



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Ferramenta computacional de dimensionamento e avaliação do desempenho térmico e eficiência energética de câmaras de frio

João António Patrício Marques

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletromecânica
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Dinis Gaspar
Departamento de Engenharia Eletromecânica
Universidade da Beira Interior
Covilhã, Portugal

Covilhã e UBI, outubro de 2017

Agradecimentos

Esta dissertação, fruto de bastante esforço e dedicação, durante o seu desenvolvimento devido às dificuldades encontradas, provocou alguns momentos de tensão e obstáculos que foram ultrapassados com o apoio de algumas pessoas a quem deixo o meu mais sincero sentimento de apreço.

Começo por expressar, a minha gratidão ao meu orientador Professor Doutor Pedro Dinis Gaspar, pelo seu apoio técnico-científico na orientação da presente dissertação. Gostaria de agradecer pelo empenho, disponibilidade e conselhos sugeridos, face aos diversos problemas e situações decorridos ao longo do trabalho.

A todos os meus colegas de Engenharia Eletromecânica.

Aos meus amigos, eles sabem quem são, o meu mais sincero agradecimento pelo apoio concedido nesta e noutras ocasiões da minha vida.

Aos meus pais, João e Conceição, um agradecimento bastante especial e sentido, pela confiança, força e principalmente pelo seu apoio que me foi dado desde o primeiro dia. Sem o seu sacrifício nada disto podia ser possível, por isto, esta conquista também é vossa!

Ao meu querido irmão e amigo Diogo, um enorme obrigado pelo apoio e compreensão nos momentos mais complicados em que nunca me deixou ir abaixo e me incentivou a nunca desistir.

Por fim, mas não menos importante, um agradecimento especial à minha namorada Fabiana por tudo o que me ajudou a ultrapassar, pois se uma relação não é só dos bons momentos, ela mostrou que está sempre ao meu lado quando mais preciso. Por isto e pelo seu apoio incondicional um obrigado bastante sentido.

Resumo

O processamento de alimentos e a sua conservação representam fatores decisivos para a sustentabilidade do planeta, dado o crescimento significativo da população mundial nas últimas décadas. Por esse motivo, a refrigeração dos produtos alimentares tem vindo a ser objeto de estudo e aperfeiçoamento de modo a ser possível garantir o abastecimento de alimentos com boa qualidade, controlando as especificações da refrigeração/congelamento durante os processos de fabrico e armazenamento. Os sistemas de refrigeração e/ou congelamento, para além de serem os maiores consumidores de energia elétrica de uma indústria agroalimentar, são denominados consumidores intensivos, pois este consumo é contínuo. A necessidade de racionalizar energia, resultado do aumento do consumo energético, tem levado à procura de novas metodologias e soluções, a fim de otimizar processos industriais para promover a eficiência energética.

Com o intuito de promover uma melhoria do desempenho energético das indústrias agroalimentares, desenvolveu-se uma ferramenta computacional com base na linguagem de programação *Java* e *Netbeans*, para análise das cargas térmicas e elétricas de câmaras de frio. Esta ferramenta permite que sejam analisadas as cargas de, no máximo, seis câmaras de frio, refrigeração e/ou congelamento, de uma indústria agroalimentar. É requerida a introdução de informações referentes às características técnicas destas câmaras, permitindo assim calcular as cargas térmicas associadas à envolvente, infiltração de ar, sistemas de descongelamento, empilhadores, iluminação, produtos, pessoal, evaporadores e outras perdas. Os dados introduzidos permitem também determinar as cargas elétricas dos evaporadores, condensadores, compressor, sistema de descongelamento, iluminação, e outras perdas. Esta ferramenta possui uma opção que permite o uso de um ficheiro climático, uma vez que as cargas associadas à envolvente, infiltração de ar e do sistema de descongelamento são influenciadas por fatores que variam ao longo do ano, permitindo assim obter uma análise dinâmica da variação das cargas o longo do ano. Os resultados referentes às cargas dos componentes das câmaras são apresentados, individualmente, em tabelas e também é possível serem observados graficamente, onde é apresentada a percentagem do impacto de cada componente, por forma a facilitar a sua análise, tornando-a mais simples e expedita. No que toca à validação de resultados, duas empresas do sector agroalimentar, uma da fileira das carnes e outra da fileira dos lacticínios, foram analisadas e os valores obtidos na ferramenta computacional foram comparados com os resultados de outra ferramenta computacional disponível para validação de resultados. Através desta comparação, verificou-se diferenças mínimas no que diz respeito às cargas calculadas, o que atesta a precisão da ferramenta e fundamenta a sua utilização nas empresas nacionais do setor agroalimentar com

o intuito de promover reduções no consumo energético, quer seja por medidas técnicas ou por aplicação de boas práticas, que se possam traduzir num aumento de competitividade do setor.

Palavras-chave

Ferramenta computacional

Câmaras de frio

Indústria agroalimentar

Eficiência Energética

Cargas térmicas e elétricas

Java

Netbeans

Abstract

Food processing and its conservation are decisive factors for the sustainability of the planet, given the significant growth of the world population in the last decades. For this reason, the refrigeration of food products has been studied and improved so that it is possible to ensure the quality of the supplied good food by controlling the specifications of refrigeration/freezing during the manufacturing and storage processes. The refrigeration and/or freezing systems, besides being larger electrical energy consumers of an agri-food industry, are denominated intensive consumers, since this consumption is continuous. The necessity to rationalize energy, as a result of increased energy consumption, has led the search for new methodologies and solutions in order to optimize industrial processes to promote energy efficiency.

