marítimas

**Dimensionamento de câmaras frigoríficas para
conservação de atum em Moçambique**

Dionísio Simão Nhamirre
(Licenciado em Engenharia de Máquinas Marítimas)

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia de Máquinas Marítimas

Orientador: Prof. Adjunto Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira
Co-orientador: Eng.º Jorge Miguel de Sousa Santarém

Júri:

Presidente: Prof. Adjunto Luís Manuel Fernandes Mendonça
Vogal: Prof. Coordenador António Manuel Matos Guerra
Vogal: Prof. Adjunto Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira

Janeiro de 2018



ESCOLA SUPERIOR NÁUTICA INFANTE D. HENRIQUE

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MARÍTIMA

Mestrado em Engenharia de Máquinas Marítimas

**Dimensionamento de câmaras frigoríficas para
conservação de atum em Moçambique**

Dionísio Simão Nhamirre
(Licenciado em Engenharia de Máquinas Marítimas)

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia de Máquinas Marítimas

Orientador: Prof. Adjunto Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira
Co-orientador: Eng.º Jorge Miguel de Sousa Santarém

Júri:

Presidente: Prof. Adjunto Luís Manuel Fernandes Mendonça
Vogal: Prof. Coordenador António Manuel Matos Guerra
Vogal: Prof. Adjunto Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira

Janeiro de 2018

RESUMO

A presente tese visa dimensionar câmaras frigoríficas para conservação de atum congelado em Moçambique, tendo como caso de estudo o potencial de produção de uma frota pesqueira atuneira de 22 embarcações. O dimensionamento das câmaras frigoríficas é função da quantidade e dimensões das diversas espécies de atum a serem fornecidas pela frota e das cargas térmicas previstas. Importa referir que o dimensionamento consiste em duas partes, uma a nível das dimensões e quantidade das câmaras frigoríficas e outra a nível dos equipamentos da instalação frigorífica.

As dimensões das câmaras frigoríficas foram estimadas através do método de cálculo volumétrico, mediante a definição da superfície necessária para o armazenamento e estiva do atum, tal como a definição dos espaços recomendados para a circulação de ar, pessoas e implantação do equipamento frigorífico. Posteriormente fez-se a caracterização do isolamento térmico e descrição dos detalhes construtivos das câmaras frigoríficas e do edifício envolvente. Salienta-se que além das câmaras frigoríficas o edifício inclui cais de recepção e expedição, áreas para carregamento de baterias, sala de máquinas e escritórios.

Na vertente dos equipamentos da instalação frigorífica, determinou-se as cargas térmicas das distintas fontes de calor e a potência frigorífica da instalação com base em métodos analíticos e posteriormente com recurso ao programa informático da Centauro. Procedeu-se a selecção dos equipamentos frigoríficos com recurso a catálogos e programas informáticos dos fabricantes dos equipamentos, considerando que a instalação frigorífica se assenta num sistema centralizado de compressão simples à expansão directa dotado de compressores abertos funcionando com R404A. Associado ao dimensionamento dos equipamentos, definiram-se também os sistemas de controlo da central e da temperatura das câmaras.

Palavras-chave: Câmaras Frigoríficas, Dimensionamento, Execução, Selecção de Componentes, Conservação de Atum.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design cold storage chambers for the conservation of frozen tuna in Mozambique, considering the potential production of a 22-vessel tuna fishing fleet. The dimensioning of the chambers is a function of the quantity, mass and size of the various types of tuna to be supplied by the fleet and the expected thermal loads. The dimensioning consists of two parts, one in terms of the dimensions and quantity of the chambers and another in the refrigerating equipment.

The dimensions of the chambers are estimated by the volumetric calculation method by defining the surface required for the storage and stowage of the product, such as the definition of recommended spaces for air circulation, people and the installation of refrigeration equipment. Subsequently it is done the characterization of the thermal insulation and description of the constructive details of the chambers and the surrounding building. It should be noted that in addition to the cameras the installation includes reception and dispatch areas of the products, battery charging, engine room and offices.

The refrigeration equipment, the thermal load and the cooling capacity are determined based on analytical methods and subsequently using the Centauro software. Refrigeration equipment is selected using catalogs and computer software from several manufacturers, considering that the refrigeration plant is based on a centralized system of simple compression to direct expansion with open compressors running on R404A. Associated with the dimensioning is made a reference to the control unit of the engine room and temperature of the chambers.

Keywords: Cold rooms, Sizing, Execution, Component selection, Tuna conservation

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos são dirigidos em primeiro lugar a Deus pela saúde e força para superar as dificuldades.

Em especial ao supervisor e co-supervisor, nomeadamente Prof. Manuel Nogueira e Eng.º Jorge Santarém pelo empenho e dedicação na elaboração deste trabalho.

À ENIDH, seu corpo docente, direcção e administração que apesar de todas as dificuldades, possibilitaram a conclusão do curso.

À família, parentes e amigos, pelo suporte, incentivo e apoio incondicional proporcionado.

A todos que directa ou indirectamente fizeram parte da minha formação.

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Nota introdutória.....	1
1.2. Enquadramento e motivação	1
1.3. Objectivos.....	2
1.3.1. Objectivo geral	2
1.3.2. Objectivos específicos	2
1.4. Metodologia e organização da tese.....	3
1.5. Estado da arte	4
1.5.1. Construção de câmaras frigoríficas	4
1.5.2. Construção de câmaras frigoríficas com painéis pré-fabricados	7
1.5.2.1. Paredes e tecto	7
1.5.2.2. Pavimento e vazio sanitário.....	8
1.5.3. Rodapés e Portas isotérmicas	10
1.5.4. Fluidos frigorigéneos	11
2. CONCEPÇÃO DE CÂMARAS FRIGORÍFICAS	13
2.1. Temperaturas de projecto	15
2.1.1. Temperatura de projecto de entrada de atum na câmara frigorífica	15
2.1.2. Temperatura de projecto da câmara frigorífica.	15

2.1.3. Temperatura de projecto do meio ambiente.....	15
2.1.4. Temperatura de projecto da envolvente da câmara frigorífica.....	17
2.1.5. Temperatura de projecto do cais e antecâmara	17
2.2. Produção e caracterização do Atum.....	17
2.2.1. Espécies de atum capturadas em Moçambique	18
2.2.2. Dimensões e quantidade de atum	19
2.2.3. Calor específico e calor latente do atum	21
2.2.4. Previsão da quantidade total do atum a armazenar nas câmaras frigoríficas	21
2.2.4.1. Calendário de captura e frequência de entrada de atum nas câmaras frigoríficas	22
2.2.4.2. Calendário e frequência de expedição	23
2.2.4.3. Quantidade total de atum a armazenar	24
2.3. Forma e tamanho da câmara frigorífica	24
2.4. Plano de armazenamento e estiva	25
3. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS	27
3.1 Espessura do isolamento das câmaras frigoríficas	27
3.1.1. Metodologia para o cálculo da espessura do isolamento	27
3.1.2. Cálculo da espessura do isolamento	28
3.2. Dimensões das câmaras frigoríficas	30
3.2.1. Quantidade de atum em cada palete	30
3.2.1.1. Metodologia para determinação da quantidade de atum em cada palete	30
3.2.1.2. Cálculo da quantidade de atum em cada palete	31
3.2.2. Metodologia para determinação das dimensões das câmaras frigoríficas	32
3.2.3. Cálculo das dimensões da câmara frigorífica.....	35
3.2.4. Layout da câmara frigorífica	36
3.3. Características construtivas e execução das câmaras frigoríficas	38
3.3.1. Tecto e paredes.....	38

3.3.2. Pavimento e vazio sanitário.....	39
3.3.3. Rodapés.....	43
3.3.4. Portas isotérmicas.....	43
3.3.4.1. Portas isotérmicas das câmaras frigoríficas.....	43
3.3.4.2. Portas isotérmicas do cais de recepção e expedição.....	44
3.3.4.3. Porta de separação do espaço entre o cais e a antecâmara.....	45
4. DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO FRIGORÍFICO.....	47
4.1. Metodologia de cálculo das cargas térmicas.....	47
4.1.1. Carga térmica de transmissão de calor através da envolvente.....	48
4.1.2. Carga térmica do produto.....	49
4.1.3. Cargas térmicas internas.....	49
4.1.3.1. Equipamento eléctrico.....	49
4.1.3.2. Empilhadores.....	50
4.1.3.3. Pessoas.....	51
4.1.4. Carga térmica devido à entrada de ar no espaço refrigerado.....	51
4.1.5. Carga térmica dos componentes dos evaporadores.....	54
4.2. Carga térmica provisória das câmaras frigoríficas.....	55
4.3. Selecção dos componentes da instalação frigorífica e determinação da carga térmica definitiva das câmaras frigoríficas.....	58
4.3.1. Selecção dos evaporadores, cálculo da carga térmica e potência frigorífica definitiva.....	58
4.3.1.1. Selecção dos evaporadores.....	58
4.3.1.2. Cálculo da carga térmica e potência frigorífica definitiva.....	59
4.3.2. Parâmetros operacionais do sistema de refrigeração e selecção do compressor... ..	62
4.3.2.1. Temperatura de condensação.....	63
4.3.2.2. Temperatura de evaporação.....	63
4.3.2.3. Selecção do compressor.....	64
4.3.3. Selecção do condensador.....	65

4.3.4. Selecção da válvula de expansão.....	67
4.3.5. Dimensionamento e selecção dos depósitos de líquido.	67
4.3.6. Resumo dos componentes previstos e esquema da instalação frigorífica.....	68
5. CONTROLO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	71
5.1. Controlo do condensador	71
5.2. Controlo do Compressor	71
5.3. Selecção do controlador da central.	71
5.4. Controlo da Temperatura das câmaras frigoríficas.....	73
5.5. Resumo dos controladores da instalação frigorífica previstos	74
6. CONCLUSÃO	75
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Impacto ambiental de alguns dos fluidos frigorigéneos (Trott, 2000)	12
Tabela 2 - Capturas anuais de atum em toneladas por espécie pelas frotas estrangeira e nacional (IOTC, 2016)	18
Tabela 3 - Capturas anuais de atum em toneladas por espécie pela frota nacional	19
Tabela 4 - Calor específico e calor latente do atum (ASHRAE, 2010)	21
Tabela 5 - Altura do empilhamento do atum nas paletes em função do comprimento e níveis de empilhamento atum.	31
Tabela 6 - Ocupação das paletes em função da quantidade dos distintos comprimentos e níveis de empilhamento do atum.	32
Tabela 7 - Dimensões calculadas de cada câmara frigorífica.....	36
Tabela 8 - Dados calculados da câmara frigorífica.....	36
Tabela 9 - Placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido (FLOORMATE)	40
Tabela 10 - Duração média da abertura de portas (Fonte: Guerra, 2010).....	53
Tabela 11 - Resumo das Cargas térmicas provisórias calculadas de cada câmara frigorífica	55
Tabela 12 - Resumo das cargas térmicas de cada câmara frigorífica com recurso ao software CalCam Quíron.....	55
Tabela 13 - Comparação dos resultados obtidos das cargas térmicas de cada câmara frigorífica obtidos através de cálculos e através do software.	56
Tabela 14 - Características do evaporador seleccionado	59
Tabela 15 – Cálculo das cargas térmicas devido aos ventiladores e às resistências de descongelação dos evaporadores em cada câmara frigorífica.	60
Tabela 16 - Resumo das cargas térmicas e potência frigorífica definitivas calculadas de cada câmara frigorífica.....	60
Tabela 17 - Potência frigorífica de cada câmara frigorífica	61
Tabela 18 - Resumo das cargas térmicas de cada câmara frigorífica com recurso ao software CalCam Quíron.....	61
Tabela 19 - Potência frigorífica de cada câmara frigorífica com recurso ao software CalCam Quíron.....	62
Tabela 20 - Comparação dos resultados obtidos das cargas térmicas da câmara frigorífica através dos cálculos e através do software	62
Tabela 21 - Capacidade frigorífica do compressor do modelo OSN8591-K	64
Tabela 22 – Potência do condensador do modelo EVOD/M-1091/897Y	66

Tabela 23 – Potência do condensador do modelo EVOD/M-1091/897T	67
Tabela 24 - Componentes da instalação frigorífica previstos	68
Tabela 25 - Controladores previstos para a instalação frigorífica	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Construção em sistema estrutural interior (a) e estrutural exterior (b).	4
Figura 2- Entrepasto frigorífico de um andar (ASHRAE, 2010)	6
Figura 3 – Exemplo de cais refrigerado (Stoecker, 2004).....	6
Figura 4 - Fixação de painéis do tecto com tirantes de fixação (Isotermia, 2017)	7
Figura 5 – Ligação de painéis sandwich de cantos e de divisórias das câmaras frigoríficas (Vilain, 2006).....	8
Figura 6 – Junção de painéis sandwich em união do tipo macho-fêmea dos fabricantes Isotermia (a) e Huurre (b).....	8
Figura 7 - Montagem dos painéis verticais sobre o pavimento e execução do pavimento da câmara frigorífica (Vilain, 2006)	9
Figura 8 - Sistemas anti-congelação do pavimento (Stoecker, 2004).....	9
Figura 9 – Diferentes disposições dos tubos de aquecimento do pavimento (Stoecker, 2004).....	10
Figura 10 - Rodapés de polietileno (CF DOORS, 2017)	10
Figura 11 – Diagrama do processo de dimensionamento das câmaras frigoríficas (Monteiro, 2015).....	14
Figura 12 - Forma geométrica do atum (Sharp, 1978).....	20
Figura 13 - Plano de armazenamento conforme estiva com necessidade de acesso a qualquer palete (a) e sem necessidade de acesso selectivo de paletes (b). (Trott, 2000).	26
Figura 14 – Disposição do atum na palete.....	31
Figura 15 – Planta da câmara frigorífica e distribuição das paletes no pavimento	37
Figura 16 - Vista lateral em corte da câmara frigorífica e distribuição das paletes em níveis	37
Figura 17 - Esboço da distribuição das câmaras frigoríficas e da instalação	38
Figura 18 – Estrutura de suporte e protecção dos painéis	39
Figura 19 - Detalhes da execução do pavimento da câmara frigorífica, cais e antecâmara	41
Figura 20 – Sistema anti-congelação do pavimento	42
Figura 21 - Rodapés de polietileno (CF DOORS,2017)	43
Figura 22 - Portas deslizantes automáticas (ISOTERME, 2017)	44
Figura 23 - Portas seccionadas de abertura vertical (CFDoors, 2017).....	44
Figura 24 - Abrigos de cais (Fonte: CFDoors, 2017)	45
Figura 25 - portas de serviço rápido de enrolar (CFDoors, 2017).....	46
Figura 26 - Evaporador Centauro – DDC/E 8T2/80	59

Figura 27 – Compressor Bitzer de parafuso aberto modelo OSN	65
Figura 28 – Condensador Centauro modelo EVOD	66
Figura 29 - Distribuição da potência dos equipamentos da instalação frigorífica.....	68
Figura 30 - Diagrama do ciclo termodinâmico do sistema de refrigeração	69
Figura 31 - Esquema de ligação dos principais componentes do ciclo de refrigeração.....	70
Figura 32 - Colocação das sondas mediante o controlador AKPC780	72
Figura 33 - Limites de controlo mediante o controlador AKCC550	73
Figura 34 - Colocação das sondas mediante o controlador AKCC550.....	74

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

U - Coeficiente global de transferência de calor;

R - Resistência térmica total;

h_{int} - Coeficiente de convecção interior;

L_i - Espessura das distintas camadas das paredes;

k_i - Condutividade de cada camada;

h_{ext} - Coeficiente de convecção exterior;

PUR – Poliuretano;

EPS - Poliestireno Expandido;

ODP - Ozone depletion potential;

GWP - Global warning potential;

C_a - Comprimento do corpo do atum;

L_a - Largura do corpo do atum;

H_a - Profundidade (altura) do corpo do atum;

m_{total} - Quantidade total de atum em massa a ser fornecida pelas embarcações durante o período de renovação;

m_{total_v} - Quantidade total de atum em massa a ser fornecida pelas embarcações por viagem;

f_{carr} - Número de carregamentos durante o período de renovação;

m_{total_t} - Quantidade total de atum em massa a ser armazenada nas câmaras frigoríficas;

h_i - Entalpia do ar interior;

v_i - Volume específico do ar interior;

T_{wi} - Temperatura do bolbo húmido interior;

INAM - Instituto Nacional de Meteorologia;

T_{pr} - Temperatura exterior de projecto;

T_{max} - Temperatura máxima registada no mês mais quente;

T_{max} - Temperatura média do mês mais quente;

h_e - Entalpia do ar exterior;

v_e - Volume específico do ar exterior;

T_{we} - Temperatura do bolbo húmido exterior;

h_{ev} - Entalpia do ar após a envolvente da câmara frigorífica;

v_{ev} - Volume específico do ar após a envolvente da câmara frigorífica;

h_{dc} - Entalpia do ar no cais;

v_{dc} - Volume específico do ar no cais;

\dot{q} - Fluxo de calor para as câmaras frigorífica;

ΔT - Salto térmico;

L - Espessura do isolamento dos painéis;

E_2 - Partes entrelaçadas de atum ao nível das cabeças;

E_1 - Partes entrelaçadas de atum ao nível das caudas;

h - Altura do empilhamento do atum nas paletes;

N_{PA} - Número de paletes a armazenar na câmara frigorífica;

m_{PA} - Quantidade de atum em cada paleta;

$N_{PA,pav}$ - Número de paletes a ser distribuídos na área do pavimento da câmara frigorífica;

N_{niveis} - Número de níveis (camadas) de empilhamento;

$N_{PA,fil}$ - Número de paletes por fiada;

N_{fil} - Número de fiadas na câmara frigorífica;

C_p - Comprimento da paleta;

L_{f1} - Largura das fiadas simples;

S_p - Espaçamento entre paletes;

L_{f2} - Largura das fiadas dupla;

$N_{PA,fil}$ - Número de paletes por fiada;

L_p - Largura da paleta;

S_p - Espaçamento entre paletes;

C_f - Comprimento das fiadas;

S_r - Espaço ocupado pelo rodapé;

N_{f1} - Número de fiadas simples;

N_{f2} - Número de fiadas duplas;

L_c - Largura da câmara frigorífica;

$L_{cor,estiva}$ - Largura dos corredores para estiva;

$N_{corr,estiva}$ - Número de corredores para estiva;

S_{par} - Espaço entre a paleta e a parede;

C_{fL} - Comprimento das fiadas laterais

C_c - Comprimento da câmara frigorífica;

S_r - Espaço ocupado pelo rodapé;

H_c - Altura da câmara frigorífica;

S_{PH} - Espaçamento entre as paletes entre os níveis de empilhamento;

S_{liv} - Espaço entre o topo da camada ao nível mais elevado das paletes e o tecto da câmara frigorífica;

D_c - Densidade de armazenamento do produto na câmara frigorífica;

XPS - Poliestireno extrudido;

\dot{Q}_{int} - Carga térmica intermédia;

P_{int} - Potência frigorífica intermédia;

t_{comp} - Tempo de funcionamento dos compressores;

P_{prev} - Potência frigorífica previsional;

\dot{Q}_{Tras} - Carga térmica devido a transmissão de calor através do isolamento das paredes;

A - Área das paredes, tecto ou pavimento da câmara frigorífica;

\dot{Q}_{prod} - Carga térmica do produto;

m – Quantidade de produto em massa;

C_{esp} - Calor específico do produto abaixo de congelação;

T_{pr} - Temperatura de entrada do produto na câmara frigorífica;

T_c - Temperatura de conservação do produto;

L_l - Calor latente;

\dot{Q}_{LP} - Carga térmica das lâmpadas;

D - Densidade de iluminação da lâmpada;

A_C - Área da câmara frigorífica;

t_{LP} - Tempo de funcionamento das lâmpadas;

\dot{Q}_M - Potência calorífica do motor eléctrico;

t_M - Tempo de permanência do motor eléctrico na câmara frigorífica;

\dot{Q}_{EMP} - Carga térmica dos empilhadores;

P_{EMP} - Potência dos empilhadores;

t_{EMP} - Tempo de permanência dos empilhadores na câmara frigorífica;

T - Temperatura do espaço refrigerado;

n_p - Número de pessoas;

\dot{Q}_{Pes} - Carga térmica devido à presença de pessoas na câmara frigorífica;

t_{Pes} - Tempo de permanência de pessoas na câmara frigorífica;

\dot{Q}_{ar} - Carga térmica devido à entrada de ar na câmara frigorífica;

\dot{m} - Caudal mássico de ar exterior que entra na câmara frigorífica;

Δh - Diferença de entalpias entre o ar exterior e o da câmara frigorífica;

\dot{Q}_{Abrt} - Carga térmica média durante um período de 24 h devido à abertura das portas;

t_{ab} - Tempo de abertura de portas;

L_{PT} - Largura da porta;

H_{PT} - Altura da porta;

C - Coeficiente minorante devido à presença de cortina de ar ou lamelas;

d_{ton} - Duração média da abertura de portas para permitir a passagem de uma tonelada de produto;

f_d - Fluxo diário de produto;

\dot{Q}_{renv} - Carga térmica devido à remoção de ar;

\dot{m} - Caudal mássico de ar exterior que entra na câmara frigorífica;

V - Volume interior da câmara frigorífica

n - Taxa de renovação de ar exterior;

\dot{Q}_{desc} - Carga térmica devido às resistências de descongelação das serpentinas dos evaporadores;

\dot{Q}_{ven} - Carga térmica devido aos ventiladores dos evaporadores;

n_{ev} - Número de evaporadores no interior da frigorífica.

n_{ven} - Número de ventiladores;

t_{desc} - Tempo de descongelação das serpentinas dos evaporadores;

t_{ven} - Tempo de funcionamento dos ventiladores dos evaporadores;

T_k - Temperatura de condensação;

T_e - Temperatura (do ar ou água) à entrada do condensador;

ΔT_K - Salto térmico do condensador;

T_E - Temperatura de evaporação do fluido frigorífero;

T_C - Temperatura do ar à entrada do evaporador;

ΔT_E - Salto térmico do evaporador;

P_{cond} - Potência do condensador;

P_f - Potência frigorífica do compressor;

P_v - Potência consumida pelo compressor;

P_s - Potência necessária para o subarrefecimento após o condensador;

P_{sup} - Potência necessária para sobreaquecer o vapor à saída do evaporador;

S_{C3} - Sonda de temperatura do ar à entrada do condensador;

S_d - Sonda de temperatura de descarga do compressor;

S_s - Sonda de temperatura de aspiração do compressor;

S_3 - Sonda de temperatura do fluxo de ar antes do evaporador;

S_4 - Sonda de temperatura do fluxo de ar após o evaporador;

S_5 - Sonda de temperatura do evaporador;

S_6 - Sonda de temperatura do produto no interior da câmara frigorífica;

1. INTRODUÇÃO

1.1. Nota introdutória

O dimensionamento de câmaras frigoríficas baseia-se em metodologias, que requerem o conhecimento prévio de um conjunto de dados e pressupostos, estudados e analisados profundamente por forma a torná-lo exequível, respeitando as recomendações e considerando os principais avanços alcançados no ramo da indústria frigorífica.

No caso em estudo pretende-se dimensionar câmaras frigoríficas com dimensões suficientes para armazenar e conservar em condições óptimas, grandes quantidades de atum congelado, provenientes de uma frota de pesca de 22 embarcações. Para tal, é necessário prever a capacidade requerida das câmaras frigoríficas e definir os pressupostos técnicos ou de exploração relevantes.

Importa referir que as câmaras frigoríficas são dimensionadas considerando os dados meteorológicos da cidade de Maputo, porém a abrangência do projecto poderá estender-se a outras províncias de Moçambique que possuem características meteorológicas semelhantes.

1.2. Enquadramento e motivação

Actualmente, o frio constitui o meio de preservação que confere mais valor acrescentado ao pescado no seu estado natural, e constitui parte integrante fundamental nas infra-estruturas de apoio a actividade da pesca. Em Moçambique relata-se a problemática da limitação da quantidade do pescado capturado em relação ao seu potencial, ocasionada pela grave escassez de entrepostos frigoríficos para o seu armazenamento e conservação, tal como a perda de qualidade do mesmo pela implementação de outras técnicas de conservação [1].

Salienta-se que Moçambique adquiriu recentemente 22 embarcações de pesca industrial com capacidade unitária de 30 toneladas, destinadas à pesca de atum, sem se acautelar com a criação prévia de condições de conservação específicas para o atum, a escala industrial. Esta frota tem a sua actividade comprometida, por um lado porque não se pode explorar em pleno a frota devido às restrições de espaço para o armazenamento em terra e por outro lado porque o pouco que a frota produz não atinge a qualidade requerida para a exportação para os mercados mais exigentes devido às condições actuais de conservação em terra.

Em Moçambique a congelação e o armazenamento a frio são principalmente utilizados para o pescado destinado à exportação, uma vez que a cadeia de frio necessária para a comercialização de peixe congelado internamente ainda não está suficientemente desenvolvida. Importa referir que à medida que as infra-estruturas de apoio à actividade de pesca se desenvolvem, resultam oportunidades de alavancar a produção de pescado e por conseguinte oportunidades de comercialização para uma gama mais ampla.

No contexto dessa problemática, surge a necessidade de se desenvolver um instrumento de apoio a projectos de dimensionamento de câmaras frigoríficas para responder ao potencial de produção do sector da pesca. No caso vertente o dimensionamento assenta-se no potencial de produção da frota de embarcações recém-adquirida, na qual pretende-se que as câmaras frigoríficas dimensionadas tenham capacidade de armazenar grandes quantidades de atum, com vista à operacionalização e rentabilização da frota, e com condições que permitem preservar o atum durante longos períodos de armazenamento. Refere-se que países em via de desenvolvimento o pescado tende a ter maior preço quando exportado [2].

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo geral

- Dimensionar câmaras frigoríficas para conservação de atum congelado em Moçambique;

1.3.2. Objectivos específicos

- Identificar as principais técnicas e aspectos construtivos de câmaras frigoríficas implementados na actualidade;
- Definir os pressupostos e dados técnicos ou de exploração relevantes para o dimensionamento de câmaras frigoríficas e da respectiva instalação frigorífica;
- Determinar as dimensões das câmaras frigoríficas e do edifício envolvente;
- Seleccionar e avaliar as melhores alternativas para a execução das câmaras frigoríficas e do respectivo edifício envolvente;
- Determinar a carga térmica das câmaras frigoríficas;
- Efectuar a selecção dos principais componentes da instalação frigorífica e do respectivo sistema de controlo;

1.4. Metodologia e organização da tese

A execução da tese tem como base uma série de métodos, técnicas e recomendações bem documentadas em distintas bibliografias, manuais e catálogos da indústria frigorífica. Adicionalmente as fontes mencionadas cita-se a utilização de programas informáticos, implementados para o cálculo das cargas térmicas e selecção dos equipamentos da instalação frigorífica, assim como o apoio prestada pelo orientador e co-orientador na definição de soluções técnicas aplicáveis.

Salienta-se que devido a indisponibilidade de dados relativos ao atum, tais como, dimensões, peso, quantidades e espécies mais capturadas, motivadas pelo facto da actividade de pesca do atum ser nova em Moçambique por parte da frota nacional, recorreu-se a dados previsíveis já documentados por alguns autores e adaptaram-se para Moçambique.

A tese consiste nos temas principais abaixo discriminados, os quais se encontram distribuídos em 7 capítulos e respectivos subcapítulos:

- Estado da arte sobre os aspectos de concepção e construção de câmaras frigoríficas;
- Descrição e caracterização dos factores de concepção das câmaras frigoríficas;
- Dimensionamento das câmaras frigoríficas;
- Execução estrutural das câmaras frigoríficas dimensionadas;
- Determinação da carga térmica e dimensionamento dos principais componentes da instalação frigorífica;
- Selecção e descrição dos principais componentes da instalação frigorífica, tal como do respectivo sistema de controlo;
- Conclusão sobre os principais aspectos e resultados alcançados no dimensionamento das câmaras frigoríficas;

1.5. Estado da arte

1.5.1. Construção de câmaras frigoríficas

Na construção de câmaras frigoríficas é importante a colocação dos elementos isolantes. A construção consiste em sistemas estruturais interiores ou exteriores, conforme os exemplos das figuras 1 (a) e 1 (b) [5, 6]. A estrutura de suporte dos elementos isolantes é em grande parte uma obra de construção civil e rege-se por regras do sector, devendo apresentar uma esquadria perfeita para a colocação, fixação e alinhamento dos painéis [3]. Os painéis de isolamento podem ser protegidos ou não para as intempéries.

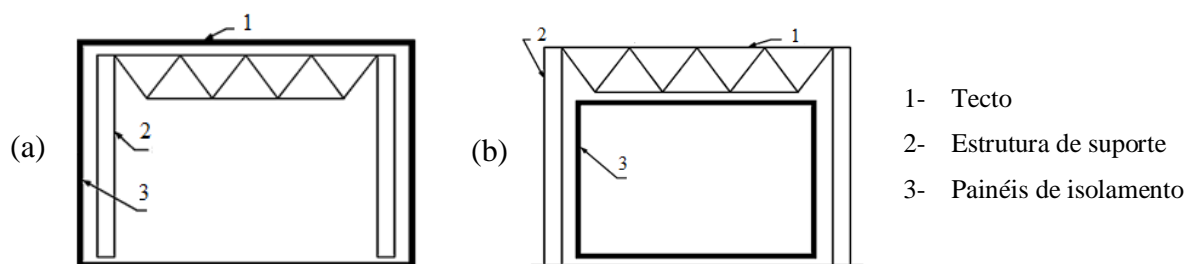


Figura 1 - Construção em sistema estrutural interior (a) e estrutural exterior (b).

(ASHRAE, 2010)

As câmaras e entrepostos frigoríficos modernos são construídos com base em painéis isotérmicos pré-fabricados, que incluem já a barreira ao vapor e o acabamento interno [3, 4]. Os painéis são geralmente isolados com poliuretano ou poliestireno, formatados em forma de sandwich, sendo uma das faces feita em folha de aço galvanizado de baixo calibre (barreira de vapor) e a outra face feita de uma folha em aço galvanizado revestida a plástico ou alumínio [3].

Por razões económicas de investimento, comodidade de manutenção e exploração a maioria das instalações frigoríficas são estruturas de um andar, nas quais geralmente movimentam-se os produtos em sistemas horizontais, constituindo a solução mais simples, mais viável e que apresenta maior flexibilidade para realizar as futuras expansões [3, 5].

Um entreposto frigorífico de um andar pode ter uma disposição relativamente simples, podendo ser constituída por uma ou várias câmaras frigoríficas construídas lado a lado, que devem comunicar facilmente com o cais de carga e descarga, articulando-se a sua disposição

quando necessário, com corredores que facilitem a logística interna de movimentação de produtos e pessoas.

A Figura 2 ilustra um exemplo típico da configuração (lay-out) que cumpre com as práticas actuais em instalações com câmaras frigoríficas, e inclui os seguintes elementos [5]:

- Cais refrigerado para carga e descarga de mercadorias;
- Portas automáticas;
- Cortinas plásticas;
- Espaço para armazenamento refrigerado ou congelado;
- Sistemas porta-paletes;
- Sala de máquinas da instalação frigorífica;
- Espaço para escritórios;
- Espaço para armazenamento e reparação de paletes vazias;
- Espaço para carregamento de baterias;
- Espaço para túnel de congelação;
- Corredores de circulação para empilhadores;

A implantação de cais refrigeradas e cortinas de lamelas são soluções para diminuir o excesso de carga térmica devido a entrada de ar exterior nas câmaras frigoríficas. A entrada de ar exterior promove a migração de humidade para o interior da câmara frigorífica, o qual se condensa e forma gelo na superfície do evaporador ou dos produtos conservados. A instalação de portas de comando automático permite diminuir o tempo de abertura das mesmas e evitar a entrada do ar e humidade.

As instalações podem incluir uma antecâmara na zona de armazenamento de congelados, podendo a sua necessidade ser eliminada pela implementação de um cais refrigerado, pois implica a necessidade espaço adicional para a sua implementação [5]. O cais refrigerado é uma necessidade absoluta em climas húmidos e quentes.

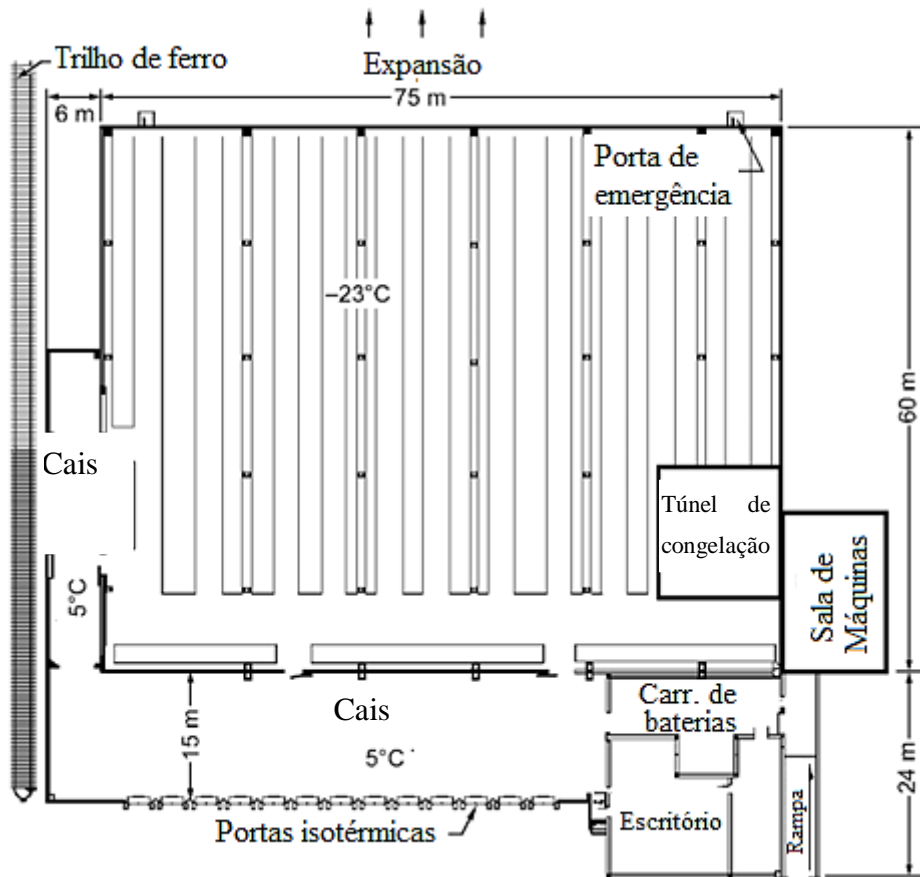


Figura 2- Entrepasto frigorífico de um andar (ASHRAE, 2010)

A Figura 3 mostra a título exemplificativo um cais refrigerado, na qual a mercadoria é descarregada e acumulada a uma temperatura que varia entre 4 a 8 °C, e deste é transferida para as câmaras frigoríficas [6]. Os cais podem ter dimensões superiores a 5 m de largura e admite-se que sejam climatizadas a temperaturas que variam entre 10 °C a 12 °C com uma humidade relativa entre 55 % e 60 %.

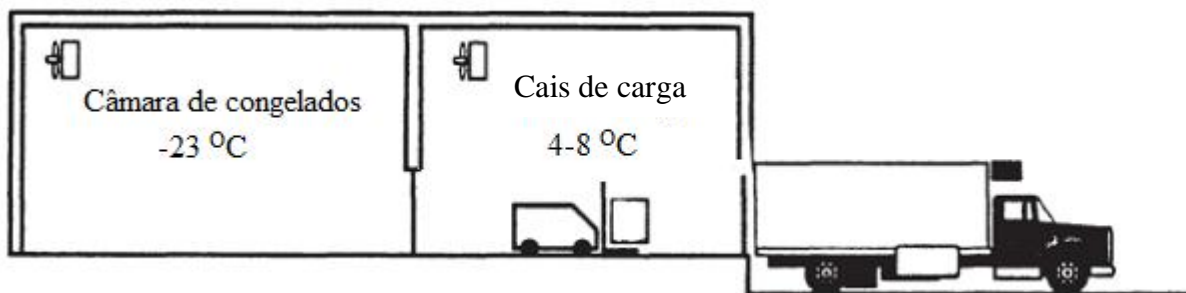


Figura 3 – Exemplo de cais refrigerado (Stoecker, 2004)

1.5.2. Construção de câmaras frigoríficas com painéis pré-fabricados

A concepção actual de câmaras frigoríficas, leva em consideração a utilização de painéis isolantes pré-fabricados do tipo sandwich de dois tipos de materiais construtivos, dos quais distingue-se a espuma Rígida de Poliuretano (PUR) e poliestireno Expandido (EPS) que têm as funções de barreira de vapor, isolamento térmico e cobertura [8]. Entretanto por razões técnicas (maior espessura de isolamento do EPS) e ambientais (emissão de gases prejudiciais à camada de ozono durante a produção do EPS), o poliestireno expandido vem sendo substituído pelo poliuretano [8]. Este facto justifica a utilização de poliuretano como material de isolamento na actualidade.

1.5.2.1. Paredes e tecto

Os painéis das paredes são fixos às colunas ou em estruturas horizontais montadas entre as colunas de betão (aço ou alvenaria), através de sistemas de fixação especiais, sendo as juntas seladas com material isolante, silicone ou mástique. Os painéis do tecto são fixados com tirantes de fixação ou suspensão por cabos a uma armação fixa conforme o exemplo apresentado na Figura 4 [3]. Os painéis de isolamento são normalmente erguidos dentro de um edifício de armação de modo que as juntas dos painéis são protegidas das condições atmosféricas [4].

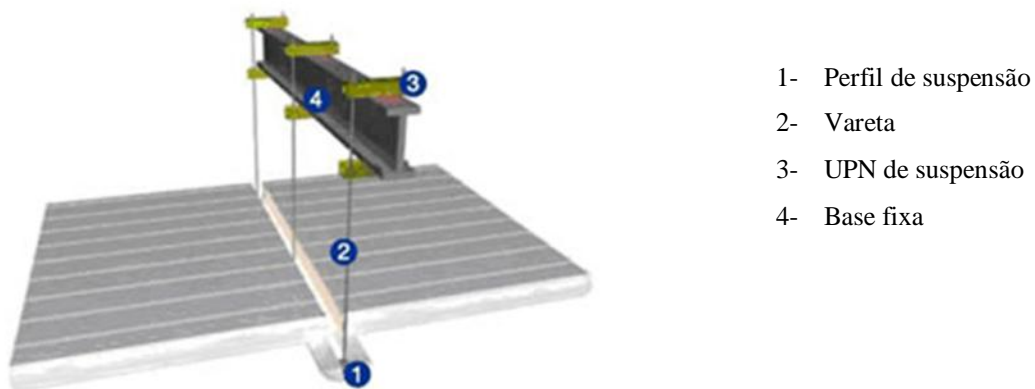


Figura 4 - Fixação de painéis do tecto com tirantes de fixação (Isotermia, 2017)

Os painéis incorporam peças de rebordos de encravamento e outros acessórios. As junções (união macho-fêmea) são especialmente desenvolvidas para estruturação e estanqueidade [4].

As figuras 5 e 6 sintetizam a título exemplificativo as formas de ligação e montagem de painéis propostos pela bibliografia e alguns catálogos consultados.

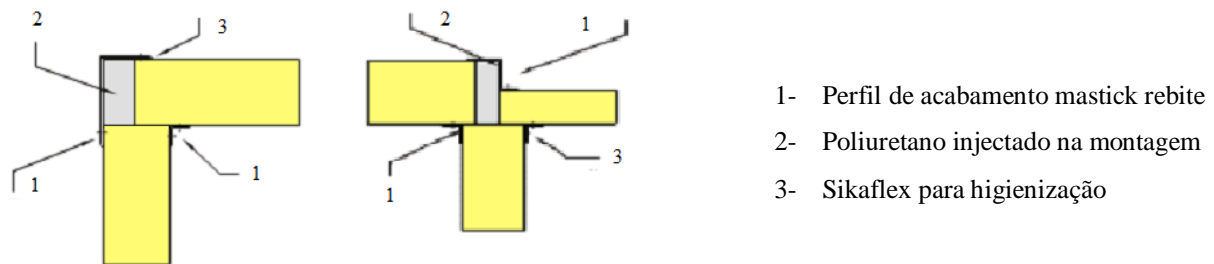


Figura 5 – Ligação de painéis sandwich de cantos e de divisórias das câmaras frigoríficas (Vilain, 2006)

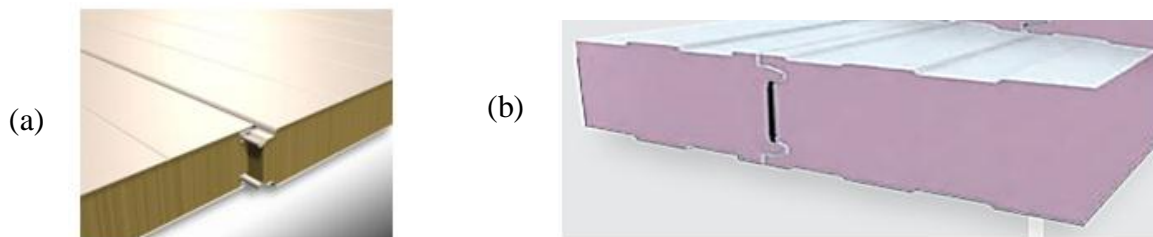


Figura 6 – Junção de painéis sandwich em união do tipo macho-fêmea dos fabricantes Isotermia (a) e Huurre (b)

1.5.2.2. Pavimento e vazio sanitário

O isolamento do pavimento das câmaras frigoríficas de grande dimensão não é efectuado com base em painéis, mas através da colocação cruzada de pelo menos duas camadas de isolamento que deve ser capaz de suportar grandes cargas, nomeadamente, o peso das paletes, peso dos meios de movimentação de cargas, etc. [3].

Para construir a câmara frigorífica, o pavimento é primeiro preparado e posta a barreira de vapor para a face externa. Começa-se com uma laje de betão com uma espessura que varia de 100 a 150 mm que é coberta com a barreira de vapor betuminosa de pelo menos 10 mm [3]. Sobre esta são colocadas as placas de isolamento em duas ou três camadas com junções escalonadas e desencontradas, podendo as placas ser em poliestireno ou poliuretano expandido [6]. As juntas superiores podem ser cobertas com lamelas. As paredes são erguidas

pelas extremidades na borda do pavimento e postas juntas, fazendo o selo entre painéis nas bordas e cantos. A figura 7 mostra a título exemplificativo algumas particularidades de montagem dos painéis verticais sobre o pavimento e execução do pavimento das câmaras frigoríficas mais frequentes [7].

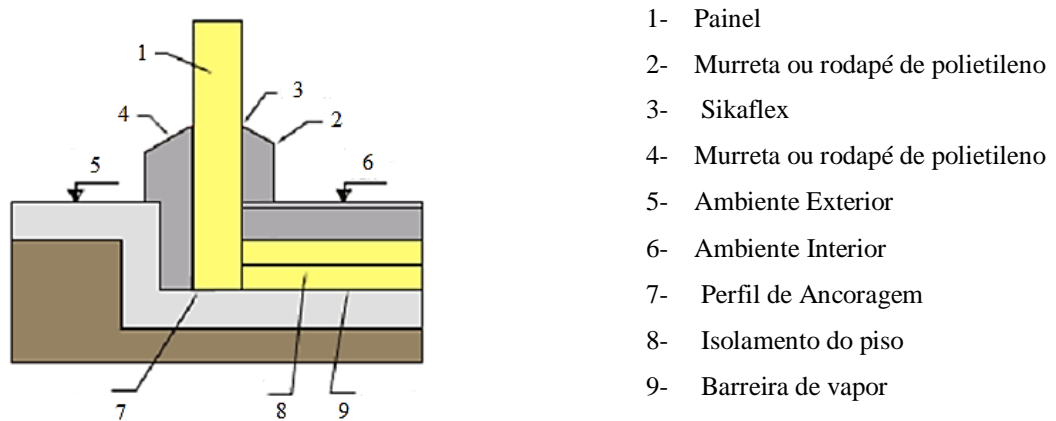


Figura 7 - Montagem dos painéis verticais sobre o pavimento e execução do pavimento da câmara frigorífica (Vilain, 2006)

Importa referir que em espaços frigoríficos com temperatura inferior a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, deve ser aplicado um sistema anti-congelação do pavimento, que normalmente corresponde ao aquecimento da superfície fria [3]. O aquecimento do solo pode efectuar-se através da implantação de tubos para circulação de água, ar a temperatura ambiente ou aquecido por convecção natural ou forçada, etilenoglicol quente ou óleo conforme o exemplo apresentado na figura 8 [6]. Os tubos de aquecimento podem ser dispostos de diferentes maneiras, conforme mostra o exemplo apresentado na figura 9. Outra opção consiste no vazio sanitário, através da construção do pavimento das câmaras frigoríficas pré-elevadas pelo menos a 1,2 metros do solo, permitindo a circulação de ar por baixo do pavimento, à temperatura normal atmosférica.

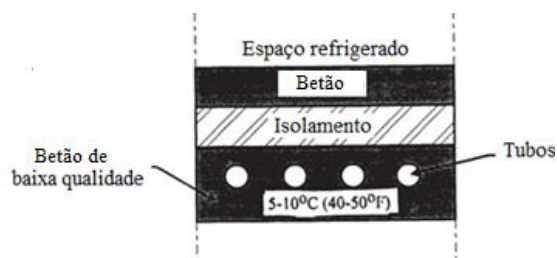


Figura 8 - Sistemas anti-congelação do pavimento (Stoecker, 2004)

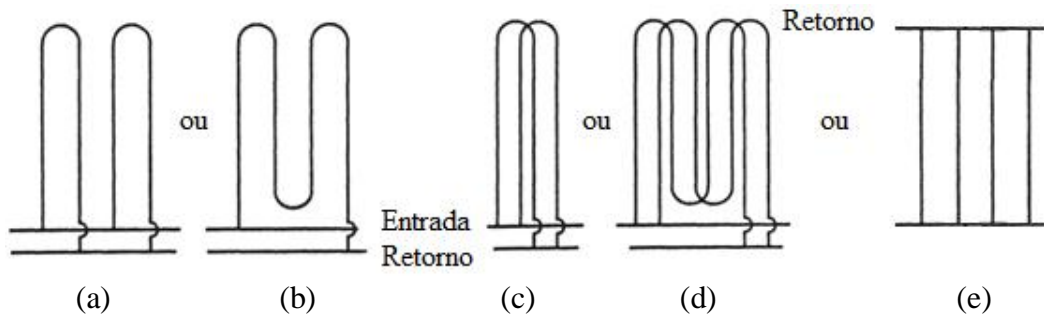


Figura 9 – Diferentes disposições dos tubos de aquecimento do pavimento (Stoecker, 2004)

O caso mais frequente e prático, da disposição dos tubos de aquecimento é dado pelo exemplo da figura 8 (e).

1.5.3. Rodapés e Portas isotérmicas

Os rodapés são colocados nas zonas de ligação das paredes verticais dos painéis e pavimentos para evitar choques directos entre meios de movimentação e as paredes, tal como o encosto desaproprado das paletes, dos cartonados e dos produtos às paredes [3]. No caso de rodapés pré-fabricados as suas dimensões podem ser conhecidas com base em catálogos dos fabricantes. Um exemplo típico de rodapés pré-fabricados é mostrado na figura 10.

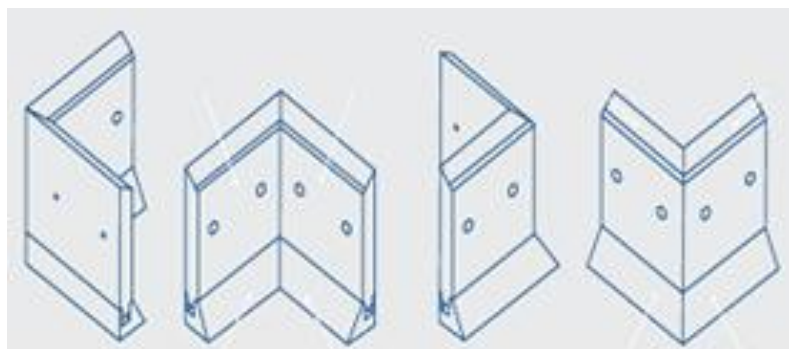


Figura 10 - Rodapés de polietileno (CF DOORS, 2017)

As portas isotérmicas devem combinar as funções de porta e isolamento. A tendência é ter menos e melhores portas. Fabricantes disponibilizam muitos tipos de portas, com a espessura de isolamento adequada para o uso pretendido [4].

Os tipos básicos de portas são [3]:

- Portas de 1 ou 2 folhas do tipo pivotante, de movimentação lateral, para pequenas câmaras frigoríficas ou túneis, com abertura para os corredores, colocando problemas à circulação de meios e pessoas;
- Portas do tipo deslizante, de movimentação lateral-horizontal, para câmaras frigoríficas de grande dimensão e em túneis, caso exista espaço necessário para a movimentação das portas, apresentam a vantagem de não constituírem entraves à circulação de meios e pessoas;
- Porta de guilhotina, de movimentação vertical, utilizadas em túneis, sendo sempre uma solução quando não exista espaço necessário para a movimentação das portas;

Para evitar os choques dos meios de movimentação com as portas isotérmicas, devem ser implantados do lado dos corredores de acesso, aros e “rails” de protecção, em material metálico resistente ao choque e às características do ar ambiente. As portas isotérmicas para câmaras frigoríficas de conservação de congelados e túneis de congelação, devem ser providas de resistências eléctricas de baixa tensão, para evitar a formação de gelo [3]. Os catálogos dos fabricantes fornecem ilustrações detalhadas das portas. Salienta-se que portas automáticas são um requisito primário quando se implementa a manipulação com empilhadores [5].

1.5.4. Fluidos frigorigéneos

Actualmente a utilização de fluidos frigorigéneos é limitada pelas restrições impostas pelo protocolo de Quioto e regulamentos Europeus. Essas restrições são baseadas no impacto ambiental dos fluidos frigorigéneos tendo em conta o seu ODP (ozone depletion potential) que está relacionado com o potencial de eliminação de iões de O₃ e o seu GWP (global warning potential) que classifica o efeito de estufa tendo como base o CO₂ [4].

Do exposto importa referir que Moçambique é um dos países signatários do Protocolo de Quioto, porem países em vias de desenvolvimento, como é o caso de Moçambique, não têm metas fixas de redução de emissões, tanto que as restrições impostas não são aplicáveis [9].

A tabela 1 apresenta o impacto ambiental de alguns dos fluidos frigoríficos actuais.

Tabela 1 - Impacto ambiental de alguns dos fluidos frigoríficos (Trott, 2000)

Fluidos frigoríficos	ODP	GWP
Alternativas de transição (HFC)		
R404A	0	3 750
R407A	0	1 920
R407B	0	2 560
R407C	0	1 610
R410A	0	1 890
R411B	0,045	1 602
Alternativas a longo prazo (sem halogéneo)		
R717 (amoníaco)	0	0
R600a (Isobutano)	0	3
R290 (propano)	0	3
R1270 (propileno)	0	3

Importa referir que quando se procede à selecção de um fluido frigorífico, é indispensável proceder uma meticolosa definição dos vários parâmetros adequados para a sua utilização. A solução proposta do fluido frigorífico para a instalação frigorífica para as câmaras frigoríficas dimensionadas na presente tese, é o R404A, que se enquadra no grupo de segurança A1 (não propaga a chama e apresenta uma baixa toxicidade) [5], tem o ODP (Potencial de Destruição do Ozono) igual a zero, porém tem o GWP (Potencial de Aquecimento Global) de 3 750 conforme a tabela 1.

Um sistema a R404A, não é tóxico e requer equipamentos mais baratos relativamente a um sistema a amoníaco, o que torna o sistema de expansão directa à R404A menos dispendioso e eficiente comparativamente ao amoníaco e não necessitará de cuidados tão elaborados com a segurança.

2. CONCEPÇÃO DE CÂMARAS FRIGORÍFICAS

Vários factores influenciam a concepção das câmaras frigoríficas, entre os quais se destacam a quantidade do produto, acesso ao produto, tempo de armazenamento, geometria da câmara frigorífica, necessidade de corredores, etc. [18]. Deste modo serão referidos aqueles que afectam directamente o dimensionamento das câmaras frigoríficas. Salienta-se que o factor chave para o dimensionamento das câmaras frigoríficas é a quantidade do produto e o tempo de permanência na câmara frigorífica [5, 19].

Tendo como base uma determinada quantidade de um certo produto, as dimensões da câmara frigorífica dependerão principalmente dos métodos de manuseio, arrumação e das exigências do plano de armazenamento e estiva [20].

Na concepção ou dimensionamento das câmaras frigoríficas são tidos em conta um conjunto de dados, que geralmente incluem [3]:

- Tipo e natureza do produto;
- Forma, tamanho e embalagem de cada produto;
- Tempo de congelação de cada produto;
- Temperatura inicial do produto;
- Temperatura de armazenagem recomendada ou pretendida;
- Capacidade requerida diariamente de cada produto;
- Funcionamento normal, em dias e horas;
- Processo de carregamento recomendado;
- Tipo e espessura do material isolante e método de montagem;

Tendo em conta o conjunto de dados disponíveis e as condições de operação das instalações frigoríficas, efectua-se a introdução de dados em ferramentas de cálculo para a determinação das dimensões das câmaras frigoríficas, determinam-se as cargas térmicas e posteriormente a selecção dos componentes da instalação. A figura 11 sintetiza as ideias fundamentais subjacentes ao processo de dimensionamento das câmaras frigoríficas.

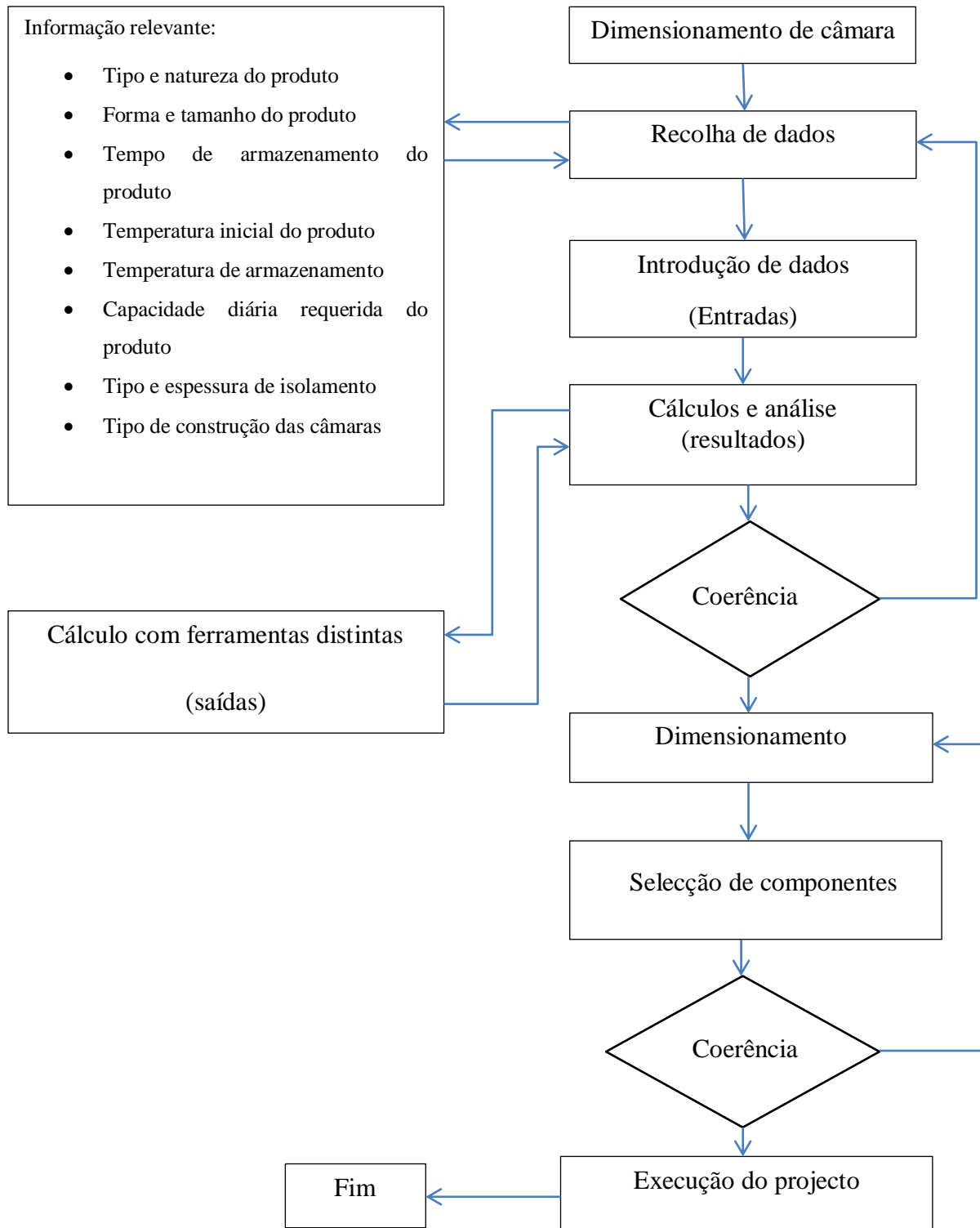


Figura 11 – Diagrama do processo de dimensionamento das câmaras frigoríficas (Monteiro, 2015)

2.1. Temperaturas de projecto

2.1.1. Temperatura de projecto de entrada de atum na câmara frigorífica

Dados disponíveis referem que as embarcações possuem túneis de congelação, nas quais o atum é congelado e posteriormente conservado a bordo a uma temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [13]. Porém, a temperatura de entrada nas câmaras frigoríficas é tida como sendo acima da temperatura a que o atum é conservado a bordo, devido aos ganhos de calor a que este é submetido durante a sua transferência para as câmaras frigoríficas. Para efeitos de cálculo será tido em conta a possibilidade de receber o pescado a uma temperatura máxima de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, justificado pela elevada temperatura ambiente, associado também à logística (duração e meios de transporte, tempo de descarga das embarcações, tempo para selecção ou classificação do atum, tempo necessário para o carregamento do pescado nas paletes, etc.).