In order to promote the improvement of the energy performance of the agri-food industries, a computational tool was developed based on the Java and Netbeans programming language, for the analysis of thermal and electrical loads of cold rooms. The computational tool can analyze the loads of a maximum of six refrigeration and/or freezing cold rooms of an agri-food company. It is required to input data concerning the technical characteristics of the cold room, thus allowing to determine the thermal loads associated with the external environment, air infiltration, defrost systems, forklifts, lighting, products, personnel, evaporators and other losses. The input data also allows to determine the electrical loads of evaporators, condensers, compressor, defrost system, lighting, and other losses. This computational tool has an option that allows the use of a climatic file, since the thermal loads associated with the external environment, air infiltration and defrost system are influenced by factors that vary throughout the year, and thus obtain a dynamic analysis of the thermal loads variation throughout the year.

The results concerning the loads of the components of the cold rooms are presented individually in tables and is also possible to be observed graphically, where the percentage of the impact of each component is shown, in order to facilitate its analysis, making it simpler and more expedite.

Regarding the validation of results, two companies in the agri-food sector, a meat processing industry and a dairy industry, were analyzed. The values obtained by the computational tool were compared with an available computational tool for validation of results. Through the results comparison, minimal differences within the calculated loads were determined, which indicates the reliability of the computational tool developed and ensures its use in national agri-food companies in order to promote the reduction of energy consumption, either by technical

measures or best practices application, that can be transferred into competitiveness increase of the agri-food sector.

Keywords

Computational tool

Cold rooms

Agri-food industry

Energy Efficiency

Thermal and electrical loads

Java

Netbeans

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas	xi
Nomenclatura.....	xiii
1. .. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. O problema em estudo e a sua relevância	3
1.3. Objetivos e contribuição da dissertação	4
1.4. Visão geral e organização da dissertação	5
2. .. Estado da Arte	7
2.1. Introdução	7
2.2. Câmaras de frio	7
2.3. Modelos de simulação.....	10
2.4. Nota conclusiva	22
3. .. Materiais e Métodos	23
3.1. Introdução	23
3.2. Cargas térmicas em câmaras de frio	23
3.3. Cargas elétricas	28
3.4. Programação orientada a objetos	30
3.4.1. Programação em Java	31
3.4.2. NetBeans.....	32
4. .. Ferramenta Computacional.....	35
4.1. Introdução	35

4.2. Estrutura do programa e descrição do cálculo das cargas térmicas	35
4.3. Programação.....	61
5. .. Análise e Discussão de Resultados	69
5.1. Introdução	69
5.2. Empresas	69
5.3. Testes.....	71
5.4. Validação de resultados	76
5.5. Sugestões de melhoria	80
6. .. Conclusões.....	85
6.1. Conclusões gerais.....	85
6.2. Sugestões de trabalhos futuros.....	86
Referências Bibliográficas	89

Lista de Figuras

Fig. 1 - Exemplo de uma câmara frigorífica modular.	8
Fig. 2 - Constituição de uma parede em câmaras de alvenaria (Trott, 2000).	9
Fig. 3 - Exemplo do modelo "simples" (Foster et al., 2013).	11
Fig. 4 - Exemplo dos resultados do modelo "simples" (Foster et al., 2013).	12
Fig. 5 - Exemplos dos resultados do modelo complexo (Foster et al., 2013).	13
Fig. 6 - Descrição da saída da Plataforma da recolha de dados da cadeia de frio (Gogou et al., 2013).	15
Fig. 7 - Determinação do perfil representativo e distribuição de temperatura para todas as fases (Gogou et al., 2013).	16
Fig. 8 - Calcular a vida útil restante do produto em cada fase da cadeia de frio com base num perfil representativo construído utilizando dados cinéticos (Gogou et al., 2013).	17
Fig. 9 - Tecnologias e soluções no projeto CHILL-ON (EU, 2010).....	19
Fig. 10 - Diferentes passos para a análise da empresa (Neves et al., 2013).	21
Fig. 11 - Janela dos resultados gerais com um exemplo de simulação (Neves et al., 2013).	22
Fig. 12 - Exemplo de uma aplicação em linguagem Java com a ferramenta NetBeans.	33
Fig. 13 - Página de acesso à ferramenta computacional: FORECAST.	36
Fig. 14 - Opção sobre a utilização dos dados climáticos.....	36
Fig. 15 - Link para descarregar a folha de Excel devidamente formatada.	37
Fig. 16 - Exemplo da apresentação dos valores médios na folha de Excel.	37
Fig. 17 - Setor onde é carregado o ficheiro climático.....	38
Fig. 18 - Interface gráfica referente às características de uma parede.	39
Fig. 19 - Interface gráfica referente ao chão da câmara de frio.	43
Fig. 20 - Interface gráfica referente à porta.	44
Fig. 21 - Interface gráfica referente ao sistema de refrigeração.	48
Fig. 22 - Interface gráfica referente aos empilhadores.	49
Fig. 23 - Interface gráfica relativa à iluminação do interior da câmara.	51
Fig. 24 - Interface gráfica referente á influência do pessoal no interior da câmara.	51
Fig. 25 - Interface gráfica relativa à análise do efeito dos produtos.	52
Fig. 26 - Interface gráfica referente ao processo de descongelação.	53

Fig. 27- Interface gráfica referente à análise dos evaporadores.	54
Fig. 28 - Interface gráfica relativa ao estudo dos condensadores.	54
Fig. 29 - Interface gráfico correspondente a outras perdas do sistema.....	55
Fig. 30 - a) Botões antes de ser escolhida a utilização ou não do ficheiro climático; b) Botões quando se utiliza o ficheiro climático; c) Botões quando não se utiliza o ficheiro climático.	55
Fig. 31 - Painéis para onde os valores das cargas são transferidos.	56
Fig. 32 - Exemplo de mensagens de aviso.	56
Fig. 33- Botão referente à transferência de valores para a página principal.	57
Fig. 34 - Exemplo de uma vista da página para onde são transferidos os valores das cargas térmicas.	58
Fig. 35 - Exemplo de uma vista da página para onde são transferidos os valores das cargas elétricas.	58
Fig. 36 - Exemplo de uma vista da página para possibilitam a geração de gráficos.	59
Fig. 37 - Gráfico da carga térmica pela envolvente ao longo do ano.	59
Fig. 38 - Gráfico com a ponderação das cargas térmicas.....	60
Fig. 39 - Gráfico com a ponderação das cargas elétricas.....	61
Fig. 40 - Janela com a indicação de erros.....	61
Fig. 41 - Adição de evento de geração de botões.....	62
Fig. 42 - Adição de evento responsável pelo aparecimento ou não de diferentes opções nas ComboBoxe referentes.....	64
Fig. 43 - Previsão da evolução da carga térmica da envolvente ao longo do ano - Empresa piloto A.....	72
Fig. 44 - Previsão das cargas térmica - Empresa piloto A.	73
Fig. 45 - Previsão das cargas elétricas - Empresa piloto A.	74
Fig. 46 - Previsão da evolução da carga térmica da envolvente ao longo do ano - Empresa piloto B.....	75
Fig. 47 - Previsão das cargas térmica - Empresa piloto B.	75
Fig. 48 - Previsão das cargas elétricas - Empresa piloto B.	76
Fig. 49 - Valores das cargas térmicas da envolvente [W] das simulações das duas ferramentas (Foster et al., 2013; Evans et al., 2014; Foster et al., 2016).	77
Fig. 50 - Valores das restantes cargas térmicas [W] das simulações das duas ferramentas (Foster et al., 2013; Evans et al., 2014; Foster et al., 2016).	79
Fig. 51 - Valores das cargas elétricas [W] das simulações das duas ferramentas (Foster et al., 2013; Evans et al., 2014; Foster et al., 2016).	79

Lista de Tabelas

Tabela 1. Cargas térmicas das câmaras de frio.	24
Tabela 2 - Características do tipo de isolamento.	42
Tabela 3 - Valores referentes à eficácia do dispositivo de proteção da porta.	46
Tabela 4 - Tipo de fluido refrigerante e respectivos valores do coeficiente de refrigeração (Foster et al., 2013).	48
Tabela 5 - Número de compressão e o estágio de expansão e respectivo coeficiente de estágio (Foster et al., 2013).	49
Tabela 6 - Valores referentes à potência dos empilhadores.	50
Tabela 7 - valores da eficiência dos métodos de descongelamento.	53
Tabela 8 - Dados das quatro câmaras de frio - Empresa piloto A.	70
Tabela 9 - Dados das duas câmaras de frio - Empresa piloto B.	71
Tabela 10 - Informações complementares (Foster et al., 2013).	71

Nomenclatura

Geral:

A	Área, [m ²];
c	calor específico do ar [kJ·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹];
d	dia;
e	espessura do isolamento [mm];
e_f	eficiência das luzes [lm·W ⁻¹];
E	carga elétrica;
EL	elevação;
g	aceleração da gravidade [=9,81 m·s ⁻²];
H	altura a porta [m];
h_0	coeficiente de transferência de calor [W·m ⁻² ·°C ⁻¹];
h_i	resistência térmica de convecção;
HRA	ângulo horário [radianos];
k	condutividade térmica do material [W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹];
LF	iluminância [lm·m ⁻²];
l_{fu}	calor latente de vaporização [kJ·kg ⁻¹];
LST	hora solar local;
l_v	calor latente de congelamento [kJ·kg ⁻¹];
m	massa [kg];
M	quantidade de produto retirado de dentro da câmara por dia [kg·dia ⁻¹];
n	coeficiente de estágio;
N	número;
P	potência [W];
q	radiação solar da superfície [W·m ⁻²];
Q	carga térmica [W];
r	percentagem de energia solar transmitida [%];
S	potência do motor [W];
t	tempo [s];
T	temperatura [°C];
U	coeficiente global de transmissão de calor [W·m ⁻² ·°C ⁻¹];
v	velocidade [m·s ⁻¹];
x	vaporização fracionada;

X concentração de água no ar.

Índices inferiores:

po porta;
i interna;
iso isolamento;
o exterior;
p produto;
wp água do produto/embalagem;
e evaporação;
c condensação;
v vapor;
fu vaporização;
v congelamento;
l iluminação.

Simbologia grega:

a constante empírica para diferentes refrigerantes;
 δ ângulo de declinação [°];
 ρ massa específica [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];
 μ rendimento;
 φ latitude.