2.1.2. Temperatura de projecto da câmara frigorífica.

As temperaturas de conservação de produtos congelados dependem do tipo de produto e do tempo máximo de conservação previsto. Câmaras frigoríficas destinadas a armazenar pescado congelado, tal como o atum, devem poder operar a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, porém com possibilidade de serem operadas a uma temperatura mais alta dependendo do período de armazenamento previsto [22]. Portanto a temperatura mínima das câmaras frigoríficas é de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma humidade relativa interior de 90 % (varia entre 90 - 95 %) que permite os períodos máximos de conservação que constam no anexo 2 [14]. Através desses dados com o auxílio da carta psicrométrica do site Psychrometric Properties, conforme apresentada no anexo 4, obtiveram-se os seguintes parâmetros:

- Entalpia do ar interior: $h_i = -29,67\text{ kJ/kg}$;
- Volume específico do ar interior: $v_i = 0,686\text{ m}^3/\text{kg}$;
- Temperatura do bolbo húmido interior: $T_{wi} = -30,2\text{ }^{\circ}\text{C}$;

2.1.3. Temperatura de projecto do meio ambiente

As condições atmosféricas afectam a carga térmica e a capacidade do sistema de refrigeração e são geralmente definidas com base na análise estatística dos dados meteorológicos dum período de 30 anos, conforme o local onde são instaladas as câmaras frigoríficas. As condições atmosféricas têm uma influência significativa na selecção de um sistema de

refrigeração e seus componentes. As temperaturas do ar ambiente são necessárias para avaliar a potência dos condensadores e a carga térmica através das paredes da câmara frigorífica.

Para se definir as condições atmosféricas recorre-se a uma base de dados de um departamento meteorológico, ou alguma referência como o ASHRAE [15].

Dados do Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM) indicam para o período de 30 anos, compreendido entre 1966 e 1997 os seguintes valores extremos para a cidade de Maputo [23]:

- Valor máximo da temperatura média mensal: 30,9 °C (Janeiro);
- Temperatura máxima absoluta: 44,1 °C (Janeiro);
- Humidade relativa de aproximadamente 65 %;

É de referir que se registou uma ligeira subida da temperatura comparativamente ao período de 30 anos compreendido entre 1930 e 1961, conforme os dados apresentados no anexo 3, nos quais constata-se a máxima temperatura média mensal para a cidade de Maputo como sendo de 30,1 °C, e temperatura máxima registada de 43,4 °C e com uma humidade relativa de aproximadamente 65 %, ocorrendo no mês de Janeiro.

Para evitar o sobredimensionamento da instalação segue-se a recomendação da bibliografia que propõe uma temperatura exterior de projecto calculada consoante a equação 1.

$$T_{pr} = \frac{T_{max} + 2 * \bar{T}_{max}}{3} \quad (1)$$

Onde:

- T_{max} é a temperatura máxima registada no mês mais quente;
- \bar{T}_{max} é a temperatura média do mês mais quente ;

O valor da temperatura do projecto obtido com base na fórmula supra citada é de 35,3 °C, tendo sido aproximada para 35 °C de modo a simplificar os cálculos. Através destes dados com auxílio da carta psicrométrica do site Psychrometric Properties, conforme apresentada no anexo 4, obtiveram-se os seguintes parâmetros:

- Entalpia do ar exterior: $h_e=94,66$ kJ/kg;
- Volume específico do ar exterior: $v_e=0,901$ m³/kg;
- Temperatura do bolbo húmido exterior: $T_{we}= 29$ °C;

2.1.4. Temperatura de projecto da envolvente da câmara frigorífica

A maioria das câmaras frigoríficas são construídas dentro de um envelope exterior que as protege de perturbações externas e radiação solar directa. Nestas condições a temperatura externa da envolvente da câmara frigorífica é definida como sendo a temperatura de bolbo húmido da região [4]. Considerando-se esse pressuposto, com auxílio da carta psicométrica do site Psychrometric Properties, conforme apresentada no anexo 4, obtiveram-se os seguintes parâmetros:

- Entalpia do ar após envolvente: $hev = 70,89 \text{ kJ/kg}$;
- Volume específico do ar após envolvente $vev = 0,874 \text{ m}^3/\text{kg}$;

As paredes interiores estão expostas às condições interiores das câmaras frigoríficas adjacentes. Sem dados disponíveis, admitiu-se que a temperatura do solo não ultrapassa o valor de 20 °C.

2.1.5. Temperatura de projecto do cais e antecâmara

O cais e a antecâmara são climatizados, com temperatura de aproximadamente 10 °C e humidade relativa de 60 %. Considerando-se esse pressuposto, com auxílio da carta psicométrica do site Psychrometric Properties, conforme apresentada no anexo 4, obtiveram-se os seguintes parâmetros:

- Entalpia do ar do cais: $hdc = 21,48 \text{ kJ/kg}$;
- Volume específico do ar do cais: $vdc = 0,804 \text{ m}^3/\text{kg}$;

2.2. Produção e caracterização do Atum

Sendo Moçambique um país banhado pelo oceano Índico, com uma costa de 1780 km, na qual se relata uma imensa riqueza em recursos pesqueiros, é de extrema importância fazer a caracterização do estado actual de produção de atum e caracterização do mesmo.

A seguir apresenta-se o perfil de produção de atum nas águas Moçambicanas e a caracterização do mesmo sob os seguintes aspectos:

- Dimensões e respectivo peso;
- Calor específico e calor latente;
- Previsão da quantidade total do atum a ser armazenada;

2.2.1. Espécies de atum capturadas em Moçambique

Em Moçambique, são 4 as principais espécies de atum capturadas, nomeadamente Skipjack, Yellowfin, Bigeye tuna e Albacore (*Thunnusalalunga*) [1].

A pesca nacional Moçambicana do atum está numa fase inicial e começou com um navio licenciado em 2012, que não operou nos anos seguintes [10]. Actualmente a frota nacional de pesca do atum é composta por 22 embarcações de pesca industrial com capacidade unitária de 30 toneladas de pescado, da qual estão em operação 9 embarcações [24]. O número de embarcações da frota estrangeira de pesca do atum é estimado em 31, mediante acordos de pesca estabelecidos com outros países [24].

Informações disponíveis referem que a actual frota de pesca do atum, iniciou a sua actividade nos finais do ano 2014. Do ano 2014 até ao ano 2015 relata-se que a frota nacional registou um fraco desempenho influenciado pela falta de aproveitamento da frota devido à necessidade de armação das embarcações pelas empresas detentoras do direito de pesca e condições de armazenamento [24].

As capturas totais anuais de atum por espécie pelas frotas estrangeira e nacional na zona de pesca Moçambicana no período compreendido entre 2010 a 2015 estão apresentadas na tabela 2 e da frota nacional isoladamente na tabela 3, das quais se pode constatar o baixo desempenho da actividade da frota nacional.

Tabela 2 - Capturas anuais de atum em toneladas por espécie pelas frotas estrangeira e nacional (IOTC, 2016)

Espécie	Nome científico	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Skipjack	<i>Katsuwonus pelamis</i>	2 345	1 162	249	21	12	118
Yellowfin	<i>Thunnus albacares</i>	1 613	2 280	890	2 096	2 275	2 237
Bigeye tuna	<i>Thunnus obesus</i>	274	387	154	257	361	231
Albacore	<i>Thunnus alalunga</i>	248	663	114	229	212	-
Total		4 480	4 492	1 407	2 603	2 860	2 586

Tabela 3 - Capturas anuais de atum em toneladas por espécie pela frota nacional
(IOTC, 2016)

Espécie	Nome científico	2014	2015
Skipjack	Katsuwonus pelamis		1,78
Yellowfin	Thunnus albacares	1,389	51,254
Bigeye tuna	Thunnus obesus	0,780	33,631
Albacore	Thunnus alalunga		3,701
Total		2,169	90,366

Das tabelas 2 e 3 pode se constatar que em ambas as frotas a espécie mais capturada é o “Yellowfin tuna”.

2.2.2. Dimensões e quantidade de atum

Normalmente as dimensões e quantidades dos produtos armazenados em câmaras frigoríficas são expressas em função da sua densidade de armazenamento, cujos valores são disponibilizados em tabelas. No entanto esses valores não são significativos, quando são tidas em conta as reais características do produto, relativos a forma e tamanho do produto [22].

Para conferir um grau adequado de precisão ao dimensionamento foi necessário estabelecer um critério para determinar a capacidade média em massa de cada palete baseado nas dimensões e forma geométrica do atum.

A figura 12 apresenta a forma geométrica do atum, que é considerada para o efeito de dimensionamento das câmaras frigoríficas, uma vez que a forma e as dimensões do produto a armazenar tem influência no espaço necessário para o armazenamento, dado que se trata de um produto de grandes dimensões [11].

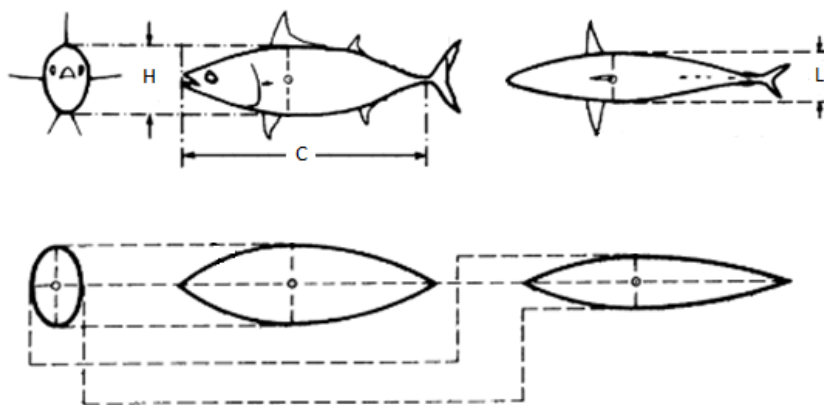


Figura 12 - Forma geométrica do atum (Sharp, 1978)

Onde:

- C é o comprimento do corpo do atum;
- L é a largura do corpo do atum;
- H é a profundidade (altura) do corpo do atum;

As dimensões relativas ao comprimento, largura e a profundidade (altura) do atum são apresentadas no anexo 1, relativas ao “blufin tuna” e foram aferidas em Antlanta, Austrália e Califórnia [12]. Essas dimensões são usadas como base para o armazenamento do atum em paletes, assumindo que as espécies têm forma e proporções similares ao “blufin tuna”. É de salientar que se recorreu a estes dados pelo facto de geralmente as medidas de interesse das companhias de pesca estarem relacionadas com o comprimento e peso do pescado, sendo deste modo as medidas mais mencionadas ou fornecidas.

Outro dado de interesse é a variação do peso do atum com o seu comprimento que é baseado no anexo 1, relativas ao “Yellowfin tuna”. É assumido que as espécies do atum em causa neste trabalho apresentam similaridades de variação do peso com o seu comprimento.

O comprimento e o peso máximo mais comum das espécies de atum são apresentados no anexo 1, porem as capturas apresentam-se com dimensões variáveis, desde os mais pequenos aos maiores.

2.2.3. Calor específico e calor latente do atum

Considerando o pressuposto de que a composições das espécies de atum em causa são similares entre si, consideram-se os calores específicos do bluefin tuna para todos os tipos de atum. Os calores específicos e sensível e latente do bluefin tuna são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Calor específico e calor latente do atum (ASHRAE, 2010)

Produto	Ponto de congelação inicial (°C)	Calor latente de fusão (kJ/kg.°C)	Calores específicos (kJ/kg.°C)	
			Acima de congelação	Abaixo de congelação
Tuna (Bluefin)	-2,2	227	3,43	2,19

2.2.4. Previsão da quantidade total do atum a armazenar nas câmaras frigoríficas

Dado que o volume da câmara frigorífica é determinado em função da carga máxima de produtos armazenados em simultâneo, é necessário ter-se uma estimativa da quantidade máxima do atum a ser armazenada num determinado período. Refere-se que uma das formas de converter a massa em volume é relacioná-la com a densidade útil de armazenamento, por metros cúbicos (m³) útil, ou considerando o volume das unidades armazenadas, caso sejam conhecidos.

Para se estimar a quantidade máxima do atum a ser armazenada recorreu-se a uma série de suposições e expectativas que incluem os seguintes elementos [3]:

- Frequência de entrada de atum na câmara frigorífica;
- Frequência de saída de atum na câmara frigorífica;
- Calendário de captura;
- Calendário previsível de expedição;

As frequências de entrada e saída de atum permitem a elaboração do inventário da câmara frigorífica, com base no qual se podem elaborar mapas de capacidade e rotação do atum dentro das câmaras frigoríficas. O calendário de captura poderá ajudar a estimar a quantidade e a frequências de entrada do atum. Por outro lado, o calendário previsível de expedição poderá permitir estimar a quantidade e a frequências da saída do atum.

2.2.4.1. Calendário de captura e frequência de entrada de atum nas câmaras frigoríficas

Devido aos relatos de fraco desempenho da frota nacional, optou-se por não considerar os valores de produção de atum disponibilizados para o dimensionamento das câmaras frigoríficas pelo facto destes serem demasiado baixos em relação ao potencial de produção das embarcações. Refere-se que a quantidade total a ser armazenada é baseada na capacidade de produção das embarcações, para tal, no sentido de não sobredimensionar as câmaras frigoríficas, igualmente não serão tidos como base de cálculo a capacidade total, nem o número total de embarcações disponíveis, sendo prevista uma futura expansão das câmaras frigoríficas caso as circunstâncias o justifiquem.

Por forma a estimar a quantidade total a ser armazenada, consideraram-se os seguintes pressupostos:

- A capacidade média estimada de produção de cada embarcação é de 75 % da sua capacidade total, justificada pelo facto de geralmente não se conseguir atingir a capacidade máxima de produção (30 tons);
- O número de embarcações em actividade é estimado em 2/3 do total da frota (22), isto é, aproximadamente 15, considerando a possibilidade de não se poder explorar toda a frota devido a avarias e outros factores;
- Estima-se o fornecimento de atum com regularidade, em períodos de 15 dias, determinados com base no tempo que a embarcação leva para completar um ciclo que inclui a duração da viagem, captura, descarga, operações de manutenção e armamento. Segundo o manual das embarcações o tempo máximo da actividade de pesca incluindo as viagens (ida e volta) é de 12 dias, ao qual acresce-se 1 dia para descarga e 2 dias para manutenção e armamento;

Com base nos pressupostos apresentados a quantidade total de capturas para o período de 15 dias é:

$$m_{total_V} = m_{emb} * N_{emb} \quad (2)$$

$$m_{total_V} = 30\,000 * 0,75 * 15 = 337\,000 \text{ kg}$$

Dado que a carga térmica das câmaras frigoríficas é determinada pela quantidade de produto que entra nas mesmas em 24 horas, é necessário estabelecer um limite para essa quantidade. Pressupõe-se que a entrada diária nas câmaras frigoríficas terá um limite máximo de 40 % da capacidade total de produção no período considerado, com a qual, conclui-se que o número máximo de embarcações a fornecer o atum não deverá exceder 6 embarcações por dia (24 horas), pelo que o calendário das capturas deverá ser elaborado no sentido de não exceder esse número, podendo se efectuar o carregamento das câmaras frigoríficas em dias diferentes e permitir que seja efectuado por todas embarcações em actividade respeitando um período inferior ou igual a 15 dias.

Deste modo considerando o calendário de expedição total ou renovação do atum de um mês (30 dias) a frequência de entrada de atum nas câmaras frigoríficas é duas vezes por mês. Considerando esse pressuposto a quantidade total de atum fornecida será:

$$m_{total} = m_{total_V} * f_{carr} \quad (3)$$

$$m_{total} = 337\ 000 * 2 = 675\ 000\ kg$$

Onde:

- m_{total} é a quantidade total de atum em massa fornecida pelas embarcações durante o período de renovação;
- m_{total_V} é a quantidade total de atum em massa fornecida pelas embarcações por viagem;
- f_{carr} é o número de carregamentos durante o período de renovação;

2.2.4.2. Calendário e frequência de expedição

Consideraram-se os seguintes pressupostos:

- Cerca de 20 % das capturas são fornecidas ao mercado nacional com uma regularidade de 15 dias;
- Assume-se que todo o atum armazenado nas câmaras frigoríficas será escoado em um mês específico, para tal considera-se o período de exportação do atum para o estrangeiro como sendo o de escoamento total do atum, o qual é estimado em um mês, conforme mencionado anteriormente.

Salienta-se que quando um produto está pronto para a venda definitiva, o tempo de armazenamento deve ser muito curto, isto é, o objectivo é movimentar o produto o mais rapidamente possível para o mercado ou instituição de serviço de alimentação [6].

2.2.4.3. Quantidade total de atum a armazenar

Considerando-se a taxa de escoamento do atum de aproximadamente 20 %, a quantidade total de atum em massa a ser armazenada será:

$$m_{total_t} = m_{total} - m_{total} * 0,2 \quad (4)$$

$$m_{total_t} = 675\ 000 - 675\ 000 * 0,2 = 540\ 000\ kg$$

2.3. Forma e tamanho da câmara frigorífica

Por razões económicas sugere-se o manuseamento mecânico do produto nas câmaras frigoríficas, onde grandes volumes de produto precisam ser movimentados rapidamente, o que implica o uso de empilhadores [20]. Neste caso existe a possibilidade de uma maior altura de empilhamento do produto na câmara frigorífica. Outro factor que afecta os parâmetros físicos da câmara frigorífica está relacionado com a geometria da câmara frigorífica no que diz respeito à área total da superfície. Para câmaras frigoríficas de uma mesma capacidade terá menor área total de superfície a que tiver uma geometria cúbica e por conseguinte menor ganho de calor através das superfícies, uma vez que este é proporcional à área de superfície e consequentemente baixa os custos de funcionamento [20]. Neste sentido as câmaras frigoríficas que tenham geometria mais aproximada à forma cúbica terão maior volume e uma relação superfície/volume mínima, o que implica que a superfície da câmara frigorífica possua a forma de um quadrado.

O volume por unidade de superfície, para uma mesma forma geométrica é directamente proporcional à escala, o que ilustra a economia de escala com o aumento do tamanho. O custo por unidade de volume, tanto de capital inicial como de custos de exploração, será menor para câmaras frigoríficas grandes [20]. Por questões de economia de energia, actualmente há uma tendência geral para construir maiores instalações variando entre os 5 000 m³ e os 250 000 m³ [3].

2.4. Plano de armazenamento e estiva

As câmaras frigoríficas não são preenchidas totalmente com produtos, existem espaços reservados para os produtos, corredores para a estiva, e espaços para circulação de ar, sendo o volume bruto de cada câmara frigorífica igual ao somatório destes [19]. O espaço necessário para corredores no caso da estiva mecânica é maior comparativamente à manual.

Para realizar o projecto definitivo é indispensável traçar os planos de estiva e a quantidade total de atum em massa. O plano inclui áreas específicas reservadas aos produtos palatizados, os corredores de circulação dos meios de movimentação, espaços e corredores destinados à circulação do ar entre o produto (paletes) e as paredes, tecto e pavimento [3].

Para estiva palatizada considera-se a dimensão normalizada (CE) das paletes 1x1,20 m ou 0,80x1,20 m com uma altura de 1,75 m e 1,86 m [2, 3]. Os meios de movimentação são empilhadores eléctricos, a largura dos corredores variar conforme o tipo de empilhador utilizado mas com valores da ordem de 2,6 a 2,7 m se os empilhadores tiverem garfo retráctil e de 3,6 m para os de garfo compensado [2, 3]. A tonelagem média estivada é de 10 a 20 t/h, por empilhador [3].

A figura 13 (a) ilustra o caso de estiva onde é necessário acesso a qualquer palete, recomendam-se corredores de acesso com apenas uma fiada de paletes em cada lado e a largura dos corredores para a operação do empilhador é de pelo menos 2,6 a 3,7 m. No caso de não haver essa necessidade as paletes podem ser empilhadas até quatro fiadas exigindo um corredor para acesso a 4 paletes em cada lado conforme o exemplo apresentado na figura 13 (b), e a largura dos corredores é de 3,7 m de modo a empilhar as paletes e chegar àqueles da parte traseira [4]. A largura dos corredores de acesso às câmaras frigoríficas é em média de 2 m se a estiva for manual e 5 m se for feita por empilhadores ou por porta paletes, dependendo dos meios de movimentação utilizados, normalmente a referência são os empilhadores eléctricos ou os porta paletes, manuais ou eléctricos [3].

Podem ser instaladas estantes para suportar as paletes acima do nível do chão, e permitir que uma palete possa ser removida sem perturbar as acima dele [4].

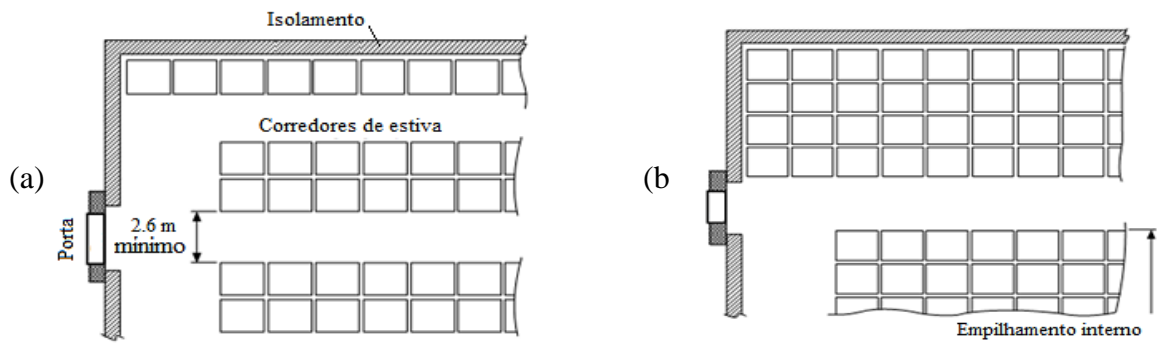


Figura 13 - Plano de armazenamento conforme estiva com necessidade de acesso a qualquer palete (a) e sem necessidade de acesso selectivo de paletes (b). (Trott, 2000).

3. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS

3.1 Espessura do isolamento das câmaras frigoríficas

Existem diferentes métodos para determinar a espessura do isolamento, entre os quais se destacam o cálculo considerando o fluxo máximo de calor permitido para as câmaras frigoríficas, cujo valor é definido pela literatura. O valor de fluxo de calor recomendado para as câmaras frigoríficas de conservação de congelados é de 8 kcal/h.m² (9,304 W/m²) justificado pelo facto deste possibilitar um bom balanço entre os custos de isolamento e de energia eléctrica [8].

3.1.1. Metodologia para o cálculo da espessura do isolamento

Os procedimentos necessários para concretizar o cálculo da espessura do isolamento seguem os seguintes passos [16]:

- a) Identificar o valor da condutividade térmica “k” do material isolante escolhido a partir de catálogos dos fabricantes;
- b) Identificar o valor do fluxo de calor máximo admitido para a aplicação em questão (ou a máxima taxa de transferência de calor permissível), e as temperaturas em cada lado das paredes;
- c) A partir dos dados obtidos em (b), calcular o valor do coeficiente global de transferência de calor necessário, utilizando a equação 5;

$$U = \frac{\dot{q}}{\Delta T} \quad (5)$$

- d) A partir do valor calculado de “U”, determina-se a espessura necessária do isolamento “L”, a partir da equação 6;

$$L = k \cdot \left(\frac{1}{U} - \frac{1}{h_{\text{ext}}} - \frac{1}{h_{\text{int}}} \right) \quad (6)$$

- e) Voltar aos catálogos dos fabricantes, e escolhe-se o produto com espessura igual ou imediatamente superior ao valor calculado no item (d);

Salienta-se que nos casos em que os catálogos de material isolante trazem o valor da resistência térmica (“Rt”), por m² de área, pode-se seguir os passos abaixo [16]:

- A partir dos dados de projeto identificados no item (b), calcula-se a resistência térmica necessária, pela equação 7;

$$R_t = \frac{\Delta T}{\dot{q}} \quad (7)$$

- Volta-se ao catálogo e seleciona-se o produto com a resistência igual ou imediatamente superior ao valor calculado pela equação 7.

3.1.2. Cálculo da espessura do isolamento

As paredes e tecto, envolventes da câmara frigorífica são construídas com base em painéis sandwich de poliuretano (PUR). Da pesquisa resultou a selecção do catálogo do fabricante ISOTERME, do qual optou-se pelos painéis do tipo c nervurado, modelo ISO 80c240c L/G apresentado no anexo 5.

Dado que o catálogo consultado não apresenta o valor da condutividade térmica recorreu-se ao valor fornecido pela ASHRAE no qual considerou-se o valor de 0,024 W/m.K.

Tendo o valor de fluxo de calor recomendado de 8 kcal/h.m² (9,304 W/m²) e temperatura interna de projecto de -30 °C. Considerando que as câmaras frigoríficas são construídas dentro de um envelope exterior, a temperatura externa da superfície envolvente considerada é a temperatura de bolbo húmido do ar exterior de projecto definida. Deste modo a temperatura da envolvente é tida como sendo 29 °C. Assume-se que as câmaras frigoríficas serão construídas com material isolante da mesma espessura.

Para efeitos de cálculo os coeficientes de convecção, tomam os seguintes valores [17]:

- hint=15 W/(m²°C);
- hext=30 W/(m²°C);

O coeficiente global de transferência de calor é:

$$U = \frac{\dot{q}}{\Delta T} = \frac{9,304}{29 - (-30)} = \frac{9,304}{59} = 0,1577 \text{ W/(m. °C)}$$

A espessura do isolamento é:

$$L = k \cdot \left(\frac{1}{U} - \frac{1}{h_{ext}} - \frac{1}{h_{int}} \right)$$

$$L = 0,024 \left(\frac{1}{0,1577} - \frac{1}{30} - \frac{1}{15} \right) = 149,8 \text{ mm}$$

A espessura apresentada no catálogo para esse valor é de 150 mm, portanto esse valor será a espessura do isolamento da envolvente da câmara frigorífica. Portanto o coeficiente de transmissão de calor de cálculo é:

$$U = \frac{1}{\frac{L}{k} + \frac{1}{h_{ext}} + \frac{1}{h_{int}}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{0,15}{0,024} + \frac{1}{30} + \frac{1}{15}} = 0,1575 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$$

3.2. Dimensões das câmaras frigoríficas

As dimensões das câmaras frigoríficas são estimadas ajustando as variáveis que condicionam o plano de estiva e distribuição da quantidade de atum pela superfície da câmara frigorífica ou plano de armazenamento do atum na câmara frigorífica para atender às expectativas.

Como o atum será armazenado em paletes, a capacidade da câmara frigorífica será em função do número de paletes que esta pode comportar. Por conseguinte, o número de paletes dependerá da quantidade máxima de atum em massa a ser armazenada em cada câmara frigorífica. Com base nesse pressuposto é necessário se estimar a quantidade de atum que cada palete irá comportar.

3.2.1. Quantidade de atum em cada palete

Devido ao facto de se prever conservar várias dimensões de atum em paletes, a capacidade de cada palete irá variar dependendo das dimensões do atum. Foi necessário estabelecer um critério para determinar a capacidade média de cada palete conforme a metodologia apresentada neste subcapítulo.

Considerando paletes de 1,20 m x 0,80 m com uma altura de 1,85 m de modo a satisfazer o comprimento mais comum de cada espécie de atum capturado pode-se estimar o número de peixes que cada palete pode comportar e a respectiva massa.

3.2.1.1. Metodologia para determinação da quantidade de atum em cada palete

A figura 14 mostra a forma como o atum poderá ser disposto nas paletes. Assumiu-se que existem partes entrelaçadas do atum (E 1 e E2), as quais podem ser ao nível da cabeça (E 2) ou da cauda (E 1). Ao nível da cabeça considerou-se 20 % do comprimento (C) do corpo do atum e ao nível da cauda considerou-se 30 %. Os níveis de empilhamento são limitados pela altura da palete utilizada (185 cm), deste modo dependendo do comprimento do corpo do atum, os níveis de empilhamento podem variar. A quantidade total do atum em cada palete é limitada pela capacidade máxima do empilhador (1 000 Kg).

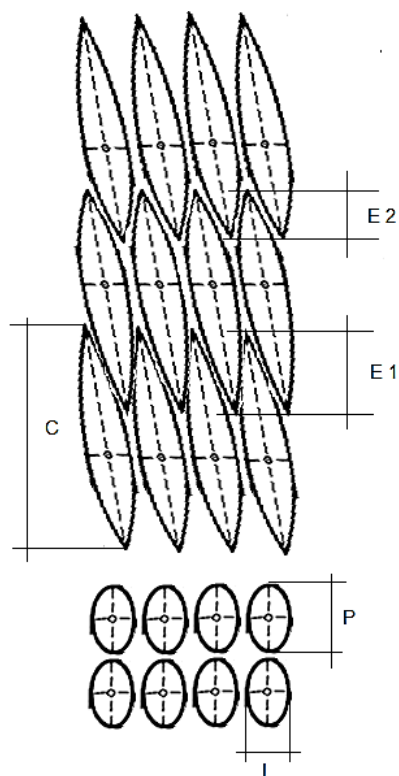


Figura 14 – Disposição do atum na paleta.

A altura do empilhamento do atum nas paletes é calculada segundo as equações da tabela 5.

Tabela 5 - Altura do empilhamento do atum nas paletes em função do comprimento e níveis de empilhamento atum.

Níveis de empilhamento	Altura do empilhamento (h)
1	$h=C$
2	$h=2*C-E1=2*C-0.3*C$
3	$h=3*C-E1-E2=3*C-0.3*C-0.2*C$

3.2.1.2. Cálculo da quantidade de atum em cada paleta

O resultado da ocupação das paletes em função da quantidade dos distintos comprimentos do atum é apresentado na tabela 6.

Tabela 6 - Ocupação das paletes em função da quantidade dos distintos comprimentos e níveis de empilhamento do atum.

Dimensões do atum (cm)			Peso do atum (Kg)	Ocupação da paleta pelo atum			Quantidade de atum na paleta				Quantidade Total de atum (kg)
Comprimento	Largura	Espessura		Altura na paleta (Max=185cm)	Largura na paleta (Max=80cm)	Comprimento na paleta (Max=120cm)	Em níveis	Na largura	No comprimento	Total	
131,4	35,7	25	44	131,4	71,4	125	1	2	5	10	440
125,7	33,9	23,6	39,7	125,7	67,8	118	1	2	5	10	397
98,1	26,6	18,6	19	166,77	79,8	111,6	2	3	6	36	684
92,4	25,2	17,8	15,8	157,08	75,6	106,8	2	3	6	36	568,8
84,4	24,5	16,6	11,5	143,48	73,5	116,2	2	3	7	42	483
75,3	21,5	14,4	8,4	188,25	64,5	115,2	3	3	8	72	604,8
70,7	20,6	13,9	6,5	176,75	61,8	111,2	3	3	8	72	468
65,5	18,9	11,8	5,3	163,75	75,6	106,2	3	4	9	108	572,4
62,8	17,1	11,7	4,5	157	68,4	117	3	4	10	120	540

Com os valores apresentados na tabela 6 estimou-se a quantidade média albergada em cada paleta como sendo de aproximadamente 550 kg.

3.2.2. Metodologia para determinação das dimensões das câmaras frigoríficas

As dimensões internas da câmara frigorífica são determinadas baseando-se na seguinte metodologia [4]:

- I. Sendo conhecida a quantidade média de atum em cada volume de paleta e a quantidade total de atum a armazenar em cada câmara frigorífica, o número total de paletes será:

$$N_{PA} = \frac{m_{Total}}{m_{PA}} \quad (8)$$

Onde:

- N_{PA} é o número de paletes a armazenar na câmara frigorífica;
- m_{Total} é a quantidade total de atum a armazenar em cada câmara frigorífica;
- m_{PA} é a quantidade média de atum em cada volume de paletes;

II. Sendo definidos os níveis (camadas) de empilhamento, o número de paletes a ser distribuídos para a área do pavimento da câmara frigorífica será:

$$N_{PA,pav} = \frac{N_{PA}}{N_{niveis}} \quad (9)$$

Onde:

- $N_{PA,pav}$ é o número de paletes a ser distribuídos para a área do pavimento da câmara frigorífica;
- N_{niveis} é o número de níveis (camadas) de empilhamento;

III. Desta feita definindo-se o número de fiadas necessárias em cada câmara frigorífica, o número de paletes em cada uma delas será:

$$N_{PA,fil} = \frac{N_{PA,pav}}{N_{fil}} \quad (10)$$

Onde:

- $N_{PA,fil}$ é o número de paletes por fiada;
- N_{fil} é o número de fiadas na câmara frigorífica;

IV. Ajustando o número de fiadas consoante a sua distribuição e configuração, pode se calcular o comprimento e largura de cada fiada conforme o seguinte:

(a) Para a largura da fiada tem-se:

No caso de fiada simples:

$$L_{f1} = C_P \quad (11)$$

Onde:

- C_p é o comprimento da paleta;
- L_{f1} é a largura da fiada simples;

No caso de fiada dupla:

$$L_{f2} = 2 * (C_p + S_p) \quad (12)$$

Onde:

- S_p é o espaçamento entre paletes;
- C_p é o comprimento da paleta;
- L_{f2} é a largura da fiada dupla;

(b) Para o comprimento da fiada tem-se:

$$C_f = N_{PA,fil} * L_p + (N_{PA,fil} - 1) * S_p \quad (13)$$

Onde:

- $N_{PA,fil}$ é o número de paletes por fiada;
- L_p é a largura da paleta;
- S_p é o espaçamento entre paletes;
- C_f é o comprimento das fiadas;

V. A largura, comprimento e altura da câmara frigorífica são calculadas tendo em conta os espaços necessários para os corredores e suas dimensões assim como os espaços de circulação de ar e rodapés conforme o seguinte:

(c) Largura da câmara frigorífica:

$$L_c = L_{f1} * N_{f1} + L_{f2} * N_{f2} + N_{corr,estiva} * L_{cor,estiva} + 2 * S_{par} + 2 * S_r \quad (14)$$

Onde:

- S_r é o espaço ocupado pelo rodapé;
- N_{f1} é o número de fiada simples;

- N_{f2} é o número de fiada duplas;
- L_c é a largura da câmara frigorífica;
- $L_{cor,estiva}$ é a largura dos corredores de estiva da câmara frigorífica;
- $N_{corr,estiva}$ é o número de corredores de estiva da câmara frigorífica;
- S_{par} é o espaço entre a paleta e a parede;

(d) Comprimento da câmara frigorífica:

$$C_c = C_{fL} + 2 * S_{par} + 2 * S_r \quad (15)$$

Onde:

- S_{par} é o espaçamento entre a paleta (fiada) e a parede;
- C_{fL} é o comprimento das fiadas laterais;
- C_c é o comprimento da câmara frigorífica;
- S_r é o espaço ocupado pelo rodapé;

(e) Altura da câmara frigorífica:

$$H_C = H_P * N_{niveis} + (N_{niveis} - 1) * S_{PH} + S_{Liv} \quad (16)$$

Onde:

- H_C é a altura da câmara frigorífica;
- N_{niveis} são os níveis de empilhamento (camadas);
- S_{PH} é o espaçamento entre paletes nos diferentes níveis (camadas);
- S_{Liv} é o espaçamento entre o topo da camada ao nível mais elevado das paletes e o tecto da câmara frigorífica;

3.2.3. Cálculo das dimensões da câmara frigorífica

Os cálculos das dimensões da câmara frigorífica foram efectuados por intermédio do Excel, conforme o anexo 6. São necessárias duas câmaras frigoríficas idênticas, com as dimensões unitárias apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 - Dimensões calculadas de cada câmara frigorífica

Dimensões da câmara frigorífica	Valor	Unidade
Altura	8,15	m
Largura	19,34	m
Comprimento	30,34	m

A capacidade, densidade e a quantidade de entrada diária do atum calculadas para a câmara frigorífica são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Dados calculados da câmara frigorífica

Dados da câmara frigorífica	Valor	Unidade
Número total de paletes	510	
Capacidade de cada paleta	550	kg
Capacidade de cada câmara frigorífica	280 500	kg
Densidade bruta da câmara frigorífica	58,655	Kg/m ³
Entrada diária	112 200	kg

3.2.4. Layout da câmara frigorífica

As figuras 15 e 16 apresentam o layout da câmara frigorífica conforme os pressupostos considerados no seu dimensionamento, cujo plano de armazenamento comporta 510 paletes, distribuídas em 4 fiadas de armazenamento, tendo cada fiada 3 níveis de empilhamento, e que confere à câmara frigorífica uma altura de empilhamento de aproximadamente 6 metros. A quantidade total de atum a ser armazenada na câmara frigorífica é de aproximadamente 280 500 kg.

A capacidade total da instalação é dependente do número de câmaras frigoríficas idênticas implementadas. Conforme mencionado anteriormente são implementadas 2 câmaras frigoríficas idênticas por forma a conferir a instalação da capacidade de armazenar a quantidade total de atum prevista. Considerando um aumento de produção é prevista a expansão da instalação baseada em múltiplos da câmara frigorífica dimensionada.

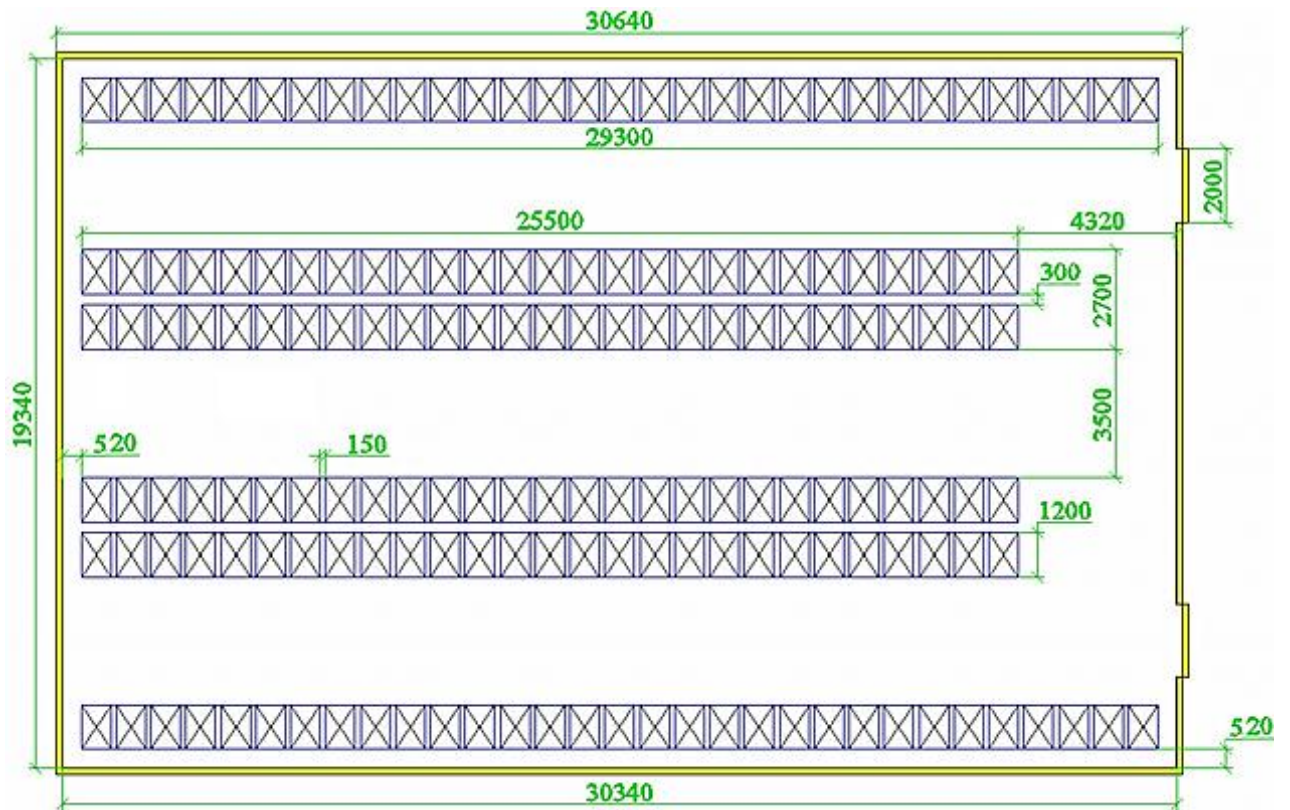


Figura 15 – Planta da câmara frigorífica e distribuição das paletes no pavimento

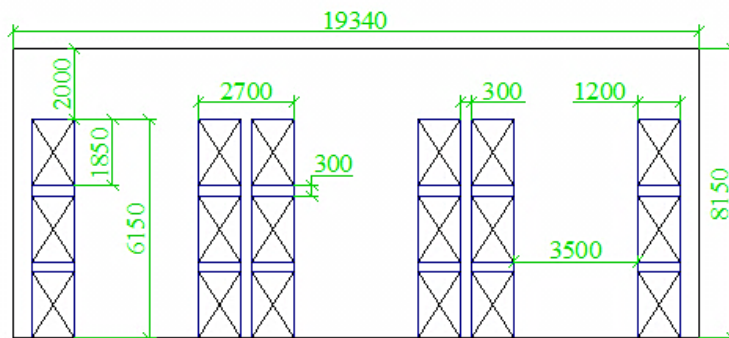


Figura 16 - Vista lateral em corte da câmara frigorífica e distribuição das paletes em níveis

3.3. Características construtivas e execução das câmaras frigoríficas

A solução encontrada para o projecto consiste no método de construção estruturalmente exterior, na qual os painéis de isolamento das paredes e tecto serão protegidos da intempérie, para assegurar a impermeabilidade à água da chuva, evitar os esforços de pressão provocados pelas condições climáticas e prevenir a incidência da radiação solar, assim como à corrosão do meio ambiente. Outro aspecto a considerar são os possíveis ataques contra os painéis por acidentes e/ou vandalismo. A estrutura de suporte dos painéis consistirá numa obra de construção civil em alvenaria ou armação metálica e fachadas.

Prevê-se a existência de um cais de carga, uma sala de máquinas, uma sala para o carregamento de baterias e escritórios na extensão do edifício de protecção das câmaras frigoríficas, conforme o layout apresentado na figura 17. A extensão e ampliação futura da instalação são previstas na parte traseira.

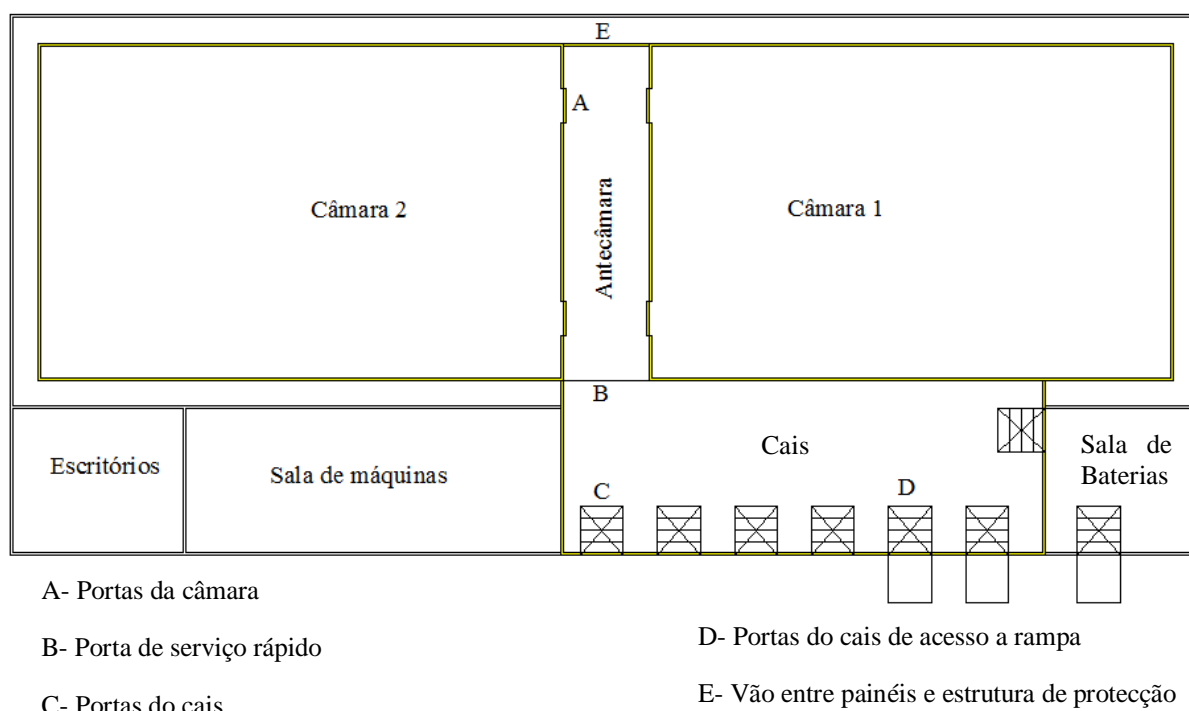


Figura 17 - Esboço da distribuição das câmaras frigoríficas e da instalação

3.3.1. Tecto e paredes

Os painéis das paredes serão fixados em esquadria relativamente ao pavimento e alinhados com a construção exterior por suportes de estabilização e fixação; os painéis do tecto são fixados com tirantes de suspensão à armação do tecto do edifício, conforme ilustra a

figura 18. As juntas serão seladas com material isolante, silicones ou mástique. Os detalhes da construção civil regem-se pelas boas regras da arte do sector e não são aqui especificados.

O vão entre as paredes do edifício de protecção e os painéis das paredes da câmara frigorífica servirão para a instalação de condutas, operações de manutenção e limpeza dos painéis.

Como os painéis de isolamento não estarão directamente expostas ao sol, a carga térmica por transmissão de calor por radiação solar através das paredes e tecto, devido à insolação solar não serão consideradas, constituindo deste modo uma barreira térmica de protecção ao tecto e às paredes do espaço refrigerado.

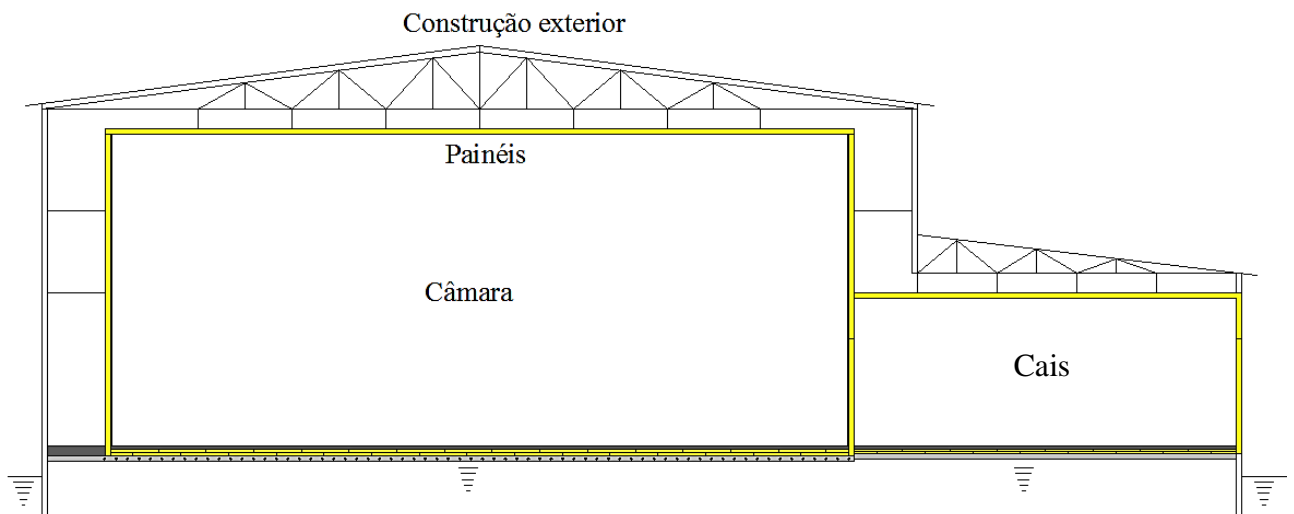


Figura 18 – Estrutura de suporte e protecção dos painéis

3.3.2. Pavimento e vazio sanitário

O isolamento térmico do pavimento consiste em placas rígidas de poliestireno de alta resistência à compressão devido às elevadas cargas, tanto estáticas como dinâmicas da câmara frigorífica, uma vez que levará estantes (racks) e a estiva será baseada em empilhadores. A solução encontrada são placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido (XPS) da FLOORMATE com uma conductibilidade térmica declarada de $0,036 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ cujas características estão apresentadas na tabela 9 e no anexo 5. Segundo a FLOORMATE as placas adequadas para as câmaras frigoríficas são a FLOORMATE 500 e a FLOORMATE 700. Para responder às necessidades das câmaras frigoríficas dimensionadas foi seleccionada a FLOORMATE 700.

Tabela 9 - Placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido (FLOORMATE)

Tipo	Carga Máximas (kPa)	Aplicação
FLOORMATE 200	60	Pavimento de residenciais e comerciais
FLOORMATE 500	180	Pavimentos industriais e circulação de veículos ligeiros
FLOORMATE 700	250	Pavimentos industriais e circulação de veículos pesados

As placas serão aplicadas em duas camadas com juntas desencontradas para evitar pontes térmicas, incluindo a barreira ao vapor com tela asfáltica e laje final. Na figura 19, são apresentados os detalhes da execução do pavimento.

O pavimento consiste das seguintes partes:

- Duas camadas de placas de isolamento (FLOORMATE 700) de 80 mm cada nas câmaras frigoríficas;
- Duas camadas de placas de isolamento (FLOORMATE 700) de 50 mm cada no cais e antecâmara;
- Barreira de vapor de 10 mm;
- Laje da câmara frigorífica em betão de 100 mm;
- Placa base de betão de baixa qualidade de 150 mm;

A laje da câmara frigorífica poderá possuir um revestimento antiderrapante.

Como a temperatura da câmara frigorífica é inferior -18°C o pavimento deverá ser aplicado um sistema anti-congelação. A solução encontrada é a implantação de tubos envolvidas na placa base do betão de baixa qualidade para circulação de ar aquecido por convecção forçada constituindo o vazio sanitário conforme apresentado na figura 20, em que a separação dos tubos que compõem a rede de tubagem é de 30 cm cujo diâmetro é de 5 cm, sendo que os colectores de ar são de 10 cm de diâmetro. Salienta-se que os detalhes construtivos são da especialidade de construção civil. No cais de carga ou descarga não é implementado nenhum sistema anti-congelação, porém a execução é semelhante.

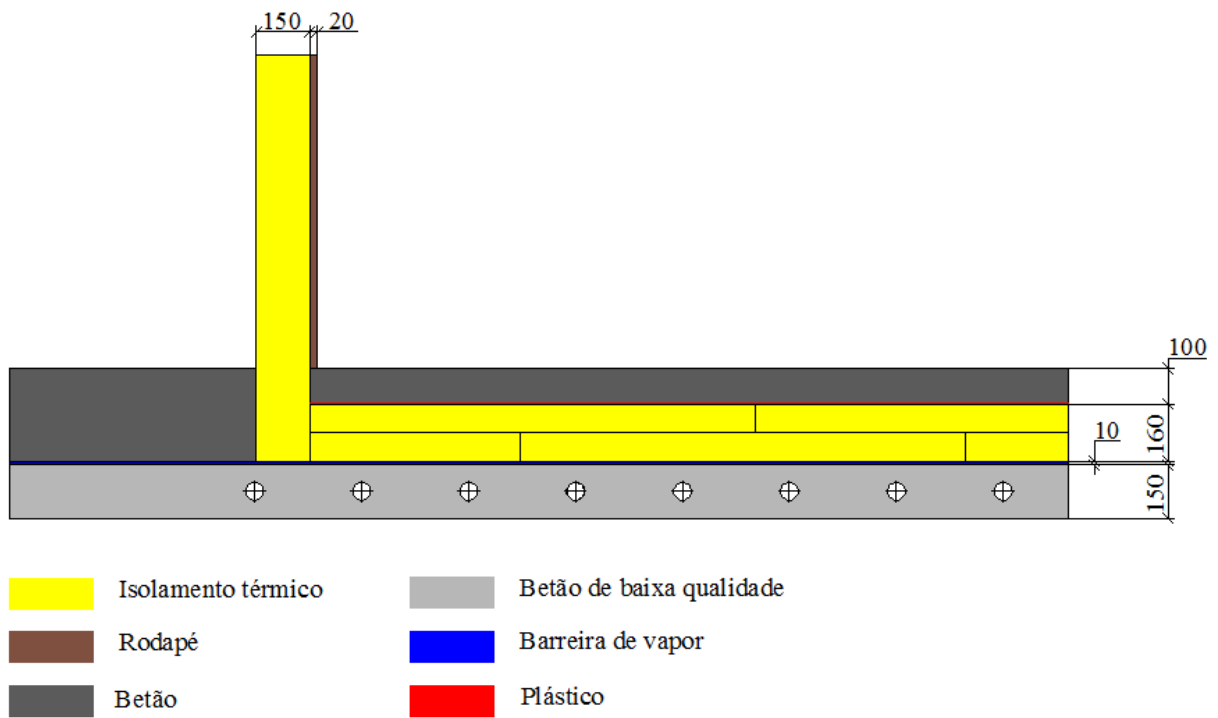


Figura 19 - Detalhes da execução do pavimento da câmara frigorífica, cais e antecâmara

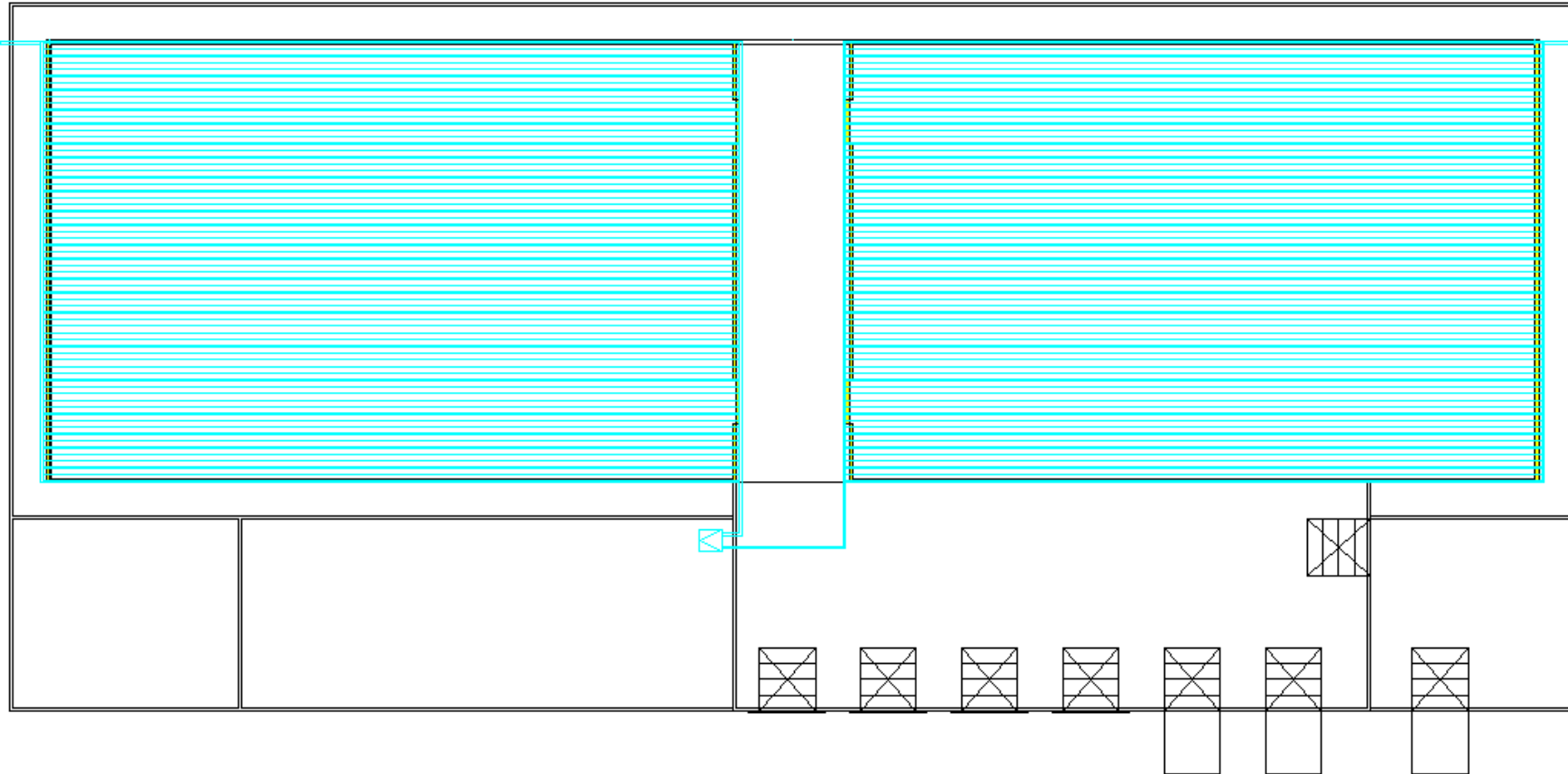


Figura 20 – Sistema anti-congelação do pavimento

3.3.3. Rodapés

Os rodapés baseiam-se nos catálogos da CF DOORS, do tipo PP-500 fabricados de polietileno de alta densidade. Estas placas são fornecidas em barras de 3 000 mm de comprimento e alturas que poderão ser de 1 000 mm, 500 mm, 300 mm, 210 mm e 150 mm. A imagem dos rodapés é apresentada na figura 21.