Acrónimos:

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers;
CHILL-ON Developing and integrating novel technologies to improve safety, transparency and quality insurance of the chilled/frozen food supply chain;
Cool-OP Cooling Optimization Program;
DSS Decision Support System;
EU European Union;
FORECAST Ferramenta cOmputacional de pREvisão das CArgaS Térmicas em câmaras de frio;
FRISBEE Food Refrigeration Innovations for Safety, consumers' Benefit, Environmental impact and Energy optimisation along the cold chain in Europe;

GUIDE	Graphical User Interface Design Environment;
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Point;
ICE-E	Improving Cold storage Equipment in Europe;
NWCS	Night Wind Control System;
PCR	Polymerase Chain Reaction;
QMRA	Quantitative Microbial Risk Assessment;
SLP	Shelf Life Predictor;
TTIs	Time Temperature Indicators;
UBI	Universidade da Beira Interior;

1. Introdução

O primeiro capítulo da presente dissertação inicia-se com uma perspectiva geral sobre o tema em estudo, onde se dá a conhecer a importância do sector agroalimentar em vários domínios, como a sua influência ao nível da sociedade, ambiente e energia. Neste sector, o consumo de energia é de uma enorme importância, tendo a refrigeração um papel capital, sendo, por isso, um dos aspetos mais em foco neste capítulo.

A utilização da refrigeração a nível mundial e o seu impacto sobre os consumos de energia são os pontos-chave desenvolvidos, pretendendo-se tornar mais evidentes a consciencialização e a necessidade de aprofundamento da aplicação de medidas de eficiência energética nas indústrias alimentares, enfatizando as que dizem respeito aos sistemas de refrigeração. É compilada a informação disponibilizada na literatura especializada sobre consumos de energia nas indústrias alimentares, medidas de eficiência energética aplicadas nos sistemas de refrigeração das indústrias agroalimentares e indicadores de eficiência energética.

Finalmente expõe-se os objetivos e a contribuição inovadora deste trabalho e a organização da presente dissertação.

1.1. Enquadramento

Os sistemas de frio industrial, no que concerne à conservação de produtos alimentares, adquiriram tal importância para a sociedade atual, que se torna imprevisível antever as consequências que a sua inexistência representaria no setor agroalimentar e, conseqüentemente, na nossa alimentação. As exigências nutricionais e energéticas do nosso organismo assentam numa dieta humana que requer um certo número de nutrientes (proteínas, hidratos de carbono, lípidos, vitaminas e sais minerais) que provêm sobretudo da ingestão de carne, peixe, ovos e diversos produtos de origem vegetal (cereais, leguminosas e tubérculos), bem como da fruta e dos legumes. Estes fatores levam a que tenhamos de dispor de uma grande diversidade de alimentos frescos, de boa qualidade, para a realização das diferentes atividades do nosso quotidiano.

No passado, o tipo de produtos hortícolas consumido dependia da estação do ano e da cultura possível nessa região, pois as diferentes espécies vegetais requerem condições adequadas de temperatura e de humidade para germinarem e se desenvolverem. Com o desenvolvimento das técnicas de cultivo em estufas e o aparecimento das indústrias do frio (refrigeração e

congelamento), a par de uma crescente rapidez nos transportes, é possível hoje dispor, na maioria dos países desenvolvidos, de uma grande variedade de produtos vegetais durante todo o ano, com a conseqüente melhoria da qualidade da alimentação. Por sua vez, o peixe e carne eram, no passado, em quase todas as regiões, sujeitos a desidratação usando a secagem direta ao sol ou ao fumeiro para se conservarem durante meses nas condições comestíveis. Outras técnicas praticadas assentavam na conservação dos produtos em óleos diversos (como o azeite) e sal, com a esterilização prévia dos produtos e respectivos recipientes (por fervura), de forma a eliminar as bactérias. Em contrapartida, estas técnicas apresentam a desvantagem de alterarem as propriedades organolépticas originais dos alimentos, ou seja, o seu aspeto, odor e sabor, pela adição de substâncias ou por alterações características do próprio método (Gaspar *et al.*, 2009).

Um processo de conservação eficaz, que preserve as características originais dos alimentos, surge nos meados do século XIX, com a descoberta das propriedades dos fluidos frigorígenos, passando, posteriormente, a serem utilizados em sistemas de frio industrial (Baptista *et al.*, 2007). Com esta importante descoberta, a conservação de produtos alimentares, através do frio, teve uma enorme adesão, passando a assegurar as propriedades originais dos alimentos, assim como a redução de desperdícios por deterioração, maturação ou contaminação. Assim, a refrigeração passou a desempenhar um papel fundamental na manutenção da qualidade e da segurança alimentar, uma vez que cerca de 40% dos produtos alimentares produzidos em todo o mundo necessitam de refrigeração para a sua conservação a longo prazo (James & James, 2010).

Os sistemas de frio para conservação de alimentos, quer em processos de refrigeração, quer de congelamento, requerem consumos de energia significantes (Altwies & Reindl, 2001; Lekov, 2008), uma vez que, existe necessidade de manter uma temperatura constante ao longo de toda a cadeia frio, desde o término do seu ciclo de produção, passando pelo seu transporte, transformação e distribuição até chegar ao consumidor. Esse grande consumo, por conseguinte, traduz-se em quantidades significativas de CO₂ libertadas para a atmosfera, resultantes do ciclo de energia que alimenta esses equipamentos (James & James, 2010).

Neste contexto, com vista a tornar as indústrias alimentares competitivas e a contribuir para reduzir os gases com efeitos de estufa diretos e indiretos (consumo de energia), os consumos da energia tem manifestado grande preocupação na sociedade, tendo por isso merecido uma maior atenção. Atualmente, estudos científicos e trabalhos de auditorias energéticas apontam que se podem alcançar poupanças de energia compreendidas entre 15 a 25% mediante a aplicação de medidas simples de eficiência energética aos sistemas de refrigeração (Ademe, 2000; Guilpart, 2009).