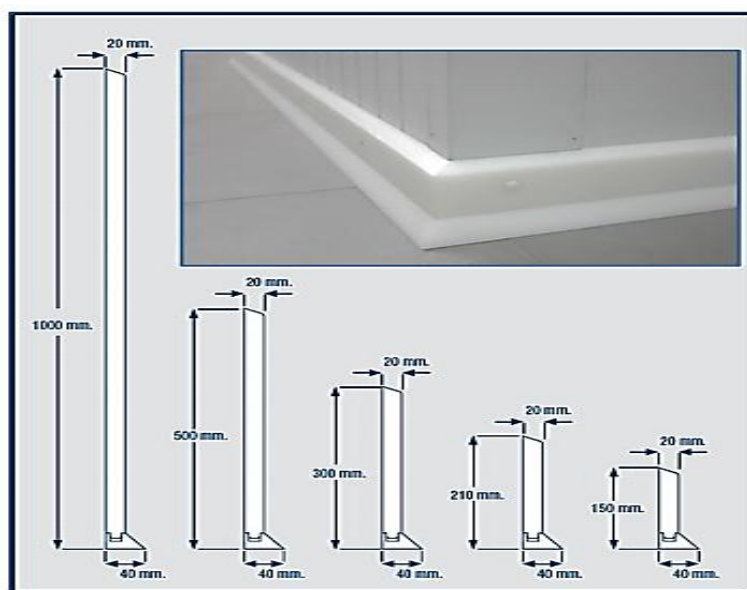


Figura 21 - Rodapés de polietileno (CF DOORS,2017)

3.3.4. Portas isotérmicas

Os fabricantes fornecem as características de todos os modelos das portas isotérmicas, que facilitam a selecção. Serão seleccionadas portas para as câmaras frigoríficas e para o cais de carga.

3.3.4.1. Portas isotérmicas das câmaras frigoríficas

A solução encontrada é de portas deslizantes automáticas com as seguintes características:

- Dimensões de vão útil de 2 m de largura e 2,6 m de altura;
- Espessura de 150 mm em painel sandwich de poliuretano com estrutura de alumínio;
- Resistência de aquecimento incorporada;

São necessárias 4 portas, sendo cada câmara frigorífica constituída por 2 portas. A imagem da porta é apresentada na figura 22.



Figura 22 - Portas deslizantes automáticas (ISOTERME, 2017)

3.3.4.2. Portas isotérmicas do cais de recepção e expedição

A solução encontrada é de portas seccionadas de abertura vertical com as seguintes características:

- Dimensões de vão útil de 2,50 m de largura e 2,8 m de altura;
- Espessura de 40 mm em painel sandwich com dupla chapa de aço;
- Accionamento automático;

A imagem da porta é apresentada na figura 23. São necessárias 8 portas, podendo as mesmas serem usadas para a operação de empilhadoras com o auxílio de rampas móveis.



Figura 23 - Portas seccionadas de abertura vertical (CFDoors, 2017)

Em zonas de temperaturas controladas, onde é necessário manter o controlo de entrada de poeiras e outros resíduos, para manter as temperaturas ao longo das operações de carga e descarga das mercadorias é necessário instalar os abrigos de cais nas portas de cais de recepção e expedição conforme a figura 24, sendo necessários 4 abrigos.

A solução encontrada para o abrigo de cais tem as seguintes características:

- Perfilaria em aço galvanizado;
- Telas de PVC reforçadas com fibras para melhor desempenho contra a intempérie e os embates das viaturas;
- Dimensão standard de 3,4 m de largura e 3,4 m de altura;



Figura 24 - Abrigos de cais (Fonte: CFDoors, 2017)

3.3.4.3. Porta de separação do espaço entre o cais e a antecâmara

A solução encontrada é de portas de serviço rápido conforme a figura 25, que são portas de abertura rápida de enrolar preparadas para passagens frequentes das quais é necessário apenas uma, com as seguintes características:

- Dimensões de vão útil de 4,50 m de largura e 2,8 m de altura;
- Guias verticais em alumínio;
- Accionamento automático (radar infravermelho);



Figura 25 - portas de serviço rápido de enrolar (CFDoors, 2017)

4. DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO FRIGORÍFICO

4.1. Metodologia de cálculo das cargas térmicas

Para o cálculo das cargas térmicas, recorre-se a uma série de equações matemáticas simples para quantificar as diferentes fontes de calor que atravessam a envolvente, cargas térmicas externas e cargas térmicas internas [4].

As cargas térmicas calculadas determinam a potência dos componentes de refrigeração adequados para a câmara frigorífica, nomeadamente o evaporador, compressor, e o condensador [15]. As cargas térmicas totais são o somatório de todas as cargas térmicas envolvidas.

As cargas térmicas totais de refrigeração incluem [4, 5]:

- Cargas térmicas de transmissão, que é o calor que atravessa a envolvente da câmara frigorífica, tecto, paredes e pavimento.
- Carga térmica do produto, que é calor removido do produto (sensível e/ou latente) no interior do espaço refrigerado.
- Cargas térmicas internas, que correspondem aos ganhos de calor gerados por fontes internas (lâmpadas, motores eléctricos e pessoas que trabalham no espaço, etc.);
- Carga térmica de infiltração de ar de ar, que corresponde ao ganho de calor associado ao ar que entra no espaço refrigerado;
- Carga térmica relacionada aos componentes do evaporador, que corresponde ao calor gerado pelos componentes do evaporador (ventiladores e resistências de descongelação do evaporador).

Algumas destas cargas térmicas podem ser calculadas com precisão a partir de dados conhecidos e outras têm parâmetros desconhecidos de modo que a sua estimativa é baseada numa combinação de dados disponíveis e experiência prática. As metodologias utilizadas para o cálculo das cargas térmicas conforme a bibliografia apresenta semelhanças, porém surgem diferenças nos métodos de cálculo das cargas térmicas correspondentes à entrada de ar no espaço refrigerado.

Os cálculos das cargas térmicas são efetuados para um período de 24 h. Como o calor gerado em 24 horas (por dia) deve ser removido em menos tempo, a potência da máquina deve

exceder a potência total calculada para ser extraída em 24 horas. Entretanto, pode-se considerar um período de 16 a 20 horas de operação dos equipamentos, por forma a possibilitar a descongelação das serpentinas dos evaporadores. Para câmaras frigoríficas de congelados normalmente utilizam-se 16 horas de funcionamento dos compressores.

A potência frigorífica intermédia é calculada pela equação 17 [17].

$$\dot{Q}_{int} = \sum_1^i \dot{Q}_i \quad P_{int} = \frac{24 * \dot{Q}_{tot}}{t_{comp}} \quad (17)$$

Onde:

- \dot{Q}_{tot} é a carga térmica intermédia (W);
- P_{int} é potência frigorífica intermédia;
- t_{comp} é o tempo de funcionamento dos compressores;

A potência frigorífica intermédia é corrigida com um factor de segurança de 10% para permitir possíveis discrepâncias entre os critérios de projecto e operação real [5, 17]. A potência frigorífica previsionál é calculada pela equação 18.

$$P_{prev} = 1,1 * P_{int} \quad (18)$$

Onde:

- P_{prev} é potência frigorífica previsionál;

4.1.1. Carga térmica de transmissão de calor através da envolvente

O ganho de calor sensível através das paredes, piso e teto é calculado no estado estacionário com base na equação 19 [5, 17].

$$\dot{Q}_{Tras} = U * A * \Delta T \quad (19)$$

Onde:

- \dot{Q}_{Tras} é a carga térmica devido a transmissão de calor através da envolvente (W);
- A é a área das superfícies;

- ΔT é a diferença entre a temperatura do ar exterior e a temperatura do ar do espaço refrigerado;
- U é o coeficiente global de transferência de calor da parede, piso ou teto;

4.1.2. Carga térmica do produto

A carga térmica dos produtos trazidos e mantidos no espaço refrigerado são [5, 17]:

- Calor removido para arrefecer o produto desde a temperatura inicial, de entrada do produto, até à temperatura de congelação;
- Calor removido na congelação do produto;
- Calor removido para arrefecer o produto desde o ponto de congelação até à temperatura da câmara frigorífica;

A carga térmica total para conservação de produtos congelados é calculada pela equação 20 [5, 17].

$$\dot{Q}_{prod} = \frac{m * c_{esp} * (T_{pr} - T_c)}{3600 * 24} \quad (20)$$

Onde:

- \dot{Q}_{prod} é a carga térmica do produto;
- m é a quantidade do produto (kg);
- C_{esp} é o calor específico do produto abaixo de congelação;
- T_{pr} é temperatura de entrada do produto na câmara frigorífica;
- T_c é a temperatura de conservação do produto;

4.1.3. Cargas térmicas internas

4.1.3.1. Equipamento eléctrico.

Toda a energia eléctrica dissipada no espaço refrigerado (de luzes, motores, aquecedores e outros equipamentos) deve ser incluída na carga térmica interna. Actualmente na maioria das câmaras frigoríficas de baixa temperatura são instaladas lâmpadas de vapor de sódio ou de mercúrio, com as quais é possível obter uma intensidade de iluminação global de 125 lux

com uma carga térmica de 6 W/m² e as lâmpadas devem ser protegidas de forma que o vidro quebrado não possa cair sobre os produtos alimentares [4].

Geralmente, a taxa instantânea de ganho de calor sensível da iluminação eléctrica pode ser calculada a partir da equação 21 [5, 17].

$$\dot{Q}_{LP} = D * A * \frac{t_{LP}}{24} \quad (21)$$

Onde:

- \dot{Q}_{LP} é a carga térmica das lâmpadas (W);
- D é a densidade de iluminação da lâmpada (W/m²);
- A é a área do pavimento da câmara frigorífica (m²);
- t_{LP} é o tempo de funcionamento das lâmpadas (h/dia);

O ganho de calor sensível instantâneo de equipamentos operados por motores eléctricos em um espaço refrigerado é calculado pela equação 22 [5, 17].

$$\dot{Q}_M = \sum Q_M * \frac{t_M}{24} \quad (22)$$

Onde:

- Q_M é a carga térmica dos motores eléctricos (W);
- \dot{Q}_M é a potência calorífica dos motores eléctricos (W);
- t_M é o tempo de permanência dos motores eléctricos na câmara frigorífica (h/dia);

4.1.3.2. Empilhadores

Os empilhadores em algumas instalações podem ser um contribuinte significativo e variável para a carga térmica. Embora vários empilhadores possam estar no mesmo espaço ao mesmo tempo, eles não operam todos ao mesmo nível de energia. A entrada de energia bruta através destas máquinas pode ser obtida a partir das suas placas de identificação ou encontrada a partir dos fabricantes, sendo a carga térmica calculada pela equação 23 [5, 17].

$$\dot{Q}_{EMP} = \sum P_{EMP} * \frac{t_{EMP}}{24} \quad (23)$$

Onde:

- \dot{Q}_{EMP} é a carga térmica dos empilhadores (W);
- P_{EMP} é a potência dos empilhadores (W);
- t_{EMP} é o tempo de permanência dos empilhadores na câmara frigorífica (h/dia);

4.1.3.3. Pessoas

As pessoas libertam uma determinada carga térmica que depende de factores como temperatura ambiente, tipo de trabalho que executam, tipo de roupa usada e volume corporal da pessoa. Salienta-se que esta fonte de carga térmica é difícil de estimar com precisão devido às diferenças quantitativas de cada factor mencionado [15].

A carga térmica de cada pessoa numa câmara frigorífica pode ser estimada a partir da equação 24 [5].

$$\dot{Q}_{Pes} = n_p * (272 - 6T) * \frac{t_{Pes}}{24} \quad (24)$$

Onde:

- T é a temperatura do espaço refrigerado (°C);
- n_p é o número de pessoas;
- \dot{Q}_{Pes} é a carga térmica devido a presença de pessoas na câmara frigorífica (W);
- t_{Pes} é o tempo de permanência de pessoas na câmara frigorífica (h/dia);

4.1.4. Carga térmica devido à entrada de ar no espaço refrigerado

O fluxo de calor para o interior da câmara frigorífica por entrada de ar é causado pelo fluxo directo de entradas de ar ou devido às diferenças de densidade de ar entre os espaços. O fluxo de calor depende do tamanho da câmara frigorífica, diferença de entalpia entre o ar interior e exterior e o uso das portas, sendo difícil de estimar o seu efeito com precisão [4, 5]. A carga térmica devido entrada de ar no espaço refrigerado é calculada com base na equação 25 [17].

$$\dot{Q}_{ar} = \dot{m} * \Delta h \quad (25)$$

Onde:

- \dot{Q}_{ar} é a carga térmica devido à entrada de ar no espaço refrigerado (kW);
- \dot{m} é o caudal mássico do ar exterior que entra no espaço refrigerado (kg/s);
- Δh é a diferença de entalpias entre o ar exterior e do espaço refrigerado (kJ/kg);

A carga térmica devido à entrada de ar no espaço refrigerado divide-se em duas categorias conforme o seguinte [17]:

I. Carga térmica do ar devido a abertura de portas;

A carga térmica do ar devido a abertura de portas é calculada com base na equação 26 [17].

$$\dot{Q}_{Abrt} = 8 + (0,067 \times \Delta T) \times \frac{t_{ab}}{v_i} \times L \times H \times \sqrt{H(1 - \frac{v_i}{v_e})} \times (h_e - h_i)C \quad (26)$$

Onde:

- \dot{Q}_{Abrt} é a carga térmica média durante um período de 24 horas devido à abertura de portas (kW/24h);
- ΔT é diferença de temperaturas entre as duas faces da porta (°C);
- t_{ab} é tempo de abertura de portas (min/horas);
- L é a largura da porta (m);
- H é a altura da porta (m);
- C é o coeficiente minorante devido à presença de cortina de ar ou lamelas ($C = 1$ porta sem cortina de ar ou lamelas; $C = 0,25$ porta com cortina de ar ou lamelas);
- v_i e v_e são os volumes específico do ar interior e exterior respectivamente (m³/kg);
- h_e e h_i são as entalpias do ar exterior e interior respectivamente (kJ/kg);

O tempo de abertura da porta é obtido pela equação 27 [17].

$$t_{ab} = d_{ton} \times \frac{f_d}{24} \quad (27)$$

Onde:

- d_{ton} é a duração média da abertura de portas para permitir a passagem de uma tonelada de produto (min/ton);
- f_d é o fluxo diário de produto (ton/dia);

A duração média da abertura de porta pode ser obtida com base na tabela 10.

Tabela 10 - Duração média da abertura de portas (Fonte: Guerra, 2010).

Tipo de porta	Tipo de produto	d_{ton} (min/ton)
Porta manual	Carcaças de animais suspensas	15
	Produtos paleteados	6
Porta automática	Carcaças de animais suspensas	1
	Produtos paleteados	0,8

II. Carga térmica devido à renovação do ar no espaço refrigerado;

A carga térmica devido à renovação de ar é calculada com base na equação 28 [17].

$$\dot{Q}_{renv} = \frac{n \times V}{v_e \times 24 \times 3600} \times \Delta h \quad (28)$$

Onde:

- \dot{Q}_{renv} é a carga térmica devido á remoção do ar no espaço refrigerado (kW);
- \dot{m} é o caudal mássico de ar exterior que entra no espaço refrigerado (kg/s);
- Δh é a diferença de entalpias entre o ar exterior e do espaço refrigerado (kJ/kg);
- v_e é o volume específico do ar exterior (m^3/Kg);
- V é o volume interior do espaço refrigerado (m^3);
- n é a taxa de renovação do ar;

Em câmaras frigoríficas a taxa de renovação do ar depende da movimentação de produtos, máquinas e pessoas entre o exterior e o interior, sendo calculada através equação 29 [17].

$$n = \frac{70}{\sqrt{V}} \quad (29)$$

4.1.5. Carga térmica dos componentes dos evaporadores

Os ganhos de calor associados à operação do equipamento de refrigeração consistem essencialmente no seguinte [5]:

- Ventiladores dos evaporadores.
- O calor da descongelação das serpentinas dos evaporadores que operam a uma temperatura abaixo de zero, dado que estas deve ser descongelada periodicamente, independentemente da temperatura ambiente (quando os evaporadores estiverem equipados com dispositivos de descongelação, o calor gerado deve ser determinado). Poucos dados estão disponíveis para prever o ganho de calor da descongelação das serpentinas.

As cargas térmicas devido às resistências de descongelação das serpentinas e dos ventiladores dos evaporadores são calculadas pelas equações 30 e 31 respectivamente [17].

$$\dot{Q}_{desc} = n_{ev} \times q_{res} \times \frac{t_{desc}}{24} \quad (30)$$

$$\dot{Q}_{ven} = n_{ven} \times q_{ven} \times \frac{t_{ven}}{24} \quad (31)$$

Onde:

- \dot{Q}_{desc} e \dot{Q}_{ven} são a carga térmica devido às resistências de descongelação das serpentinas e dos ventiladores dos evaporadores respectivamente (W);
- n_{ev} e n_{ven} São o número de evaporadores e ventiladores no interior da câmara frigorífica respectivamente (W);
- q_{res} e q_{ven} são o calor libertado pelas resistências e pelos ventiladores respectivamente (W);
- t_{desc} e t_{ven} são o tempo de descongelação das serpentinas e de funcionamento dos ventiladores respectivamente;

4.2. Carga térmica provisória das câmaras frigoríficas

Os cálculos da carga térmica foram efectuados por intermédio do Excel, conforme o anexo 7, seguindo a metodologia apresentada no subcapítulo 4.1, tendo sido obtidos os resultados da tabela 11.

Como a instalação é composta por câmaras frigoríficas idênticas os cálculos são efectuados para uma delas, sendo os resultados aplicados a ambas.

Tabela 11 - Resumo das Cargas térmicas provisórias calculadas de cada câmara frigorífica

Tipos de cargas térmicas	Valores [W]	Valores [%]
Carga térmica transmissão	19 479,58	21,45
Carga térmica do produto	56 879,17	62,63
Carga térmica interna	6 189,44	6,82
Carga térmica de renovação e abertura de portas	8 265,64	9,10
Carga térmica intermédia	90 813,83	100,00

Para avaliar a consistência dos resultados da carga térmica obtidos por intermédio do Excel determinou-se a carga térmica através do software de cálculo de carga térmica da Centauro, denominado CalCam Quíron, cujos resultados constam da tabela 12, sendo a simulação apresentada no anexo 8.

Tabela 12 - Resumo das cargas térmicas de cada câmara frigorífica com recurso ao software CalCam Quíron

Tipos de cargas térmicas	Valores [W]	Valores [%]
Carga térmica transmissão	16 281,70	20,29
Carga térmica do produto	48 924,42	60,96
Carga térmica interna	6 771,66	8,44
Carga térmica de renovação e abertura de portas	8 278,55	10,32
Carga térmica intermédia	80 256,33	100,00

A tabela 13 sintetiza a comparação, dos resultados obtidos das cargas térmicas da câmara frigorífica através de cálculos e através do software. Deve verificar-se que, será comparativamente mais adequado e conservador a utilização dos resultados obtidos pelos cálculos.

Tabela 13 - Comparação dos resultados obtidos das cargas térmicas de cada câmara frigorífica obtidos através de cálculos e através do software.

Tipos de cargas térmicas	Valores [W]		Desvio	
	Cálculo	Software	[W]	[%]
Carga térmica transmissão	19 479,58	16 281,70	3 197,88	16,42
Carga térmica do produto	56 879,17	48 924,42	7 954,75	13,99
Carga térmica interna	6 189,44	6 771,66	582,22	9,41
Carga térmica de renovação e abertura de portas	8 265,64	8 278,55	12,91	0,16
Carga térmica intermédia	90 813,83	80 256,33	10 557,50	11,63

Os valores apresentados na tabela indicam o seguinte:

- I. A carga térmica do produto obtida através dos cálculos é consideravelmente superior ao do software. Contudo era de esperar que os resultados fossem semelhantes uma vez que os dados de cálculo, nomeadamente a quantidade de produto e o salto térmico são os mesmos. Por outro lado, os valores de calor específico aplicados são diferentes, o que pode justificar parcialmente a diferença de resultados. Nos cálculos o valor do calor específico implementado é de 2,19 kJ/kg.°C que é um valor realístico de uma das espécies do atum, e no software constatou-se que foi implementado o valor de calor específico de aproximadamente 1,88 kJ/kg.°C, correspondendo a uma diferença de aproximadamente 14%, o que se reflecte numa diferença da mesma ordem nos valores da carga térmica do produto. Da bibliografia consultada consta que o valor médio do calor específico nas condições consideradas é de 1,80 kJ/kg.°C para o peixe magro e 1,59 kJ/kg.°C para o peixe gordo [14].
- II. A carga térmica de transmissão de calor pelo isolamento obtida através dos cálculos é superior ao do software. Os resultados apresentados pelo software evidenciam que o valor da condutibilidade térmica implementado no software é menor ao que foi

aplicado nos cálculos, dado que as espessuras e áreas das paredes, tecto e pavimento, assim como o salto térmico são os mesmos. Isto prende-se com o facto do valor da condutibilidade térmica aplicado nos cálculos ter tido em consideração valores específicos consultados em catálogos, que podem diferir dos aplicados no software;

- III. A carga térmica interna apresenta uma diferença de 9,41 % motivada pela diferença da densidade de iluminação. Nos cálculos foi de 6 W/m^2 , enquanto que no software foi de 12 W/m^2 dado que por imposição do software esse valor não pode ser inferior a $10,8 \text{ W/m}^2$, tendo sido atribuído o valor de 12 W/m^2 ;
- IV. A carga térmica devido aos restantes elementos, nos quais os pressupostos não foram exactamente os mesmos, nomeadamente as cargas térmicas devido à entrada de ar nas câmaras frigoríficas por renovação e abertura de portas apresentam valores com diferenças desprezáveis, pelo que a sua influência no global não é significativa, podendo ser assumido que os valores são semelhantes;

Dos pontos supracitados pode-se concluir que os resultados obtidos nos cálculos são consistentes. A carga térmica definitiva e a potência prevista da instalação serão obtidas após a selecção do modelo dos evaporados que serão implementados na câmara frigorífica, dado que cada modelo apresenta as suas características próprias relativamente ao número e carga térmica dos ventiladores e do sistema de descongelamento.

4.3. Selecção dos componentes da instalação frigorífica e determinação da carga térmica definitiva das câmaras frigoríficas

Para o processo de selecção de componentes é indispensável contar com bons catálogos actualizados, dos diferentes elementos de refrigeração existentes no mercado. Alguns fabricantes desenvolveram software para selecção de componentes que tornam mais fácil essa tarefa.

Os evaporadores foram seleccionados com recurso ao software CalCam Quíron (Centauro Heat Load Calculation Software), os condensadores foram seleccionados com recurso ao software CProSelect Quíron v.2.0.0 (Centauro Products Selection Software). A selecção dos compressores foi efectuada recorrendo ao software da BITZER v6.6.0 rev1735 (disponível em www.bitzer.de/websoftware)

São seleccionadas unidades de modo a que haja um número de unidades superior a uma, para possibilitar a manutenção de uma unidade em caso de uma grande falha, de modo a poder-se operar a instalação a uma temperatura razoável enquanto a unidade é reparada. Isso permitira o funcionamento da instalação num sistema centralizado com múltiplas unidades com a vantagem de se poder adaptar à necessidade de acordo com a operação e tornar também mais barata a operação [22].

4.3.1. Selecção dos evaporadores, cálculo da carga térmica e potência frigorífica definitiva

4.3.1.1. Selecção dos evaporadores

Para a selecção dos evaporadores recorreu-se aos catálogos da Centauro e ao software CalCam Quíron (Centauro Heat Load Calculation Software), donde foi seleccionado o modelo DDC/E 8T2/80, cujas características são apresentadas na tabela 14 e a imagem é apresentada na figura 26 do qual são necessários 6 evaporadores para satisfazer a carga térmica da câmara frigorífica. Como já foi referido anteriormente a instalação é constituída por 2 câmaras frigoríficas idênticas, desta feita serão constituídas por um número idêntico de evaporadores.

Tabela 14 - Características do evaporador seleccionado

Modelo do evaporador	DDC/E 8T2/80
Capacidade frigorífica (DT=8) por unidade	79 690 W
Capacidade corrigida (DT=5) por unidade	37 711,08 W
Proiecção do ar	39 m
Potencia das resistências por evaporador	37 950 W
Potência dos ventiladores por evaporador	3 600 W
Número de evaporadores	6



Figura 26 - Evaporador Centauro – DDC/E 8T2/80

4.3.1.2. Cálculo da carga térmica e potência frigorífica definitiva.

Para o cálculo da carga térmica definitiva é necessário o conhecimento dos ganhos de calor associados aos evaporadores e consistem basicamente na carga térmica dos ventiladores e das resistências de descongelação das serpentinas dos evaporadores.

Conforme o modelo do evaporador DDC/E 8T2/80 seleccionado é possível calcular a carga térmica devido aos ventiladores e às resistências de descongelação dos evaporadores, apresentada na tabela 15. Para esse efeito foi considerado que a descongelação de cada evaporador ocorre 4 vezes ao dia com duração média de 30 minutos cada, porém essa duração poderá ser alterada caso a sonda de fim da descongelação atinja o ponto prévio programado encurtando a duração média da descongelação; o tempo de funcionamento dos ventiladores é estimado em 22 horas diárias.

Tabela 15 – Cálculo das cargas térmicas devido aos ventiladores e às resistências de descongelação dos evaporadores em cada câmara frigorífica.

Carga térmicas do evaporador	Valores [W]
Cargas térmicas dos ventiladores	19 800
Cargas térmicas de descongelação	18 975
Total	38 775

A carga térmica definitiva conta com a contribuição da carga térmica dos evaporadores e é apresentada na tabela 16.

Tabela 16 - Resumo das cargas térmicas e potência frigorífica definitivas calculadas de cada câmara frigorífica.

Tipos de cargas térmicas	Valores [W]	Valores [%]
Carga térmica transmissão	19 479,58	15,03
Carga térmica do produto	56 879,17	43,89
Carga térmica interna	44 964,44	34,70
Carga térmica do ar por renovação e abertura de portas	8 265,64	6,38
Carga térmica total da câmara frigorífica	129 588,83	100,00

Dos valores apresentados na tabela 16 constata-se que a carga térmica da câmara frigorífica subiu dos 90 813,83 W para 129 588,83 W, perfazendo uma diferença de 38 775,00 W. Tal diferença demonstra que o calor gerado pelos evaporadores é significativo na carga térmica da câmara frigorífica. A carga térmica de descongelação dos evaporadores para além de afectar significativamente a carga térmica tem influência no tempo de disponibilidade da instalação, dado que quando se efectua este ciclo não se gera frio.

A partir da carga térmica definitiva calculada determina-se a potência frigorífica intermédia e previsionial da instalação apresentada na tabela 17, considerando o tempo de funcionamento dos compressores de 16 horas diárias obteve-se a potência intermédia e por conseguinte aplicando uma margem de segurança de 10% obteve-se a potência previsionial.

Tabela 17 - Potência frigorífica de cada câmara frigorífica

Potência frigorífica	Valores [W]
Intermédia	194 383,24
Previsional	213 821,56

O resumo da carga térmica total da câmara frigorífica com recurso ao software CalCam Quíron é apresentado na tabela 18, e a simulação é apresentada no anexo 8. É de salientar que no software foi seleccionado o mesmo modelo e quantidade de evaporadores (modelo DDC/E 8T2/80).

Tabela 18 - Resumo das cargas térmicas de cada câmara frigorífica com recurso ao software CalCam Quíron

Tipos de cargas térmicas	Valores [W]	Valores [%]
Carga térmica transmissão	16 281,70	15,80
Carga térmica do produto	48 924,42	44,22
Carga térmica interna	43 746,66	33,55
Carga térmica de renovação e abertura de portas	8 278,55	0,42
Carga térmica total da câmara frigorífica	117 231,33	100,00

Com os valores apresentados na tabela 18 constata-se que a carga térmica da câmara frigorífica subiu dos 80 256,33 W para 117 231,33 W perfazendo uma diferença de 36 975,00 W. Com os resultados obtidos pelos cálculos e pelo software conclui-se que o calor gerado pelos evaporadores na câmara frigorífica apresenta uma diferença muito pequena da ordem de 4,6 %. Tal evidencia a coerência dos cálculos, pelo que os valores obtidos nos cálculos consideram-se válidos para a selecção dos outros componentes da câmara frigorífica.

A potência frigorífica intermédia e previsiona da instalação com recurso ao software CalCam Quíron é apresentada na tabela 19, onde é considerado que o tempo de marcha dos compressores é de 16 horas diárias e a margem de segurança de 10 %.

Tabela 19 - Potência frigorífica de cada câmara frigorífica com recurso ao software CalCam
Quíron

Potência frigorífica	Valores [W]
Intermédia	175 846,99
Previsional	193 431,69

A tabela 20 apresenta a comparação dos resultados das potências frigoríficas obtidas através dos cálculos e através do software.

Tabela 20 - Comparação dos resultados obtidos das cargas térmicas da câmara frigorífica através dos cálculos e através do software

Potências frigoríficas	Valores		Desvio	
	De cálculo [W]	De Software [W]	[W]	[%]
Potência frigorífica intermédia	194 383,24	175 846,99	18 536,25	9,54
Potência frigorífica previsional	213 821,56	193 431,69	20 389,88	9,54

Dos valores apresentados na tabela constata-se que os resultados obtidos através de cálculos e através do software apresentam uma diferença pequena, devido principalmente as razões mencionadas no subcapítulo 4.2 e pela diferença dos pressupostos considerados nos períodos de descongelação considerados. Portanto pode se concluir que os resultados obtidos nos cálculos são consistentes.

Para as duas câmaras frigoríficas a potência da instalação é de 427, 6 kW (2 x 213 821,56 W)

4.3.2. Parâmetros operacionais do sistema de refrigeração e selecção do compressor

Os parâmetros operacionais principais a serem considerados para o efeito de selecção do compressor são:

- Temperatura de condensação (T_k);
- Temperatura de evaporação do fluido frigorigéneo (T_E);

4.3.2.1. Temperatura de condensação

A temperatura de condensação é calculada com base na equação, 32 [21].

$$T_k = T_e + \Delta T_K \quad (32)$$

Onde:

- T_k é temperatura de condensação;
- T_e é temperatura (do ar ou água) na entrada do condensador;
- ΔT_K é salto térmico do condensador;

Os valores recomendados de saltos térmicos (ΔT) para condensadores a ar variam de 10 a 20 °C e para condensadores a água os valores mais frequentes variam entre 13 e 15 °C [21]. Considerando que os condensadores são a ar e um salto térmico (ΔT) de 10 °C, obtém-se:

$$T_k = 35 + 10 = 45 \text{ °C}$$

4.3.2.2. Temperatura de evaporação

A temperatura de evaporação é calculada com base na equação 33 [21].

$$T_E = T_c - \Delta T_E \quad (33)$$

Onde:

- T_E é temperatura de evaporação do fluido frigorífero;
- T_c é temperatura do ar a entrada do evaporador;
- ΔT_E é salto térmico do evaporador;

A temperatura do ar a entrada do evaporador geralmente é considerada igual à temperatura da câmara frigorífica ou de conservação do produto. Por motivos económicos a diferença de temperatura de 5 °C é a mais prática e confere humidade relativa de cerca de 85-90 % [22].

Considerando o salto térmico ($T\Delta$) de 5 °C, obtém-se:

$$T_E = -30 - 5 = -35 \text{ °C}$$

A pressão da evaporação será conhecida, consoante o fluido frigorífero à temperatura de evaporação considerada

4.3.2.3. Selecção do compressor

Para a selecção dos compressores recorreu-se ao software da BITZER v6.6.0 rev1735. Os dados de entrada para seleccionar o compressor conforme o software e os respectivos valores considerados são os seguintes:

- A gama de temperatura: baixas temperaturas (abaixo de 0°C);
- Tipo de compressor: Parafuso aberto;
- Temperatura de condensação: 45 °C;
- Temperatura de evaporação: -35 °C;
- Temperatura da câmara frigorífica: -30 °C;
- Fluido frigorígeno: R404A;
- Capacidade frigorífica necessária: 427,6 kW (2 x 213 821,56 W);
- Sobreaquecimento do vapor: 5 °C;
- Subarrefecimento do líquido: 5 °C;

Da implementação dos dados no software foi possível seleccionar o modelo OSN8591-K, cujas características nas condições de selecção são apresentadas na tabela 21 e a imagem é apresentada na figura 27, do qual são necessários 5 compressores para satisfazer a potência frigorífica necessária das 2 câmaras frigoríficas.

Tabela 21 - Capacidade frigorífica do compressor do modelo OSN8591-K

Parâmetros	Valores
Etapas de capacidade	50-75-100 %
Capacidade Frigorífica	92,2 kW
Potência do veio	98,9 kW

A capacidade frigorífica total dos compressores implementados é de 461 kW, o que corresponde a média de 38,42 kW por cada um dos 12 evaporadores.



Figura 27 – Compressor Bitzer de parafuso aberto modelo OSN

4.3.3. Selecção do condensador

Para selecção do condensador tem-se em conta que a potência do condensador será a soma da potência frigorífica dos evaporadores ou dos compressores e do veio dos compressores implementados na instalação frigorífica, sendo necessário nalguns casos, quando aplicável adicionar a potência necessária para subarrefecer o líquido à saída do condensador e sobreaquecer o vapor à saída do evaporador, conforme a equação 34 [21].

$$P_{cond} = P_f + P_v + P_{sub} + P_{sup} \quad (34)$$

Onde:

- P_{cond} é a potência do condensador;
- P_f é a potência frigorífica do compressor;
- P_v é a potência consumida pelo compressor;
- P_s é a potência necessária para o subarrefecimento após o condensador;
- P_{sup} é a potência necessária para sobreaquecer o vapor à saída do evaporador;

Sendo: $P_s = P_{sup} = 0$

A potência total necessária dos condensadores será:

$$P_{cond} = 5 * (92,2 + 98,9) = 955,5 \text{ kW}$$

Para a selecção dos condensadores recorreu-se ao software CProSelect Quíron v.2.0.0 (Centauro Products Selection Software), tendo em conta os seguintes dados de entrada:

- Salto térmico: 10 °C;
- Temperatura ambiente: 35 °C;
- Fluido frigorigéneos: R404A;

Da implementação dos dados no software foi possível seleccionar o modelo EVOD/M-1091/897Y, cujas características são apresentadas na tabela 22 e a imagem é apresentada na figura 28, do qual são necessários 2 condensadores para satisfazer a potência frigorífica necessária.

Tabela 22 – Potência do condensador do modelo EVOD/M-1091/897Y

Parâmetros	Valores
Potência nominal (DT=15)	735,30 kW
Potência corrigida (DT=9,75)	490,20 kW

A capacidade frigorífica total dos condensadores implementados é de 980,4 kW



Figura 28 – Condensador Centauro modelo EVOD

Salienta-se que o modelo de condensador EVOD/M-1091/897Y pode funcionar como o modelo EVOD/M-1091/897T mediante a troca de ligações eléctricas dos motores passando de estrela (Y), para triângulo (T), ocasionando aumento de velocidade dos ventiladores e por

consequente o aumento do caudal de ar. A prioridade de funcionamento é definida para o funcionamento em modelo EVOD/M-1091/897Y, passando a funcionar como EVOD/M 1091/897T no caso de sobrecarga dos condensadores, facto que acarreta maior consumo de energia eléctrica. Considerando as condições de selecção definidas, para o funcionamento em modelo EVOD/M-1091/897T proporciona-se um salto térmico mais baixo conforme pode se verificar na tabela 23.

Tabela 23 – Potência do condensador do modelo EVOD/M-1091/897T

Parâmetros	Valores
Potência nominal (DT=15)	897,44 kW
Potência corrigida (DT= 7, 9)	598,29 kW

4.3.4. Selecção da válvula de expansão.

Para a selecção da válvula de expansão recorreu-se ao software coolselector®2 da Danfoss, que permite a selecção de componentes com base em vários parâmetros de decisão, como a capacidade de refrigeração, fluido frigorífero, temperatura de evaporação e condensação e outras variáveis críticas em sistemas de refrigeração comuns.

A solução encontrada é a válvula de expansão electrónica AKV15-3 que controlará a injeção do líquido no evaporador combinando as funções da válvula de expansão e da válvula solenóide. A válvula abre e fecha usando sinais do controlador. O processo da selecção e as características da válvula são apresentados no anexo 9.2.

4.3.5. Dimensionamento e selecção dos depósitos de líquido.

Para o dimensionamento dos depósitos de líquido recorreu-se ao digrama de dimensionamento de depósitos de líquido da Bitzer, no qual em função da capacidade da instalação (kW) pode se estimar o volume do depósito em dm³.

Do dimensionamento através do diagrama (anexo 9.3) obteve-se o volume de depósito de 420 dm³, correspondente a potência frigorífica de cada câmara frigorífica. Desta feita seleccionou-se dois depósitos verticais do modelo FS4752 da Bitzer com capacidade de 473 dm³ cada (anexo 9.3).

4.3.6. Resumo dos componentes previstos e esquema da instalação frigorífica.

Os equipamentos previstos para a instalação frigorífica consistem dos componentes anteriormente seleccionados, nomeadamente evaporadores, compressores, condensadores e válvulas de expansão, cujos modelos e quantidade são apresentados na tabela 24. A figura 29 representa a distribuição da potência dos equipamentos seleccionados conforme a potência total de cada tipo de equipamento, onde constata-se que há equilíbrio de potência entre os mesmos. Os compressores são previstos a serem instalados na sala de máquinas e os condensadores associados, no piso 1 situado na área por cima da casa de máquinas e escritórios.

Tabela 24 - Componentes da instalação frigorífica previstos

Componentes	Quantidade	Modelo	Potência (kW)	Condições
Evaporadores	12	DDC/E 8T2/80	37,711 08	$\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
Compressores	5	OSN8591-K	92,2 (Frigorífica)	100 %
	+1 (reserva)		98,9 (Veio)	
Condensadores	2	EVOD/M-1091/897Y	490,20 kW	$\Delta T = 9,75 \text{ }^\circ\text{C}$
Válvula de expansão	12	AKV15-3	37,769 9	79 %

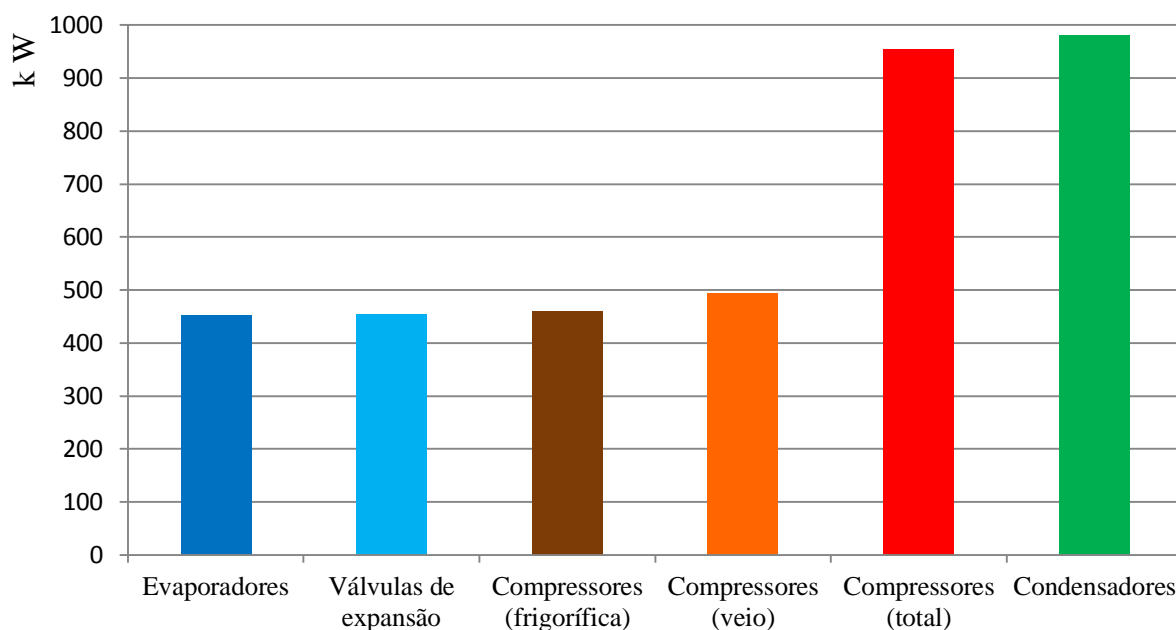


Figura 29 - Distribuição da potência dos equipamentos da instalação frigorífica

Com base nos equipamentos apresentados na tabela 24, adoptando se o esquema de ligação de componentes principais constituintes do ciclo frigorífico representado na figura 31, existe a possibilidade de se adaptar o funcionamento da instalação conforme a demanda. Através da gestão técnica e controladores pode se definir os compressores colocados em funcionamento, seu estágio de potência e o respectivo circuito da câmara frigorífica em operação.

O diagrama do ciclo termodinâmico do sistema de refrigeração da instalação consiste da figura 30, obtida através do software SOLKANE 8. O diagrama representa às evoluções termodinâmicas do fluido frigorígeno ao longo do ciclo teórico em consonância com as condições consideradas na selecção dos componentes de refrigeração.

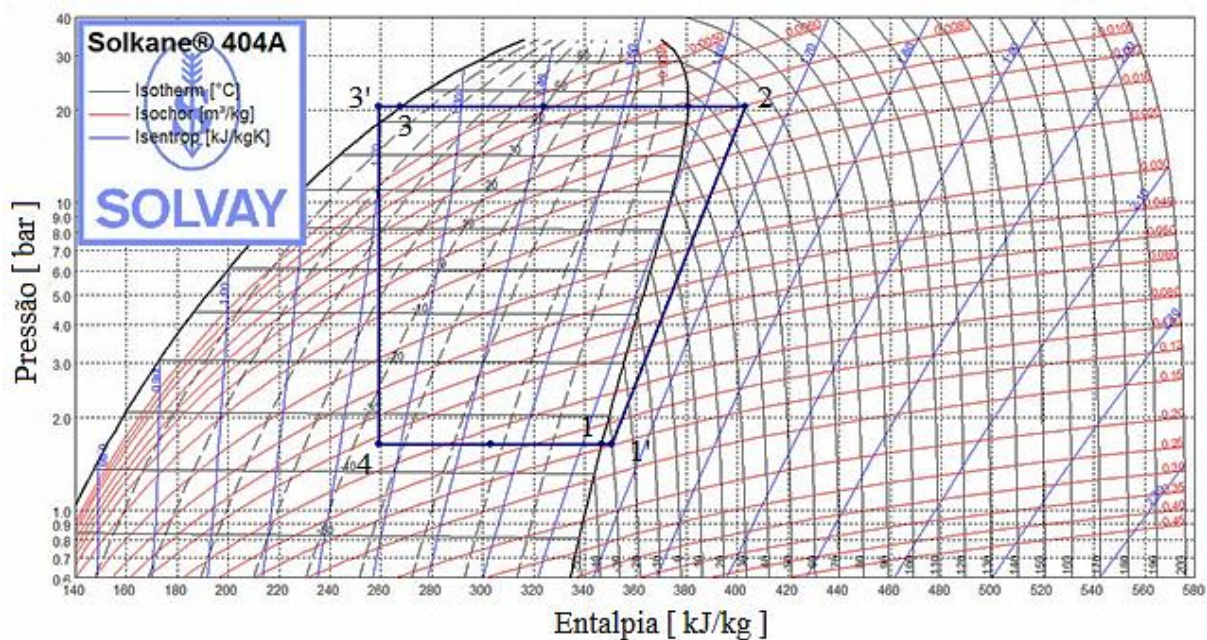


Figura 30 - Diagrama do ciclo termodinâmico do sistema de refrigeração

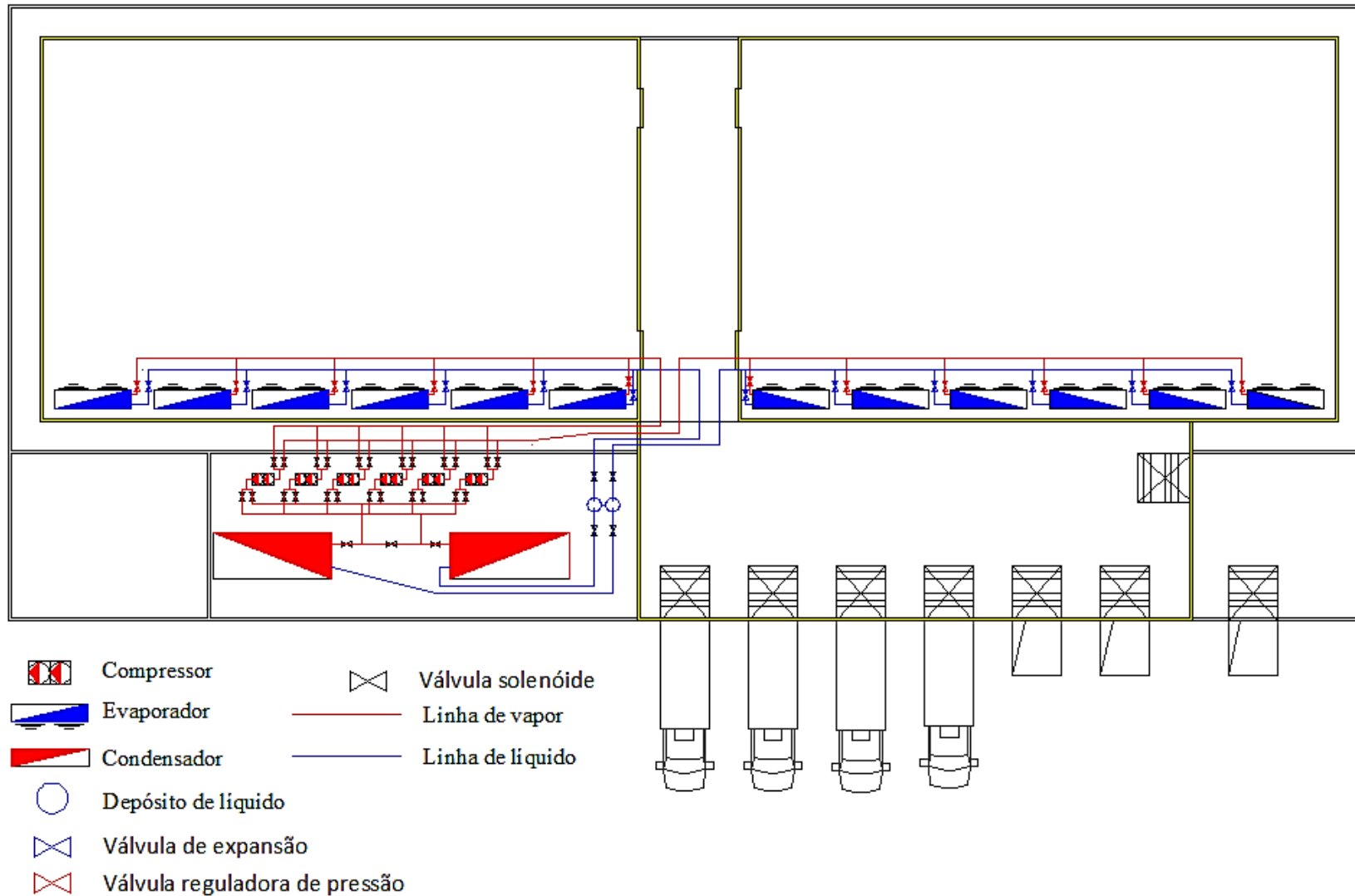


Figura 31 - Esquema de ligação dos principais componentes do ciclo de refrigeração

5. CONTROLO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

5.1. Controlo do condensador

O controlo do condensador consiste em:

- Manter a pressão de condensação acima do valor mínimo aceitável para garantir o caudal suficiente através dos dispositivos de expansão;
- Assegurar uma distribuição correta do fluido frigorigéneo pelo sistema;
- Executar a operação on/of (liga/desliga) ou o controle de velocidade dos ventiladores do condensador;

5.2. Controlo do Compressor

O controlo do compressor consiste em:

- Controlar a capacidade do compressor de acordo com a carga de refrigeração através do desvio do gás quente do lado de alta pressão, de volta para o lado baixa pressão, ou controlo on/off (liga/desliga) de estágios do compressor ou ainda controlando a velocidade de rotação do compressor;
- Manter as pressões, temperaturas na sucção e descarga do compressor dentro da faixa de trabalho;

5.3. Selecção do controlador da central.

A solução encontrada de controlo é mediante o controlador AKPC780 da Danfoss que consiste numa unidade reguladora completa para controlo de capacidade de compressores e condensadores e inclui também o controlo do óleo.

Tanto a aspiração como a condensação são controladas por transdutores de pressão P_0 (instalado no colector de aspiração) e P_c (instalado no colector de descarga) respectivamente. O controlo da capacidade pode ser realizado por pressão de aspiração (P_0) ou mediante sensores de temperatura localizados no fluxo de ar após o evaporador (S_s). O exemplo elucidativo da colocação das sondas necessárias para o controlo de capacidade é mostrado na figura 32.

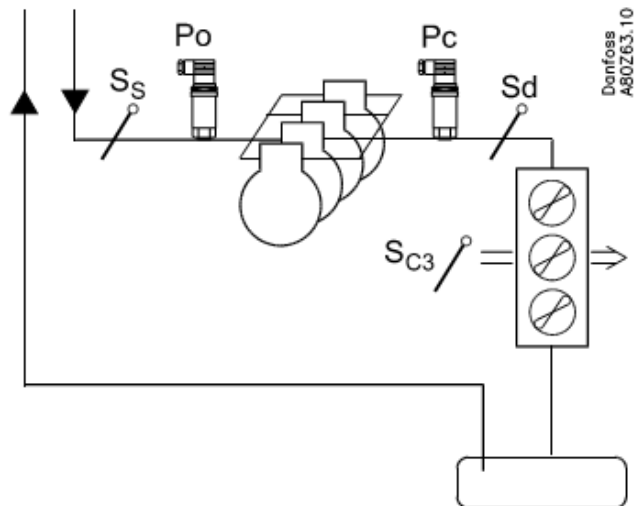


Figura 32 - Colocação das sondas mediante o controlador AKPC780

Onde:

- Sd é a sonda de temperatura descarga;
- S_S é a sonda de temperatura aspiração;
- S_{C3} é a sonda de temperatura do ar a entrada do condensador;

Entre as diferentes funções do controlador da central destacam-se:

- Controle de capacidade de até 8 compressores;
- Controle de capacidade dos condensadores de até 8 estágios de ventilação;
- Monitorização de segurança dos ventiladores;
- Gestão de óleo, compartilhado ou individual para todas as válvulas de óleo do compressor e controle de pressão do receptor ou colecter;

O controlador deverá ter o número exigido de contactos para o número de ventiladores e reservas (slaves), que controlarão o arranque e paragem dos ventiladores. No caso dos condensadores seleccionados optou-se em 10 estágios, sendo cada um composto por 2 ventiladores.

5.4. Controlo da Temperatura das câmaras frigoríficas

A solução encontrada para o controlo de temperatura é o controlador AKCC550, que manterá a temperatura no nível desejado, controlando a abertura da válvula AKV seleccionada (AKV15-3), e controlando também a pressão de evaporação para que corresponda à temperatura e carga de refrigeração necessária, assim como controlará todas as funções do evaporador incluindo o termóstato (descongelação) e alarmes. A figura 33 ilustra a forma de controlo de temperatura em relação ao salto térmico considerado.

Esta solução controlará a temperatura do meio com uma precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$, perfazendo o diferencial térmico de 2°C . Portanto a temperatura máxima e mínima são -31 e -29°C de modo a manter uma temperatura média da câmara frigorífica de -30°C .

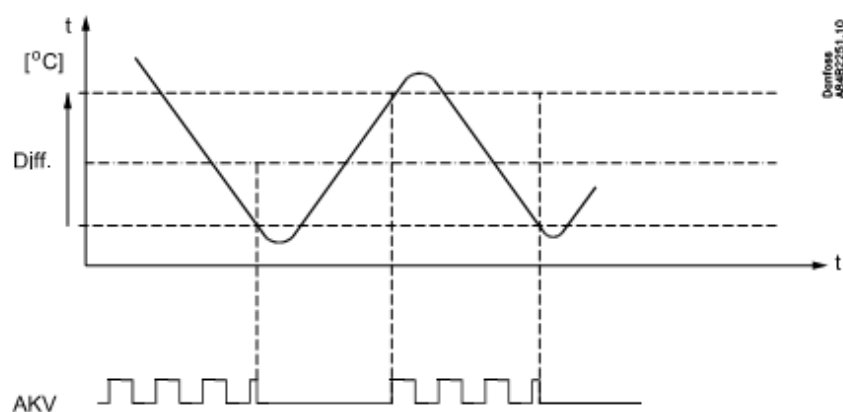


Figura 33 - Limites de controlo mediante o controlador AKCC550

A temperatura é registada por um ou dois sensores de temperatura localizados no fluxo de ar antes do evaporador (S3) ou após o evaporador (S4) respectivamente conforme apresentado na figura 34. O sensor de temperatura do produto S6 pode ser opcionalmente colocado para registar a temperatura nas proximidades do produto requerido no interior da câmara frigorífica. A temperatura do evaporador é registada pelo sensor S5. A sonda S2 regista a temperatura de superaquecimento e a sonda P controla a pressão de evaporação.

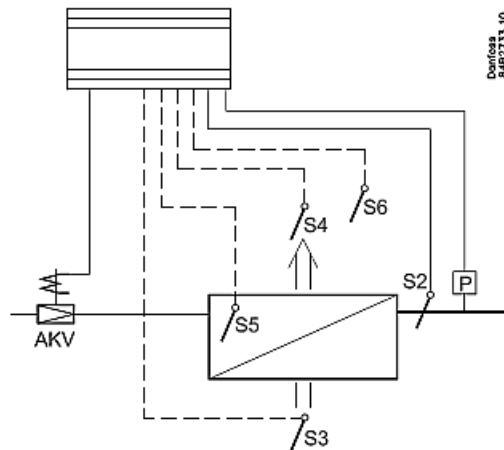


Figura 34 - Colocação das sondas mediante o controlador AKCC550

Entre as diferentes funções destacam-se:

- Descongelação adaptativa baseada no desempenho do evaporador;
- Início da descongelação por agendamento (entrada digital ou rede);
- Paragem da descongelação em função do tempo ou temperatura;

5.5. Resumo dos controladores da instalação frigorífica previstos

Os controladores previstos para a instalação frigorífica consistem nos controladores anteriormente seleccionados, nomeadamente controladores da central e de temperatura das câmaras frigoríficas cujos modelos e quantidade são apresentados na tabela 25. Os controladores são previstos a serem instalados no quadro eléctrico a ser instalado na sala de máquinas.

Tabela 25 - Controladores previstos para a instalação frigorífica

Componentes	Quantidade	Modelo
Controlador da central	2	AKPC780
Controlador de temperatura	12	AKCC550

6. CONCLUSÃO

No desenvolvimento da tese foi necessário descrever os requisitos iniciais para o dimensionamento das câmaras frigoríficas, tais como a quantidade diária (kg/dia) do atum, temperatura de entrada do atum nas câmaras, temperatura das câmaras, temperatura do interior e exterior da envolvente das câmaras, os quais foram definidos como sendo 112 200 kg/dia, -10 °C (máxima), -30 °C (mínima), 29 °C e 30 °C respectivamente, tendo como base uma série de métodos, técnicas e recomendações documentadas em diversos manuais da indústria frigorífica, assim como orientação prestada pelo supervisor e pelo co-supervisor.

As câmaras frigoríficas foram projectadas para armazenar cerca de 540 000 kg, assumindo que cada embarcação terá capacidade de produção de 75% do seu potencial (30 toneladas) e considerando que a frota em actividade é estimada em 2/3 do total (22 embarcações), dado a possíveis avarias e outros factores.

As dimensões da câmara frigorífica foram estimadas ajustando as variáveis que condicionam o plano de estiva e distribuição das paletes pela superfície das câmaras frigoríficas, de modo à atender a quantidade total de atum prevista a ser armazenada. Considerando paletes com área da base de 1,20 m x 0,80 m adoptou-se uma metodologia para estimar a capacidade unitária das paletes em função das diversas dimensões do atum, tendo sido estimada em 550 kg/paleta, com a qual foi possível determinar o número total de paletes necessárias. Partindo desse pressuposto definiu-se que são necessárias duas câmaras frigoríficas, tendo cada câmara capacidade de armazenar 510 paletes, correspondendo a 280 500 kg, com dimensões internas de 30,34 m de comprimento, 19,34 m de largura e 8,15 m de altura, as quais incluem espaços de circulação do ar e corredores de estiva por empilhador padrão.