Para implementação destas medidas é importante conhecer as características dos sistemas de refrigeração que são utilizados nas indústrias agroalimentares e verificar as condições em que os mesmos estão a funcionar.

1.2. O problema em estudo e a sua relevância

Devido ao aumento populacional e ao perigo da escassez de recursos, o arrefecimento desempenha um papel importante, uma vez que permite o armazenamento de alimentos em épocas de maior produção, quando o mercado não tem capacidade para escoamento do produto, ou apenas para que estejam disponíveis quando necessários (Pachai, 2013). A refrigeração por si só é um processo com a capacidade de preservar os produtos garantindo que estes mantenham as suas características químicas, físicas e nutricionais, mas que também é indispensável no processamento de alimentos perecíveis, nomeadamente carne, peixe e seus derivados.

Como foi referido, os sistemas de refrigeração são utilizados para preservar as características físicas e químicas dos produtos, prolongando o seu período de vida. No entanto, o desperdício de recursos e o impacto que o seu excessivo consumo representa a nível económico, social e ambiental tem sido evidenciado em alguns estudos realizados, no sentido de encontrar medidas e estratégias que visem a utilização racional de energia (CCE, 2006).

A grande diversidade de funções dos sistemas de refrigeração usados nas indústrias agroalimentares, faz com que os respetivos consumos energéticos associados, estejam fortemente dependentes das suas características e condições de operação. Em princípio, se apenas se pretender manter a temperatura ambiente das câmaras de refrigeração, o consumo será menor do que em casos mais específicos, onde se necessita proceder a uma diminuição rápida da temperatura ambiente ou variá-la ao longo do tempo, de acordo com as necessidades do processo produtivo (Filho, 2008; Langley, 2009).

Nos sistemas para manutenção da temperatura ambiente nas câmaras de refrigeração é necessário retirar a quantidade de calor relativa às cargas térmicas geradas no seu interior, nomeadamente as relacionadas com a transmissão de calor nas paredes das câmaras, as infiltrações de ar, a iluminação, a movimentação de máquinas e pessoas e os produtos, propriamente ditos. Nos sistemas para arrefecimento rápido têm, ainda, que se considerar as cargas de arrefecimento dos produtos, de respiração (produtos hortofrutícolas), e latentes (na ocorrência de congelação) (Martín, 2005; Langley, 2009). De um ponto de vista mais lato, as condições ambientais exteriores e a manutenção dos sistemas de refrigeração são componentes essenciais no consumo de energia, sendo-lhes, por isso, dedicada uma atenção particular no estudo realizado.

Assim, considera-se relevante o desenvolvimento de estudos e ferramentas que permitam melhorar a eficiência dos processos industriais de processamento e de refrigeração associados ao sector agroindustrial, garantindo-lhes uma melhor sustentabilidade, aumentando a sua eficiência e reduzindo/monitorizando os consumos de energia e as emissões de dióxido de carbono. Porém,

é de salientar que são escassos os estudos ou projetos desenvolvidos nesta área, mais concretamente na criação de ferramentas computacionais que permitam fazer uma análise de diversos pontos relacionados com os processos de refrigeração (tanto a nível de consumos de energia como de impacto ambiental) e com as respetivas empresas com o objetivo de reduzir custos.

1.3. Objetivos e contribuição da dissertação

O propósito do presente trabalho reside no estudo das cargas térmicas e elétricas das câmaras de frio e a forma como os sistemas de refrigeração são utilizados no processamento e conservação de alimentos.

O elevado consumo de energia elétrica das empresas agroalimentares deve à imprescindível necessidade de utilização de sistemas de refrigeração, como tal, no presente trabalho são objeto de estudo as cargas provenientes das câmaras de frio de empresas agroalimentares, bem como os fatores que as influenciam de maneira a se ter uma perceção de onde é possível melhorar o rendimento energético.

A grande premissa do presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma ferramenta computacional, denominada FORECAST (*Ferramenta cOmputacional de pREvisão das Cargas Térmicas em câmaras de frio*), com a capacidade de calcular as cargas térmicas e elétricas de uma ou mais câmaras de frio, na qual é possível introduzir as diferentes características da câmara com o intuito de obter uma análise sobre o desempenho energético e identificar quais os fatores que podem ser melhor otimizados.

Esta ferramenta permite detetar os principais fatores que influenciam a diminuição da eficiência energética. Assim, é possível elencar e propor soluções para a melhoria da eficiência energética dos estabelecimentos, sendo um importante contributo para a sua sustentabilidade e desenvolvimento. Além de se apontarem potenciais soluções particulares, propõe-se um modelo para uma análise mais generalizada do problema de fundo.

Ao fazer a caracterização das empresas recorrendo a este software, cabe aos responsáveis tomar decisões em prol da redução do consumo de energia da empresa, e se tal for feito, as empresas tornar-se-ão mais competitivas, uma vez que a sua despesa no que se refere ao consumo de energia elétrica poderá ser reduzida.

Neste sentido, entende-se que a implementação generalizada da ferramenta poderá fornecer um contributo decisivo para a identificação e promoção das intervenções que se afigurarem mais adequadas para a melhoria da eficiência energética das empresas.

1.4. Visão geral e organização da dissertação

A presente dissertação é constituída por seis capítulos. No final de cada capítulo faz-se um breve sumário do seu conteúdo. A organização da dissertação é descrita de seguida.

No capítulo 1 apresenta-se o tema em estudo. Efetua-se uma breve abordagem sobre a importância da refrigeração na área alimentar, da importância da energia na cadeia do frio. De seguida, define-se o problema em estudo, a sua relevância prática e são delineados de forma sucinta os objetivos do presente trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma introdução sobre os diferentes tipos e características das câmaras de frio e onde são apresentados alguns trabalhos relacionados com o desenvolvimento de ferramentas computacionais que envolvem a temática do frio industrial, a conservação de produtos e a eficiência energética.

O capítulo 3 consiste na descrição das cargas térmicas e elétricas existentes em câmaras de refrigeração e/ou congelação, e onde são apresentadas as equações necessárias para os respetivos cálculos. Neste capítulo também é descrito o *software* escolhido para a elaboração da ferramenta computacional e justificada a sua escolha.

No capítulo 4, apresenta-se a ferramenta computacional. É descrito o modo de funcionamento desta, sendo exposto o modo como os dados devem ser introduzidos, as diferentes ações que a ferramenta fornece conforme as opções/dados escolhidos e é também descrita a programação (código) das principais partes do código.

O capítulo 5 consiste na validação da ferramenta computacional, onde são apresentados dados de empresas piloto, para depois se exporem os resultados obtidos através da simulação efetuada na ferramenta. Este capítulo integra uma discussão e análise dos resultados, na qual se justifica os valores das cargas previstos.

No capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões da presente dissertação e apresentam-se algumas sugestões para trabalhos a desenvolver no futuro.

2. Estado da Arte

2.1. Introdução

Neste capítulo é elaborada uma abordagem teórica aos temas que englobam esta dissertação. Visa permitir adquirir e/ou aprofundar um conjunto de conceitos que tornam a leitura mais clara nos capítulos subsequentes.

2.2. Câmaras de frio

Uma câmara frigorífica corresponde ao espaço físico onde são armazenados os produtos e que possuiu condições internas que permitem o controlo da sua refrigeração. Basicamente, as câmaras de frio dividem-se em dois grupos principais (Trott, 2000):

- Câmaras de refrigeração, que têm como objetivo protegerem os alimentos e produtos que possuem temperaturas próximas de 0°C.
- Câmaras de congelação, cujo objetivo reside em prolongarem a vida útil dos alimentos com temperaturas que podem chegar até -18°C.

Para além destes dois principais grupos, as câmaras de frio ainda se podem dividir quanto ao seu modo de construção, podendo ser modular ou pré-fabricada e em alvenaria.

As câmaras modulares ou pré-fabricadas são constituídas por secções que se encaixam e montam no local pretendido. Normalmente estas secções são padronizadas, contudo é possível construir câmaras de maiores dimensões, bastando acrescentar mais alguns painéis, sendo estes painéis ligados por junções metálicas. Estas características tornam este sistema vantajoso, pois permite uma construção em qualquer lugar, rápida e de baixo custo. Um exemplo deste tipo de câmara é apresentado na Figura 1.

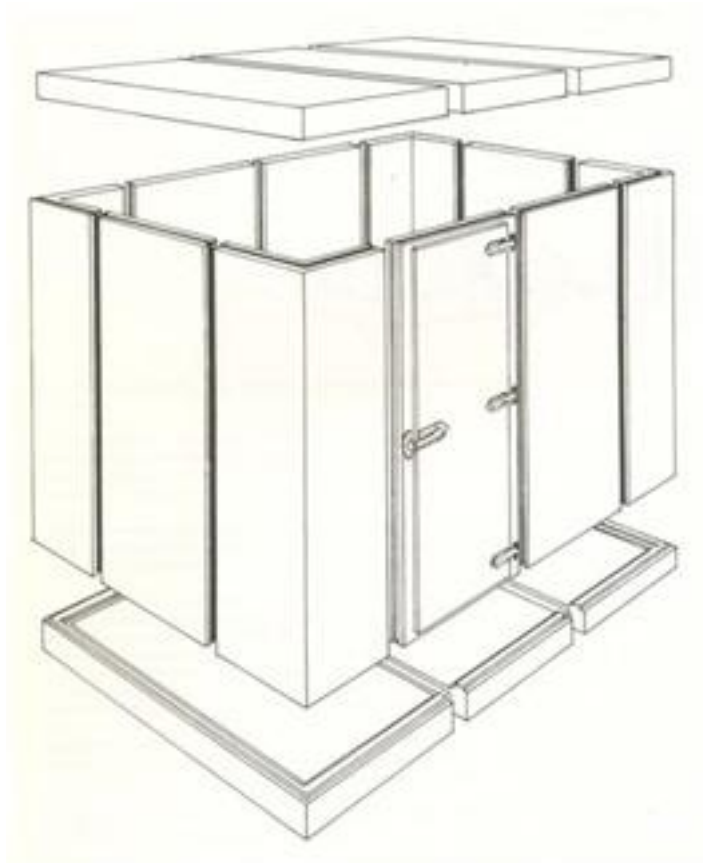


Fig. 1 - Exemplo de uma câmara frigorífica modular.

A construção em alvenaria apoia-se em fundações convencionais. Nas câmaras de média e alta temperatura (0°C a $+18^{\circ}\text{C}$), as paredes são construídas diretamente sobre as fundações, sendo o material isolante colocado entre a primeira e a segunda laje de betão. Nas câmaras de baixa temperatura (-1°C a -25°C), as paredes e a camada isolante apoiam sobre uma placa “suspensa”, construindo-se deste modo uma câmara de ar. Nas paredes em alvenaria é colocada uma barreira de vapor. Sobre essa barreira de vapor são colocadas duas ou três camadas de material isolante para que a espessura total seja adequada à temperatura interna e externa da câmara. Um exemplo da constituição das camadas que compõem uma câmara de alvenaria é apresentado na Figura 2.