A construção das câmaras frigoríficas é baseada em painéis sandwich de poliuretano (paredes e tecto) com uma espessura de 150 mm e consiste no método de construção estruturalmente exterior, no qual os painéis de isolamento das paredes e tecto são protegidos das intempéries. O pavimento consiste em placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido (XPS) com 160 mm de espessura. O edifício da instalação inclui um cais de carga e descarga, uma sala de máquinas e uma sala para o carregamento de baterias. A estrutura de suporte dos painéis consiste numa obra de construção civil em alvenaria ou armação metálica e fachadas.

Para a selecção dos equipamentos da instalação frigorífica determinou-se a carga térmica da instalação mediante duas metodologias, uma com base em cálculos analíticos com recurso a Excel e outra com base no simulador de cálculo de carga térmica da Centauro tendo-se constatado um desvio da ordem de 9,54 % dos valores obtidos nos cálculos analíticos em relação aos obtidos pelo software. O valor do desvio foi considerado pequeno, tendo evidenciado a coerência dos cálculos e por conseguinte a validação dos valores obtidos. Salienta-se que o desvio de valores foi motivado pela diferença dos valores de calor específico do atum implementados e pela diferença de alguns pressupostos considerados nos cálculos relativamente ao software.

A instalação frigorífica consiste num sistema centralizado, o qual é composto por 6 evaporadores do modelo DDC/E 8T2/80 da Centauro, tendo a potência unitária de 37 711,08 W, 6 compressores do modelo OSN8591-K da BITZER (um de reforço e reserva) tendo a potência frigorífica unitária de 92,2 kW e 2 condensadores do modelo EVOD/M-1091/897Y tendo a potência unitária de 490,20 kW nas condições do projecto respectivamente. O controlo da central é mediante o controlador AKPC780 da Danfoss, que consiste numa unidade reguladora completa para controlo de capacidade de compressores e inclui também o controlo de óleo.

A injeção do líquido no evaporador consiste da válvula de expansão electrónica do modelo AKV15-3, sendo o seu controlo mediante o controlador AKCC550, para manter a temperatura no nível desejado.

Dado a complexidade e extensão das áreas de conhecimento relativos ao dimensionamento de câmaras frigoríficas, a presente tese não aborda o dimensionamento na sua totalidade. Refere-se que as metas alcançadas deixam espaço aberto para trabalhos futuros nos ramos de projecto eléctrico, sistema de combate a incêndio, obra de engenharia civil, e outros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministério do Mar, Águas Interiores e Pescas. 2016. Pescaria de Atum. República de Moçambique
- [2] Graham, J. (ed.). 1984. Planning and engineering data 3. Fish freezing. FAO Fish. Circ. 771. 126pp.
- [3] Santos, F. 2008. Instalações frigoríficas. Lisboa. ISEL. 12-166 p.
- [4] Trott A. R. and Welch T. 2000, Refrigeration and Air-Conditioning, Third edition, B&H
- [5] ASHRAE.2010. Refrigeration systems and applications handbook. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [6] Stoecker, Wilbert F. 2004 – Industrial Refrigeration Handbook, McGraw-Hill
- [7] Vilain, R. 2006. Projectos de Câmaras Frigoríficas de Pequeno Porte, Apostila, CEFET/SC
- [8] Chagas, J.A.C. (2009). Projecto e construção de câmaras frigoríficas. York Refrigeration. Joinville.
- [9] Silveira P. C. 2010. De Quioto a Moçambique: Uma Análise à Implementação do Protocolo de Quioto em Moçambique, Beira
- [10] IOTC 2016. Information on Fisheries, Research And Statistics: Mozambique National Report to the Scientific Committee of the Indian Ocean Tuna Commission
- [11] Sharp, G. 1978. The Physiological Ecology of Tunas. Inter-American Tropical Tuna Commission. California
- [12] Godsil, H. C. e Holmberg, K. E. 1950. A Comparison of the Bluefin Tunas, Genus Thunnus From New England, Australia and California. Division of fish and game bureau of marine fisheries
- [13] Longliner. 2014. Manual de formação

- [14] Pohlmann L. N. 1991. Manuel Technique du Froid, Muller, Verlag C.F., Karlsruhe; PSY Edition, France
- [15] Seaton F. A. e Farley J. L. 1956. Cold storage design and refrigeration equipment: refrigeration of fish -part 1. Fishery Leaflet 427. Washington
- [16] Neto C. B. 2009. Metodologia para o cálculo da espessura de isolante necessária a uma aplicação. Volume III
- [17] Guerra, A. (2010). Balanço Térmico de Instalações Frigoríficas. Lisboa. ISEL. 20 p.
- [18] Cole, R.A. 2004. Cold storage warehouses: An engineering overview
- [19] Kolbe, E., Kramer,D. e Junker, J. 2006. Planning Seafood Cold Storage, 3rd edition, Alaska Sea Grant College Program
- [20] Myers, M., 1981. Planning and engineering data 1. Fresh fish handling. FAO Fish. Circ. 735. 64pp.
- [21] Carmona J. F. 2009. Guía práctica: Selección de los elementos de una instalación frigorífica. Edita: Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla
- [22] W.A. Johnston, F.J. Nicholson, A. Roger and G.D. Stroud. 1994. Freezing and refrigerated storage in fisheries. FAO fisheries technical paper – 340. Rome
- [23] Impacto. 2013. Projectos e estudos ambientais: Environmental and Social Study for the Maputo Gas Fired Power Plant Development. Maputo
- [24] Ministério do Mar, Águas Interiores e Pescas. 2015. Balanço analítico do plano económico e social. República de Moçambique
- [25] Monteiro V. 2015. Refrigeração II: Técnicas e Competências Ambientais. Editora: ETEP. Portugal

ANEXOS

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.- Dimensões e peso do atum

Anexo 2 - Condições de armazenamento do pescado

Anexo 3 - Características meteorológicas de Maputo

Anexo 4 - Características psicométricas do ar

Anexo 5 - Painéis e placas isotérmicas

Anexo 6 - Cálculo analítico das dimensões das câmaras frigoríficas com recurso a Excel

Anexo 7 - Cálculo analítico das cargas térmicas a Excel

Anexo 8 - Cargas térmicas e selecção dos evaporadores com recurso ao software calcam quíron

Anexo 9 - Selecção dos equipamentos da instalação frigorífica

Anexo 10 - Desenhos da câmara frigorífica em vista e corte

ANEXO 1 - DIMENSÕES E PESO DO ATUM

Tabela A1. 1 - Dimensões relativas ao comprimento, largura e a profundidade (altura) do blufin tuna (Godsil e Holmberg, 1950)

ORIGINAL MEASUREMENTS												
Body length	Head length	First dorsal insertion	Second dorsal insert.	Anal insertion	Ventral insertion	Greatest body depth	Greatest body width	Dorsal-ventral distance	Dorsal-anal distance	Legth. first dorsal base	Pectoral length	Height first dorsal
Atlantic bluefin												
1270	367	393	694	771	400	331	*235	316	491	317	265	*140
1280	373	395	693	792	432	346	245	335	497	314	*269	142
1285	376	401	706	781	415	366	256	338	505	327	266	*151
1257	364	399	703	782	416	339	*236	325	489	318	*250	149
1307	371	399	712	792	413	331	231	320	495	329	*257	*139
1314	386	414	*725	814	446	357	250	343	507	*325	*285	141
Australian southern bluefin												
*981	295	309	554	614	347	266	186	260	387	251	219	109
920	280	304	515	564	322	248	171	242	348	222	206	114
924	280	301	524	572	319	252	178	246	356	229	211	109
California bluefin												
691	214	231	409	460	241	203	140	196	298	187	128	75
723	229	246	421	470	250	210	143	199	305	189	-----	83
716	213	238	417	*460	237	192	145	188	295	189	131	*78
729	224	246	433	476	245	214	135	197	306	200	138	*79
727	219	236	421	483	246	202	146	190	305	191	143	79
718	225	238	418	480	253	210	146	200	303	188	130	84
638	197	207	370	421	219	179	*114	168	269	170	114	58
637	196	213	366	418	215	177	123	170	262	160	107	76
628	194	206	370	412	214	171	117	164	262	171	*119	71
666	199	218	387	437	226	181	117	176	279	178	118	71
659	200	216	383	435	223	179	121	171	274	173	116	68
655	195	218	375	427	221	189	118	177	270	166	124	74
665	206	226	385	437	226	180	118	176	272	168	117	72
888	263	284	501	570	296	250	*161	233	358	225	176	*80
716	222	233	412	472	249	208	133	194	304	184	148	-----
682	208	227	399	448	230	198	136	181	284	177	121	-----
678	210	227	390	455	237	199	125	189	285	169	133	77
629	195	213	371	412	216	173	113	165	261	167	116	66
726	225	245	429	480	253	204	133	201	298	192	142	81
753	228	253	431	489	253	215	144	208	309	188	145	*73
717	226	246	420	469	250	217	142	203	297	182	139	*70
709	217	236	407	458	242	207	140	198	294	180	*134	79
844	255	282	491	540	286	245	166	236	347	223	163	*96
707	217	233	414	464	244	206	139	196	298	188	130	*85
682	209	220	397	457	231	189	144	179	290	183	124	76

Tabela A1. 2 - Variação do peso do yellowfin tuna com o seu comprimento (Snow, 2017)

Length (cm)	Length (in)	Weight (kg)	Weight (lbs)	Length (cm)	Length (in)	Weight (kg)	Weight (lbs)
64	25	5	11	129	51	43	94
68	27	6	13	134	53	48	105
73	29	8	17	139	55	54	118
78	31	9	20	144	57	60	131
83	33	11	25	149	59	66	146
88	35	13	30	154	61	73	162
93	37	16	35	159	63	81	178
98	39	19	41	165	65	89	196
104	41	22	48	170	67	98	215
109	43	25	55	175	69	107	236
114	45	29	64	180	71	117	257
119	47	33	73	185	73	127	280
124	49	38	83	190	75	138	304

Tabela A1. 3 - Dimensões mais comuns e peso característico das espécies de atum

Espécie	Nome científico	Comprimento máximo (cm)	Peso máximo equivalente (kg)	Comprimento mais comum (cm)
Skipjack	Katsuwonus pelamis	108	32,5-34,5	40-80
Yellowfin	Thunnus albacares	208	176	60-150
Bigeye tuna	Thunnus obesus	200	170	70-150
Albacore	Thunnus alalunga	127	40	40-100

ANEXO 2 - CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO DO PESCADO

Tabela A2. 1 - Durações práticas de conservação de produtos congelados do mar em meses

(Fonte: Pohlmann 1991)

Produto	Durações de conservação em função da Temperatura		
	-18 °C	-25 °C	-30 °C
Peixe gordo	4	8	Até 12
Peixe magro	8	18	Até 24
Flatfish (Peixe chato)	10	24	> 24
Lagostas e caranguejos	6	12	Até 15
Camarão	6	12	Até 12
Amêijoas e ostras	4	10	Até 12

ANEXO 3 - CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DE MAPUTO

Tabela A3. 1 - Características Meteorológicas, de Maputo no período de 1931-1960 (Ferreira e Amorim, 1965)

108 LOURENÇO MARQUES 1931-1960

Mapa n.º 45 $\varphi=25^{\circ} 58' S$; $\lambda=32^{\circ} 36' E$; $g=9,7900 \text{ m/s}^2$; $\Delta G=2 \text{ h}$

Mês	Pressão atmosférica P (mb)		Temperatura do ar T (°)								Humidade relativa do ar U (%)		
	No local	Red. nível do mar	9 h	15 h	21 h	Mensal	Max	Min	Max	Min	9 h	15 h	21 h
Janeiro I	1005,6	1012,9	25,8	27,6	24,8	25,8	30,1	21,6	45,4	16,0	75	65	79
Fevereiro.. II	1005,8	1015,1	25,7	27,9	25,0	26,0	30,2	21,8	40,5	16,8	75	66	80
Março III	1007,7	1015,0	24,8	27,2	24,4	25,2	29,5	21,0	40,4	15,5	77	66	81
Abril IV	1009,5	1016,9	25,2	26,2	22,9	25,9	28,6	19,2	39,5	11,5	76	64	81
Maió V	1011,6	1019,0	20,5	24,1	20,4	21,6	26,9	16,3	38,2	7,9	74	60	80
Junho VI	1015,1	1022,6	17,9	21,9	18,2	19,4	24,8	14,0	34,3	7,4	73	59	80
Julho VII	1015,4	1022,9	18,8	21,6	18,0	19,1	24,6	13,6	34,5	7,2	73	59	79
Agosto VIII	1014,4	1021,8	19,3	22,6	19,1	20,2	25,6	14,8	37,9	8,8	70	60	80
Setembro .. IX	1012,2	1019,6	21,4	25,5	20,2	21,4	26,5	16,4	45,4	9,6	67	65	80
Outubro.... X	1009,8	1017,1	25,4	24,8	21,5	23,0	27,6	18,3	44,8	11,7	68	66	82
Novembro . XI	1007,5	1014,8	24,6	25,8	22,7	24,0	28,4	19,6	43,7	15,4	69	67	80
Dezembro.. XII	1006,0	1015,5	25,5	27,1	24,0	25,2	29,5	20,8	44,3	15,7	71	66	80
Ano.....	1010,0	1017,4	22,6	25,0	21,8	22,9	27,7	18,1	45,4	7,2	72	65	80

ANEXO 4 - CARACTERÍSTICAS PSICOMÉTRICAS DO AR

Barometric pressure based on:

Elevation (meters)

Actual Pressure (kPa)

Actual Pressure (mm Hg)

Enter Value:

Humidity measured as:

RH (%)

Wet Bulb (°C)

Dew Point (°C)

Value:

Enter Dry Bulb Temperature:

(°C)

Calculate a wind chill based on a Wind Speed of m/s

Calculate Psychrometric Properties

Results are within the scope of ANSI/ASHRAE 41.6-1994

Chart Properties

Barometric Pressure (kPa)	Dry Bulb (°C)	Wet Bulb (°C)	Dew Point (°C)	Enthalpy (kJ / kg _a)	Relative Humidity (%)	Humidity Ratio (kg _v / kg _a)	Moist Air Specific Volume (m ³ / kg _a)
<input type="text" value="101.8"/>	<input type="text" value="-30"/>	<input type="text" value="-30.2"/>	<input type="text" value="-30.8"/>	<input type="text" value="-29.67"/>	<input type="text" value="90"/>	<input type="text" value="0.00021"/>	<input type="text" value="0.686"/>

Figura A4. 1 - Características psicrométricas do ar interior da câmara frigorífica

Barometric pressure based on:

Elevation (meters)

Actual Pressure (kPa)

Actual Pressure (mm Hg)

Enter Value:

Humidity measured as:

RH (%)

Wet Bulb (°C)

Dew Point (°C)

Value:

Enter Dry Bulb Temperature:

(°C)

Calculate a wind chill based on a Wind Speed of m/s

Calculate Psychrometric Properties

Results are within the scope of ANSI/ASHRAE 41.6-1994

Chart Properties

Barometric Pressure (kPa)	Dry Bulb (°C)	Wet Bulb (°C)	Dew Point (°C)	Enthalpy (kJ / kg _a)	Relative Humidity (%)	Humidity Ratio (kg _v / kg _a)	Moist Air Specific Volume (m ³ / kg _a)
<input type="text" value="101.8"/>	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="29.1"/>	<input type="text" value="27.4"/>	<input type="text" value="94.66"/>	<input type="text" value="65"/>	<input type="text" value="0.02318"/>	<input type="text" value="0.901"/>

Figura A4. 2 - Características psicrométricas do ar ambiente.

Barometric pressure based on:

Elevation (meters)

Actual Pressure (kPa)

Actual Pressure (mm Hg)

Enter Value:

Humidity measured as:

RH (%)

Wet Bulb (°C)

Dew Point (°C)

Value:

Enter Dry Bulb Temperature:

(°C)

Calculate a wind chill based on a Wind Speed of m/s

Calculate Psychrometric Properties

Clear Pressure

Clear Temperatures

Clear Result Table

Clear All

Results are within the scope of ANSI/ASHRAE 41.6-1994

Chart Properties

Barometric Pressure (kPa)	Dry Bulb (°C)	Wet Bulb (°C)	Dew Point (°C)	Enthalpy (kJ / kg _a)	Relative Humidity (%)	Humidity Ratio (kg _v / kg _a)	Moist Air Specific Volume (m ³ / kg _a)
<input type="text" value="101.8"/>	<input type="text" value="29"/>	<input type="text" value="23.8"/>	<input type="text" value="21.8"/>	<input type="text" value="70.89"/>	<input type="text" value="65"/>	<input type="text" value="0.01634"/>	<input type="text" value="0.874"/>

Figura A4. 3 - Características psicométricas do ar da envolvente da câmara frigorífica

Barometric pressure based on:

Elevation (meters)

Actual Pressure (kPa)

Actual Pressure (mm Hg)

Enter Value:

Humidity measured as:

RH (%)

Wet Bulb (°C)

Dew Point (°C)

Value:

Enter Dry Bulb Temperature:

(°C)

Calculate a wind chill based on a Wind Speed of m/s

Calculate Psychrometric Properties

Clear Pressure

Clear Temperatures

Clear Result Table

Clear All

Results are within the scope of ANSI/ASHRAE 41.6-1994

Chart Properties

Barometric Pressure (kPa)	Dry Bulb (°C)	Wet Bulb (°C)	Dew Point (°C)	Enthalpy (kJ / kg _a)	Relative Humidity (%)	Humidity Ratio (kg _v / kg _a)	Moist Air Specific Volume (m ³ / kg _a)
<input type="text" value="101.8"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="6.5"/>	<input type="text" value="2.6"/>	<input type="text" value="21.48"/>	<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="0.00453"/>	<input type="text" value="0.804"/>

Figura A4. 4 - Características psicométricas do ar interior do cais.

ANEXO 5 - PAINÉIS E PLACAS ISOTÉRMICAS

Tabela A5. 1 - Painéis isotérmicos sandwich com núcleo de poliuretano (ISOTERME, 2017)



ESPECIFICAÇÃO DE PRODUTO

Painéis ISOTERME - PUR (Standard)

TIPO	Tipo da face exterior	Tipo da face interior	Espessuras (mm)	Largura útil (mm)	Tipo de espuma e Densidade	Material da chapa exterior	Acabamento da chapa exterior	Material da chapa interior	Acabamento da chapa interior	
S	ISO 40S L/G	NERVURADO	NERVURADO	40	1185	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço DX51D	PRELACADO	aço DX51D	GALVANIZADO
	ISO 40S L/L	NERVURADO	NERVURADO	40	1185	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço DX51D	PRELACADO	aço DX51D	PRELACADO
	ISO 60S/160S L/G	NERVURADO	NERVURADO	60-80-100-120-160	1185	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço DX51D	PRELACADO	aço DX51D	GALVANIZADO
		LISO	NERVURADO							
	ISO 60S/160S L/L	NERVURADO	NERVURADO	60-80-100-120-160	1185	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço DX51D	PRELACADO	aço DX51D	PRELACADO
		LISO	LISO							
	ISO 60S/160S P/L	NERVURADO	NERVURADO	60-80-100-120-160	1185	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço DX51D	PLASTISOL	aço DX51D	PRELACADO
		LISO	LISO							
	ISO 60S/160S I /L	NERVURADO	NERVURADO	60-80-100-120-160	1185	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço inox AISI 304	INOX	aço DX51D	PRELACADO
		LISO	LISO							
C	ISO 80C/240C L/G	NERVURADO	NERVURADO	80-100-130-150	1226	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço DX51D	PRELACADO	aço DX51D	GALVANIZADO
		LISO	LISO	180-200-220-240						
	ISO 80C/240C L/L	NERVURADO	NERVURADO	80-100-130-150	1226	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço DX51D	PRELACADO	aço DX51D	PRELACADO
		LISO	LISO	180-200-220-240						
T	ISO 55T/100T G/L	TRAPEZOIDAL	NERVURADO	55-80-100	1015	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço DX51D	GALVANIZADO	aço DX51D	PRELACADO
	ISO 55T/100T L/L	TRAPEZOIDAL	NERVURADO	55-80-100	1015	PUR-A 40Kg/m ³ ± 2	aço DX51D	PRELACADO	aço DX51D	PRELACADO

Tabela A5. 2 - Placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido (FLOORMATE 700)

PROPERTIES	STANDARD	UNIT	FLOORMATE 700
Density (minimum)	BS4370: Method 2	kg/m ³	45
Thermal conductivity (90 days, 10°C)	BS3837: Part 2: 1990 Appendix G	W/mk	0.027
Compressive strength at 10% deflection	BS4370: Method 3	kN/m ²	700
Design load for traffic	—	kN/m ²	250
Water vapour permeability (δ)	BS3837: Part 2: 1990 Appendix D	ngm/Ns	1
Water absorption	BS3837: Part 2: 1990 Appendix E	% - vol.	0.3
Size: Length	—	mm	1250
Width	—	mm	600
Temperature limits	—	°C	-50/+75
Thickness ⁽¹⁾	—	mm	50, 80
Edge profile	—	—	shiplap
Surface	—	—	skin

⁽¹⁾Special dimensions are available upon request.

ANEXO 6 - CÁLCULO ANALÍTICO DAS DIMENSÕES DAS CÂMARA FRIGORÍFICAS COM RECURSO A EXCEL

Dimensionamento das câmaras frigoríficas		Elaborado por: Dionísio Simão Nhamirre	
Folha:	1	Cálculo das dimensões da câmara frigorífica	

1.1. Características da palete

Dimensões da Palete	Símbolo	Valor	Unidade	Dado?	Calculado?
Comprimento		1,2	m	Sim	
Largura		0,8	m	Sim	
Altura		1,85	m	Sim	

1.2. Espaço de circulação do ar

Espaçamentos	Símbolo	Valor	Unidade	Dado?	Calculado?
Entre paletes		0,15	m	Sim	
Entre a palete e a parede		0,5	m	Sim	
Largura rodapé		0,02	m	Sim	
Entre paletes na altura		0,3	m	Sim	
Topo da camada e nível mais elevado		2	m	Sim	

1.3. Características das fiadas de arrumação do produto

Espaço para o produto	Símbolo	Valor	Unidade	Dado?	Calculado?
Largura das fiadas Simples (Laterais)		1,2	m		Sim
Largura das fiadas Dupla (Centrais)		2,7	m		Sim
Comprimento das fiadas (laterais)		29,3	m		Sim
Comprimento das fiadas (centrais)		25,5	m		Sim
Quantidade de fiadas centrais		2			Sim
Quantidade de fiadas Laterais		2		Sim	
Níveis de empilhamento		3		Sim	

1.4. Quantidade de paletes por fiada

Número de paletes por fiada	Símbolo	Valor	Unidade	Dado?	Calculado?
Laterais		31		Sim	
Centrais		27			Sim

1.5. Características dos corredores

Corredores para estiva	Símbolo	Valor	Unidade	Dado?	Calculado?
Largura		3,5	m	Sim	
Quantidade		3		Sim	

Corredores de acesso	Símbolo	Valor	Unidade	Dado?	Calculado?
Largura		4,32	m		Sim

1.6. Dimensões calculadas da câmara frigorífica

Dimensões da câmara frigorífica	Símbolo	Valor	Unidade	Dado?	Calculado?
Altura		8,15	m		Sim
Largura		19,34	m		Sim
Comprimento		30,34	m		Sim
Área das paredes este/oeste		157,62	m ²		Sim
Área das paredes Norte/Sul		247,27	m ²		Sim
Área do Pavimento/Tecto		586,78	m ²		Sim
Volume da câmara frigorífica		4 782,22	m ³		Sim

1.7. Capacidade da câmara frigorífica

Capacidade das câmaras frigoríficas	Símbolo	Valor	Unidade	Dado?	Calculado?
Número total de paletes		510,00			Sim
Capacidade de cada palete		550,00	kg		Sim
Capacidade de cada câmara frigorífica		280 500,00	kg		Sim
Capacidade total das câmaras frigoríficas		561 000,00	kg		Sim
Densidade das câmaras frigoríficas		58,65			Sim
Entrada diária		112 200,00			Sim

ANEXO 7 – CÁLCULO ANALÍTICO DAS CARGAS TÉRMICAS COM RECURSO A EXCEL

Dimensionamento das câmaras frigoríficas		Elaborado por: Dionísio Simão Nhamirre
Folha:	2	Carga térmica através do material de isolamento

2.1 Parâmetros de cálculo das cargas térmicas de transmissão através do material de isolamento

Parâmetros	Símbolo	Paredes/ tecto	Pavimento	Unidade
Temperatura exterior		29	20	°C
Temperatura da câmara frigorífica		-30	-30	°C
Condutividade térmica do material Isolante		0,024	0.036	W/(m °C)
Coefficientes de convecção interior		15	15	W/(m ² °C)
Coefficientes de convecção Exterior		30	.....	W/(m ² °C)
Espessura do material isolante		0,15	0.16	m
Coefficiente global de transferência de calor		0,157480315	0.221675	W/(m ² °C)

2.2. Carga térmica de transmissão através do material de isolamento

	Orientação	Ts	ΔTs	U	A	Q
		(°C)	(°C)	W/(m ² °C)	(m ²)	W
Parede	Norte	-30	59	0,15748031	247,27	2 297,47858
	Sul	-30	59	0,15748031	247,27	2 297,47858
	Este	-30	59	0,15748031	157,62	1 464,51008
	Oeste	-30	59	0,15748031	157,62	1 464,51008
Tecto	.....	-30	59	0,15748031	586,78	5 451,93077
Pavimento	.....	-30	50	0,22167488	586,78	6 503,67044
Total						19 479,5785

Dimensionamento das câmaras frigoríficas	Elaborado por: Dionísio Simão Nhamirre
Folha:	3 Carga térmica do produto

3.1. Parâmetros de cálculo da carga térmica do produto

Parâmetros	Símbolo	Valor	Unidades
Entrada do produto por dia		112 200,00	Kg/dia
Temperatura máxima de entrada do produto		-10	°C
Temperatura mínima de armazenamento		-30	°C
Calores específico abaixo de congelação		2,19	(kJ/kg.°C)

3.2. Carga térmica do produto

Carga do produto		56,879	kW
------------------	--	--------	----

Dimensionamento das câmaras frigoríficas	Elaborado por: Dionísio Simão Nhamirre		
Folha:	4	Carga térmica Interna	

4.1. Parâmetros de cálculo das cargas térmicas internas

4.1.1. Empilhador

Parâmetros	Símbolo	Valor	Unidade
Potência		7500	W
Número de Empilhadores		4	
Tempo de operação		4	h/dia

4.1.2 Iluminação

Densidade de iluminação		6	W/m ²
Área		586.78	m ²
Tempo de funcionamento		4	h/dia

4.1.3. Pessoas

Número de pessoas		8	
Temperatura da câmara frigorífica		-30	°C
Tempo de permanência		4	h/dia

4.1.4. Ventilador do evaporador

Potencia		3600	W
Número de evaporadores		6	
Tempo de operação dos ventiladores		20	h/dia

4.1.5. Resistências de descongelação do evaporador

Potência		37950	W
Número de evaporadores		6	
Tempo de descongelação		2	h/dia

4.2. Cargas Internas sem evaporador

Iluminação		586,78	W
Pessoas		602,67	W
Empilhadores		5 000,00	W
Total		6 189,44	W

4.3. Cargas Internas com evaporador

4.3.1. Carga térmica do Evaporador

Ventiladores		19 800	W
Resistências de descongelação		18 975	W
Total		38 775	W

4.3.2. Cargas térmicas Internas com evaporador

Pessoas		602,67	W
Evaporador		38 775,00	W
Empilhadores		5 000,00	W
Total		44 964,44	W

Dimensionamento das câmaras frigoríficas	Elaborado por: Dionísio Simão Nhamirre		
Folha:	5	Carga térmica do Ar	

5.1. Dimensões das portas

Dimensões da porta	Símbolo	Câmara frigorífica	Cais	Unidade
Largura		2,6	2,5	m
Altura		2	2,8	m
Área		5,2	7	m ²

5.2. Características Psicométricas do ar

Local	Características Psicométricas do ar	Símbolo	Valores	Unidades
Exterior	Temperatura exterior		35	°C
	Entalpia do ar infiltrado, kJ/kg		94,66	kJ/kg
	Volume específico do ar exterior		0,901	m ³ /kg
Cais	Temperatura da cais		10	°C
	Entalpia do ar da câmara frigorífica		21,48	kJ/kg
	Volume específico do ar interior		0,804	m ³ /kg
Câmara frigorífica	Temperatura da câmara frigorífica		-30	°C
	Entalpia do ar da câmara frigorífica		-29,67	kJ/kg
	Volume específico do ar interior		0,686	m ³ /kg