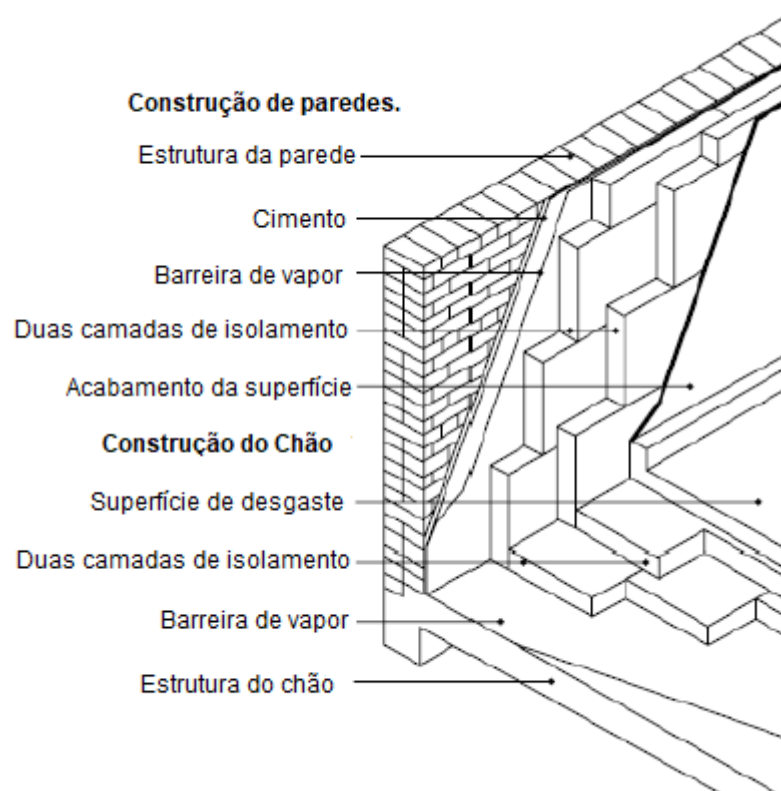


Fig. 2 - Constituição de uma parede em câmaras de alvenaria (Trott, 2000).

O isolamento térmico é um dos principais fatores a ter em conta num projeto de uma câmara de frio, uma vez que é responsável pela redução das trocas de calor (essencialmente por condução) da câmara com a envolvente. Para tal usam-se materiais com reduzido coeficiente de condutividade térmica, k . Dependendo do tipo de construção da câmara, o isolamento pode ser pré-fabricado (painéis sandwich) ou instalado no local (revestido ou projetado). O isolamento térmico desejável deve ter baixo coeficiente de transferência de calor, elevada impermeabilidade, ausência de odores e resistentes ao fogo. Os principais isolantes térmicos utilizados são a espuma rígida de poliuretano (PUR), o poliestireno expandido (EPS), a cortiça e a fibra de vidro (Neves Filho, 2000).

As câmaras de frio são propícias a armazenarem vapor devido à diferença de pressão entre o ar interior e o ar exterior. O projeto deve contemplar barreiras de vapor de modo a controlar a entrada de humidade na câmara. A humidade reduz a eficiência térmica do isolamento, aumentando as perdas de energia da câmara e consequentemente a carga de refrigeração e o consumo de energia. De modo a evitar este problema utilizam-se três tipos de barreiras de vapor (Chagas, 2006):

- Aplicação de uma camada fina de fluido ou plástico no isolamento, como por exemplo asfalto, emulsão betuminosa e resinas polímeras;
- Películas de vedação com filmes de metal;
- Construção pré-fabricada em painel sandwich.

2.3. Modelos de simulação

Foster *et al.* (2016) descrevem uma ferramenta de fácil utilização que permite aos operadores de câmaras frigoríficas prever o consumo de energia das suas lojas, tendo em conta a variação das cargas térmicas devido a alterações nas condições ambientais e padrões de utilização da loja. A ferramenta desenvolvida no âmbito do projeto *Improving Cold storage Equipment in Europe* (ICE-E) também auxilia os utilizadores a identificar quais as características de armazenamento em frio e os parâmetros operacionais que têm um maior impacto no consumo de energia e avaliar medidas que visam reduzi-lo.

A base de dados deste projeto engloba não só pequenas e médias empresas, mas também grandes multinacionais, sendo os dados recolhidos através de uma plataforma online. No entanto, foi ainda possível solicitar uma auditoria no local a uma determinada empresa se assim o desejasse, uma vez que estava disponível uma equipa de 25 engenheiros com esse propósito (Foster *et al.*, 2013). Uma das ferramentas foi desenvolvida em formato Excel, requerendo a introdução de vários fatores sobre as condições da câmara, como por exemplo:

- As condições de fronteira (paredes, chão, teto e porta da câmara frigorífica), onde terão que ser indicadas as respetivas áreas de superfície, as temperaturas no exterior de cada uma e se estão ou não expostas ao sol. Sendo que para o chão será necessário definir-se a potência média da capacidade de aquecimento.
- As condições da porta, onde terão que ser introduzidas as dimensões desta e a temperatura exterior, o número de aberturas e a sua duração e o tipo de proteção da porta (cortina normal, cortina de ar ou sem proteção).
- Processo de refrigeração, no qual será necessário indicar a temperatura no interior da câmara, o tipo de refrigerante, a temperatura do meio onde se encontra o condensador e o seu rendimento isentrópico.
- Cargas de calor dentro da câmara, como o tipo de iluminação no interior da câmara e a duração da sua operação, o pessoal que entra e o tempo que lá permanece e o tipo de evaporadores e condensadores também são fatores que terão que ser considerados.