5.3. Parâmetros e cálculo da carga térmica do ar por abertura de portas das câmaras frigoríficas

Tempo de abertura de portas		3,74	min/h
Coefficiente minorante de cortina de ar ou lamelas		0,25	
Fluxo diário de produto		112,20	ton
Duração média da abertura de portas		0,8	min/ton
Carga de Infiltração por abertura de porta da câmara frigorífica		534,38	W

5.4. Parâmetros e cálculo da carga térmica de ar por abertura de porta da cais

Tempo de abertura de portas		3,74	min/h
Coefficiente minorante de cortina de ar ou lamelas		1	
Fluxo diário de produto		112,2	ton
Duração média da abertura de portas		0,8	min/ton
Carga térmica por abertura de portas das câmaras frigorífica		2 199,41	W

5.5. Parâmetros e cálculo da carga térmica por renovação do ar das câmaras frigorífica

Taxa de renovação de ar exterior		1,01	
Carga de renovação de ar exterior		7 731,26	W

Dimensionamento das câmaras frigoríficas	Elaborado por: Dionísio Simão Nhamirre		
Folha:	6	Resumo das cargas térmicas	

6.1. Resumo das cargas térmicas sem evaporador

Cargas	Símbolo	Valor	Unidades	%
Carga térmica Transmissão		19 479,58	W	21,45
Carga térmica do Produto		56 879,17	W	62,63
Carga térmica Interna		6 189,44	W	6,82
Renovação e Abertura de Portas		8 265,64	W	9,10
Carga térmica intermédia		90 813,83	W	100,00

6.2. Resumo das cargas térmicas com evaporador

Cargas	Símbolo	Valor	Unidades	%
Carga térmica transmissão		19 479,58	W	15,03
Carga térmica do Produto		56 879,17	W	43,89
Carga térmica Interna		44 964,44	W	34,70
Carga térmica por renovação e Abertura de Portas		8 265,64	W	6,38
Carga térmica intermédia		129 588,83	W	100,00

Potência frigorífica intermédia		194 383,24	W	150,00
Potência frigorífica previsual		213 821,56	W	165,00

ANEXO 8 - CARGAS TÉRMICAS E SELECÇÃO DOS EVAPORADORES COM RECURSO AO SOFTWARE CALCAM QUIRÓN

Ficheiro About
Centauro na Internet

Câmara de Conservação de Congelados

Dimensões	Tosco	Final
Comprimento	30.64	30.34 m
Largura	19.64	19.34 m
Altura	8.46	8.15 m
Área Interior	586.78 m ²	
Volume Interior	4782.22 m ³	
Temperatura Entrada	-10 °C	
Temperatura Final Média	-30 °C	
Ar de Renovação	35°C/60%HR	
Renovações Automáticas	0	
Embalagem		
% Embalagem s/ Peso Total do Produto	0 %	
Iluminação	12 W/m ² de chão	
Potência Máquinas/Extra	30 kW	
Funcionamento Motoventiladores	20 h	
Funcionamento Compressor	16 h	
Balço Térmico	193431.69 W	
Margem	0 %	

Gás	R404A
Serviço	Normal
Produto	Peixe Magro
Capacidade Armazenagem	282150.98 kg
Entrada Diária	112200 kg
Densidade de Carga	58.7 kg/m ³
Factor de Carga	1
Quantidade para Congelar	0 kg
Quantidade por Ciclo	0 kg
Duração do Ciclo	0 h

Perdas e Cargas Térmicas			W.h	%
Perdas por Isolamento			390760.73	13.89
Perdas por Abertura e Renovação			198685.17	7.06
Carga Térmica do Produto			1174186.05	41.73
Carga Térmica de Respiração			0	0
Carga Térmica de Embalagem			0	0
Carga Térmica de Pessoal de Estiva			14354.64	0.51
Carga Térmica de Máquinas/Extra			120000	4.27
Carga Térmica de Iluminação			28165.23	1.00
Carga Térmica de Motoventiladores			432000	15.35
Carga Térmica de Resistências			455400	16.19
Carga Térmica Total			2813551.82	100

Evaporador Seleccionado

Modelo: DDC/E 8T2/80 Quant.: 6

Capacidade por Unidade	DT	W
Nominal	8	79690
Pretendido	5	37711.08
DT corrigido no regime (aprox.)	4.3	Sel. DTm

Ratios

R1	40.45 W/m ³	R6	- % (Mot.)
R2	329.65 W/m ²	R7	- m/s
R3	49.18 m ³ /h/m ³	R8	- °C
R4	1.13 m ² /TON	R9	- m ² /TON
R5	0.82 W/m ³ /h	R10	- W/kg

Temperatura (°C)	Isolamento	
Interior	-30	Tipo mm
Norte	29	Poliuretano - 40 kg/m ³ 150
Sul	29	Poliuretano - 40 kg/m ³ 150
Oeste	29	Poliuretano - 40 kg/m ³ 150
Este	29	Poliuretano - 40 kg/m ³ 150
Tecto	29	Poliuretano - 40 kg/m ³ 150
Chão	20	Poliestireno - 24 kg/m ³ 160



R1 +15%	0.00
R1 (W/m ³)	0.00
R1 -15%	0.00
R1 Seleção	0.00



Figura A8. 1 - Cargas térmicas e potência frigorífica com recurso ao software CalCam Quíron (Centauro Heat Load Calculation Software)

Tabela A8. 1 - Resumo das cargas térmicas com recurso ao software Calcam Quíron

Dimensionamento das câmaras frigoríficas		Elaborado por: Dionísio Simão Nhamirre
Folha:	7	Resumo das cargas térmicas adaptado a partir do software

7.1. Resumo da carga interna

Cargas térmicas internas	Símbolo	Carga	Unidade
Pessoas		14 354,64	W.h
Empilhador		120 000,00	W.h
Iluminação		28 165,23	W.h
Ventilador		432 000,00	W.h
Resistência de descongelação		455 400,00	W.h
Total		1 049 919,87	W.h

7.2. Resumo das cargas térmicas sem evaporador

Cargas térmicas	Símbolo	Cargas térmicas		Unidades	%
		W.h	W		
Carga térmica transmissão		390 760,73	16 281,70	W	20,29
Carga térmica do Produto		1 174 186,05	48 924,42	W	60,96
Carga térmica Interna		162 519,87	6 771,66	W	8,44
Carga térmica por renovação e abertura de portas		198 685,17	8 278,55	W	10,32
Carga térmica intermédia		1 926 151,82	80 256,33	W	100,00

7.3. Resumo das cargas térmicas com evaporador

Cargas térmicas	Símbolo	Cargas térmicas		Unidades	%
		W.h	W		
Carga térmica transmissão		390 760,73	16 281,70	W	13,89
Carga térmica do Produto		1 174 186,05	48 924,42	W	41,73
Carga térmica Interna		1 049 919,87	43 746,66	W	37,32
Carga térmica por renovação e abertura de portas		198 685,17	8 278,55	W	7,06
Carga térmica intermédia		2 813 551,82	117 231,33	W	100,00

		Potência	Unidades	%
Potência frigorífica intermédia		175 846,99	W	150,00
Potência frigorífica previsual		193 431,69	W	165,00

ANEXO 9 - SELECÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA INSTALAÇÃO FRIGORÍFICA

9.1. Selecção do condensador

Selecção de condensadores

Dados para selecção:

Potência: 478 kW, +/- 5 %
Dif. temperatura: 10 °C
Ruído máximo: 99 dB a 10 m
Temp. ambiente: 35 °C
Altitude: 0 m
Material Alheta: Aluminium

Gás refrig.: R404A

Soluções construtivas disponíveis: 2

EVOD/M
EVOD/R

Resultado de pesquisa de equipamentos para os parâmetros escolhidos:

Selecção modelo | Dados Técnicos | Dimensões | Comparativo | Listagem

MODELO	EVOD/M - 1091/897Y
EVOD/R - 1091/897Y	Pot. nom. (DT=15°C) [kW] 735.30
EVOD/M - 891/703T	Potência corrigida [kW] 490.20
EVOD/M - 1091/897Y	DT Funcionamento [°C] 9.75
	Espaçamento [mm] 2.1
	Superfície [m²] 2520.30
	N.º ventiladores [N.ºxØ] 10x910
	Rotação [rpm] 670
	Caudal de ar [m³/h] 180000
	Ruído [dB(A)]* 54

Imprimir | Terminar a selecção de condensadores

Status 9/23/2017 10:36 AM

Figura A9.1. 1 - Selecção do condensador do modelo EVOD/M-1091/897Y com recurso ao software CProSelect Quíron

CProSelect - Quíron by Centauro v. 2.0.0 - [Seleção de condensadores]

Ficheiro Programas Opções Ajuda

Seleção de condensadores


Dados para seleção:

Potência: 478 kW, +/- 50 %
 Dif. temperatura: 10 °C
 Ruído máximo: 99 dBa a 10 m
 Temp. ambiente: 35 °C
 Altitude: 0 m
 Material Alheta: Aluminium

Gás refrig.: R404A

Soluções construtivas disponíveis: 6


EVOD/M



Resultado de pesquisa de equipamentos para os parâmetros escolhidos:

Seleção modelo | Dados Técnicos | Dimensões | Comparativo | Listagem

MODELO	EVOD/M - 1091/897T	
EVOD/M - 891/632Y	Pot. nom. (DT=15°C) [kW]	897.44
EVOD/M - 691/548T	Potência corrigida [kW]	598.29
EVOD/M - 691/572T	DT Funcionamento [°C]	7.99
EVOD/M - 891/703Y	Espaçamento [mm]	2.1
EVOD/M - 891/756Y	Superfície [m²]	2520.30
EVOD/M - 891/632T	N.º ventiladores [N.ºxØ]	10x910
EVOD/M - 1091/813Y	Rotação [rpm]	840
EVOD/M - 891/703T	Caudal de ar [m³/h]	232500
EVOD/M - 1091/897Y	Ruído [dB(A)]*	59
EVOD/M - 1091/813T		
EVOD/M - 1291/948Y		
EVOD/M - 1291/1096Y		
EVOD/M - 1091/897T		



Imprimir Terminar a seleção de condensadores

Status 9/30/2017 11:24 PM

Figura A9.1. 2 - Seleção do condensador do modelo EVOD/M-1091/897T com recurso ao software CProSelect Quíron

CProSelect - Quiron by Centauro v. 2.0.0 - [Seleção de condensadores]

Ficheiro Programas Opções Ajuda

Seleção de condensadores


Dados para seleção:

Potência: 478 kW, +/- 5 %
 Dif. temperatura: 10 °C
 Ruído máximo: 99 dB a 10 m
 Temp. ambiente: 35 °C
 Altitude: 0 m
 Material Alheta: Alumínio

Gás refrig.: R404A

Soluções construtivas disponíveis: 2

EVOD/M
 EVOD/R



Resultado de pesquisa de equipamentos para os parâmetros escolhidos:

Seleção modelo Dados Técnicos Dimensões Comparativo Listagem

MODELO	EVOD/M - 1091/897Y		Dados técnicos	
EVOD/R - 1091/897T	Pot. nom. (DT=15°C) [kW]	735.30	Corrente [A]	22.20
EVOD/M - 891/703T	Potência corrigida [kW]	490.20	Tensão alimentação [V]	400V
EVOD/M - 1091/897Y	DT Funcionamento [°C]	9.75	Alimentação [F/Hz]	3/50
	Espaçamento [mm]	2.1	Potência absorvida [W]	11500
	Superfície [m²]	2520.30	Entrada [in]	3 1/8
	N.º ventiladores [N.ºxØ]	10x910	Saída [in]	2 5/8
	Rotação [rpm]	670	Volume interno [dm³]	264.90
	Caudal de ar [m³/h]	180000	Volume embarque [m³]	36.62
	Ruído [dB(A)]*	54	Peso [kg]	3426.81

Imprimir Terminar a seleção de condensadores

Status 9/23/2017 10:38 AM

Figura A9.1. 3 - Dados técnicos do condensador EVOD/M-1091/897Y

CProSelect - Quíron by Centauro v. 2.0.0 - [Seleção de condensadores]

Ficheiro Programas Opções Ajuda

Seleção de condensadores


Dados para seleção:

Potência: 478 kW, +/- 50 %
 Dif. temperatura: 10 °C
 Ruído máximo: 99 dBa a 10 m
 Temp. ambiente: 35 °C
 Altitude: 0 m
 Material Alheta: Alumínio

Gás refrig.: R404A

Soluções construtivas disponíveis: 6

EVOD/M



Resultado de pesquisa de equipamentos para os parâmetros escolhidos:

Seleção modelo | **Dados Técnicos** | Dimensões | Comparativo | Listagem

MODELO	EVOD/M - 1091/897T		Dados técnicos	
EVOD/M - 891/632Y	Pot. nom. (DT=15°C) [kW]	897.44	Corrente [A]	38.30
EVOD/M - 691/548T	Potência corrigida [kW]	598.29	Tensão alimentação [V]	400V
EVOD/M - 691/572T	DT Funcionamento [°C]	7.99	Alimentação [F/Hz]	3/50
EVOD/M - 891/703Y	Espaçamento [mm]	2.1	Potência absorvida [W]	18400
EVOD/M - 891/756Y	Superfície [m²]	2520.30	Entrada [in]	3 1/8
EVOD/M - 891/632T	N.º ventiladores [N.ºxØ]	10x910	Saída [in]	2 5/8
EVOD/M - 1091/813Y	Rotação [rpm]	840	Volume interno [dm³]	264.90
EVOD/M - 891/703T	Caudal de ar [m³/h]	232500	Volume embarque [m³]	36.62
EVOD/M - 1091/897Y	Ruído [dB(A)]*	59	Peso [kg]	3426.81
EVOD/M - 1091/813T				
EVOD/M - 1291/948Y				
EVOD/M - 1291/1096Y				
EVOD/M - 1091/897T				

Imprimir Terminar a seleção de condensadores

Status 9/30/2017 11:25 PM

Figura A9.1. 4 - Dados técnicos do condensador EVOD/M-1091/897T

CProSelect - Quíron by Centauro v. 2.0.0 - [Seleção de condensadores]

Ficheiro Programas Opções Ajuda

Seleção de condensadores

Dados para seleção:

Potência: 478 kW, +/- 5 %
 Dif. temperatura: 10 °C
 Ruído máximo: 99 dBa a 10 m
 Temp. ambiente: 35 °C
 Altitude: 0 m
 Material Alheta: Aluminium

Gás refrig.: R404A

Soluções construtivas disponíveis: 2

EVOD/M
 EVOD/R

QUIRON
 by **centauro**

apcer ISO 9001
 ISO 14001
 ISO 45001

Resultado de pesquisa de equipamentos para os parâmetros escolhidos:

Seleção modelo | Dados Técnicos | **Dimensões** | Comparativo | Listagem

MODELO	EVOD/M - 1091/897Y	
EVOD/R - 1091/897T	Dim. A [mm]	2485
EVOD/M - 891/703T	Dim. B [mm]	6140
EVOD/M - 1091/897Y	Dim. C [mm]	6070
	Dim. C1 [mm]	2400
	Dim. E [mm]	1650
	Dim. F [mm]	2400

Imprimir Terminar a seleção de condensadores

Status 9/23/2017 10:40 AM

Figura A9.1. 5 - Dimensões do condensador EVOD/M-1091/897Y/T

9.2. Selecção da válvula de expansão

Operating conditions:

Capacity:		Evaporation:		Condensation:	
Cooling capacity:	37710 W	Pressure (a):	164... Pa	Pressure (a):	204... Pa
Mass flow in line:	0.4162 kg/s	Useful superheat:	5.0 K	Subcooling:	5.0 K
Heating capacity:	67920 W	Additional superheat:	0 K	Additional subcooling:	0 K

Selection criteria:

Load: 80 %
Distributor pressure drop: 0 Pa

Liquid line (Dry expansion system. R404A. Electronic expansion valve)

Selection: AKV 15-3

Selected	Type	NS	Max. capacity [W]	Min. capacity [W]	Load [%]	DP [Pa]	Velocity, in [m/s]	Result
<input type="radio"/>	AKV 15-2	18	30620	3062	123	1880000	2.43	⚠
<input checked="" type="radio"/>	AKV 15-3	22	47810	4781	79	1880000	1.52	✓
<input type="radio"/>	AKV 15-4	28	74870	7487	50	1880000	0.88	✓
<input type="radio"/>	AKV 20-1	32	76680	7668	49	1880000	0.40	⚠
<input type="radio"/>	AKV 20-2	32	121800	12180	31	1880000	0.40	⚠
<input type="radio"/>	AKV 20-3	32	187700	18770	20	1880000	0.40	⚠
<input type="radio"/>	AKV 20-4	40	294400	29440	13	1880000	0.29	⚠

Figura A9.2. 1 - Parâmetros de selecção válvula de expansão electrónica com recurso ao software coolselector®2 da Danfoss

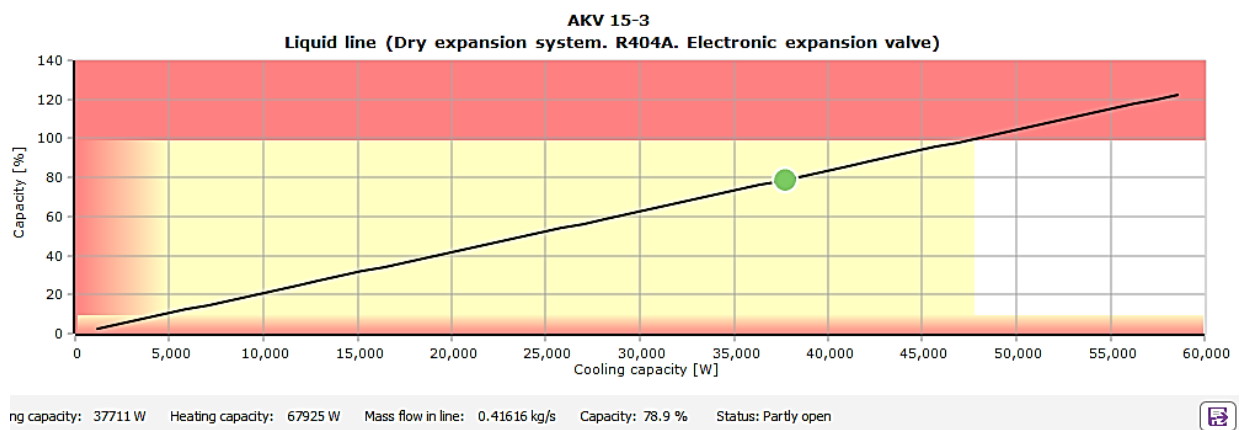


Figura A9.2. 2 - Variação da capacidade da válvula AKV 15-3 em função em função da potência frigorífica

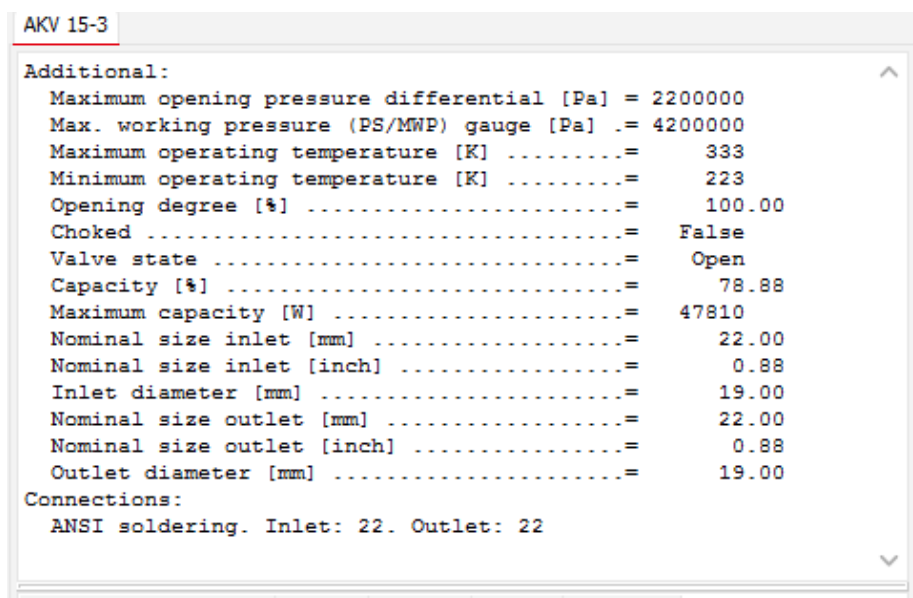


Figura A9.2. 3 - Dados técnicos da válvula de expansão seleccionada AKV 15-3

9.3. Dimensionamento e selecção do depósito de líquido

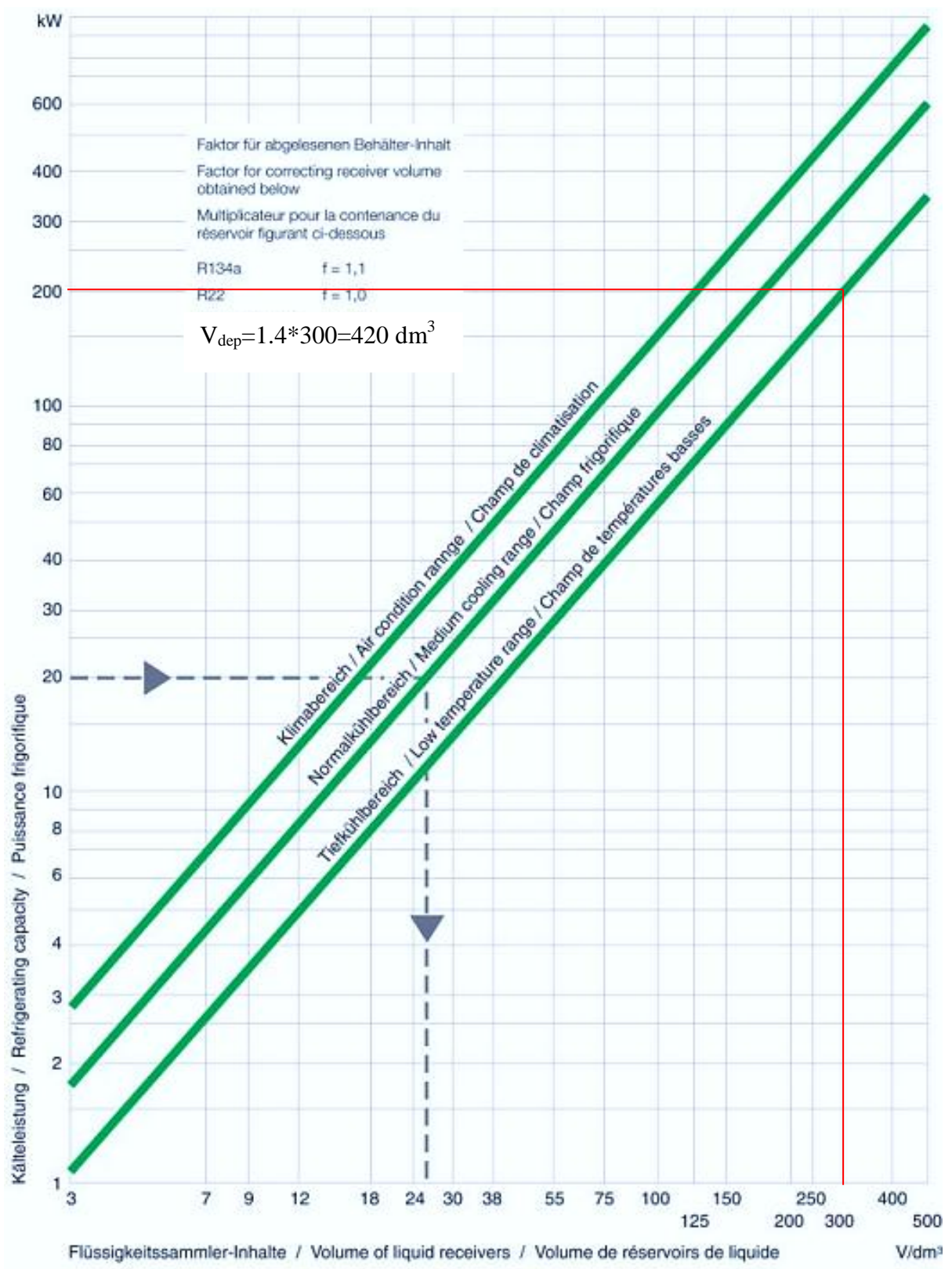


Figura A9.3. 1 - Diagrama de dimensionamento de depósitos de líquido



Technische Daten/Anschlüsse
Stehende Flüssigkeitssammler

Technical data/Connections
Vertical liquid receivers

Caractéristiques techniques/Raccords
Réervoirs de liquide verticaux

Typ	Behälter- Inhalt	Maximale Kältemittel-Füllung [⊕]			Gewicht	Anschlüsse ⊙				Anschlussgewinde/-flansch		Manometer	Schaugläser ⊙								
		Receiver volume	Maximum refrigerant charge ⊙			Eintritt ø	Connections ⊙		Austritt ø	Joining thread/flange				Gauge	Sight glasses ⊙						
			Contenance du réservoir	Charge maximale de fluide frigorigène ⊙			Entrée ø	Raccords ⊙		Sortie ø	Raccord fileté/bride					Manomètre	Voyants ⊙				
				dm ³ (l)				R134a (kg)			R404A R507A (kg)							R22 (kg)	Zoll Inch Pouce	Zoll Inch Pouce	Entrée	Sortie	Manomètre
FS36	3	3,3	2,9	3,3	2,6	10	3/8"	10	3/8"	-	3/4" - 16 UNF	-	-								
FS56	5,6	6,2	5,4	6,1	5	10	3/8"	10	3/8"	-	3/4" - 16 UNF	2 [⊕]	2 [⊕]								
FS76	7,8	8,6	7,5	8,5	6	12	1/2"	12	1/2"	-	1" - 14 UNS	1	1								
FS102	10	11,0	9,6	10,9	13	16	5/8"	12	1/2"	1 1/2" - 12 UNF	1" - 14 UNS	2	2								
FS152	15	16,6	14,4	16,3	17	22	7/8"	16	5/8"	1 1/2" - 12 UNF	1" - 14 UNS										
FS126	13	14,3	12,5	14,2	11	12	1/2"	12	1/2"	-	1" - 14 UNS	2 [⊕]	2 [⊕]								
FS202	20	22,1	19,2	21,8	22	22	7/8"	22	7/8"	1 3/4" - 12 UNF	1 1/4" - 12 UNF	7/16" - 20 UNF	2								
FS252	25	27,6	24,0	27,2	25	22	7/8"	22	7/8"	1 3/4" - 12 UNF	1 1/4" - 12 UNF		3								
FS302	30	33,1	28,8	32,7	27,5	28	1 1/8"	22	7/8"	1 3/4" - 12 UNF	1 1/4" - 12 UNF		3								
FS402	39	43,0	37,5	42,5	32,5	28	1 1/8"	22	7/8"	1 3/4" - 12 UNF	1 1/4" - 12 UNF		3								
FS562	56	61,8	53,8	61,0	51	35	1 3/8"	28	1 1/8"	2 1/4" - 12 UN	1 3/4" - 12 UNF		3								
FS732	73	80,5	70,2	79,5	68	35	1 3/8"	28	1 1/8"	2 1/4" - 12 UN	1 3/4" - 12 UNF		3								
FS902	89	98,2	85,5	96,9	71	42	1 5/8"	35	1 3/8"	2 1/4" - 12 UN	1 3/4" - 12 UNF		3								
FS1122	112	123,6	107,7	122,0	108	54	2 1/8"	42	1 5/8"	112 x 112	2 1/4" - 12 UN		3								
FS1602	160	176,5	153,8	174,2	133	54	2 1/8"	42	1 5/8"	112 x 112	2 1/4" - 12 UN		3								
FS2202	228	251,6	219,2	248,3	178	76	3 1/8"	54	2 1/8"	140 x 140	112 x 112		3								
FS3102	320	353,1	307,6	348,5	228	76	3 1/8"	54	2 1/8"	140 x 140	112 x 112		3								
FS4002	395	435,8	379,7	430,2	310	DN100	76	3 1/8"		160 x 160	140 x 140	1/2" - 18 NPTF	3								
FS4752	473	521,9	454,7	515,1	351	DN100	76	3 1/8"		160 x 160	140 x 140		3								
FS5502	550	606,8	528,7	599,0	384	DN100	76	3 1/8"		160 x 160	140 x 140		3								

Figura A9.3. 2 - Modelos de depósitos de líquido

**ANEXO 10 - DESENHOS DAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS EM VISTAS E
CORTES**