Na Figura 3 é exposta a página de inserção de dados desta ferramenta.

Foram desenvolvidos dois modelos. Estes modelos foram denominados de modelos “simples” e “complexo”. Segundo Foster *et al.* (2013), o modelo “simples” prevê o consumo de energia em regime estacionário, enquanto que o modelo “complexo” requer a inserção de dados meteorológicos para cálculo da energia em regime transitório, diariamente, de modo a se prever a variação do consumo anual de energia.

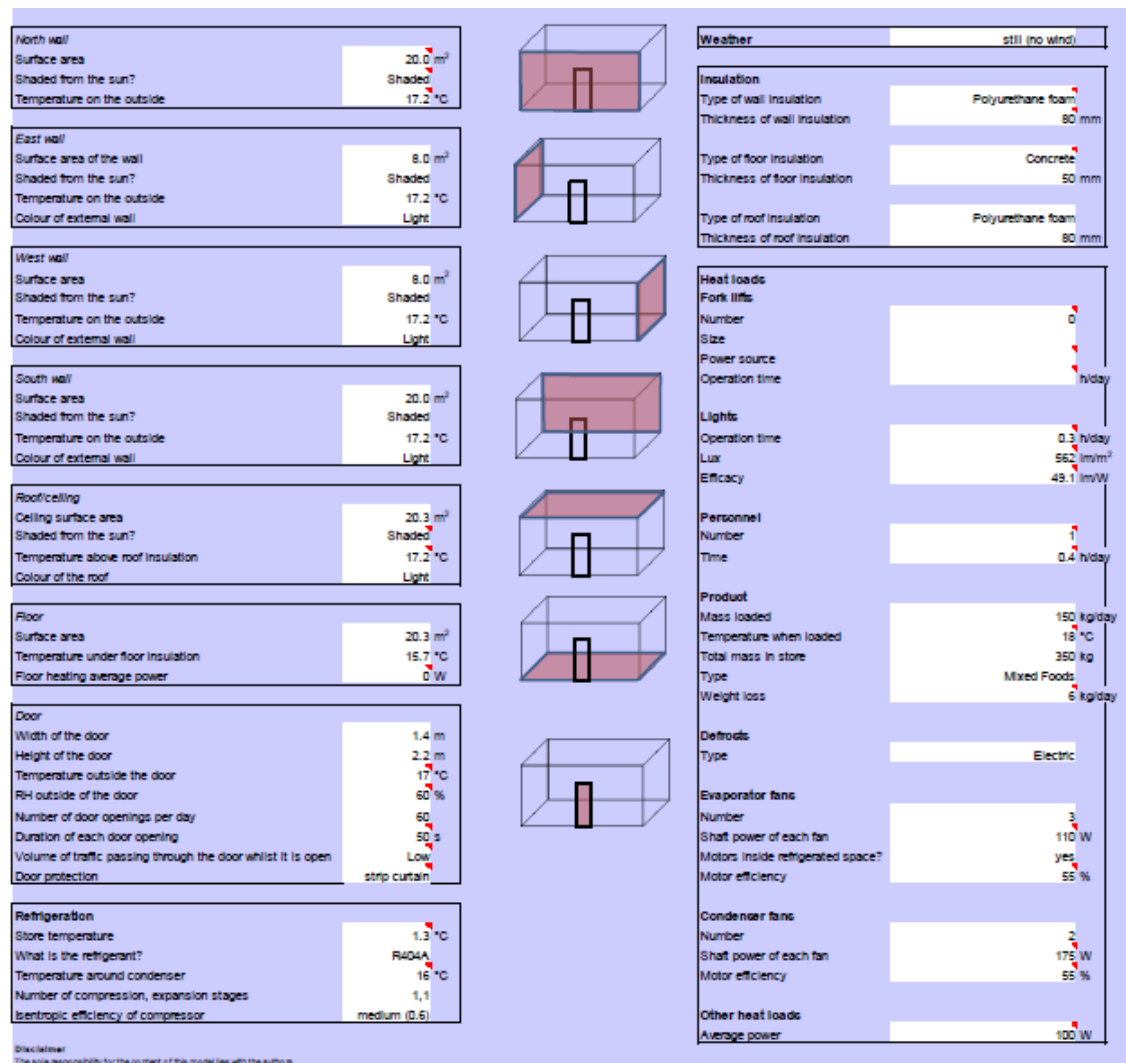


Fig. 3 - Exemplo do modelo "simples" (Foster *et al.*, 2013).

No modelo simples, os valores das cargas térmicas correspondem à média diária. Os resultados obtidos permitem ao utilizador adquirir conhecimento sobre o consumo de energia atual e a sua distribuição por componentes, para depois comparar com a poupança energética expectável que é possível atingir. Na Figura 4 encontra-se ilustrada a apresentação dos resultados obtidos com

o modelo “simples”. Encontram-se também representadas potenciais boas práticas de melhoria do consumo de energia, sendo também apresentados os diferentes consumos de energia existentes na câmara frigorífica.

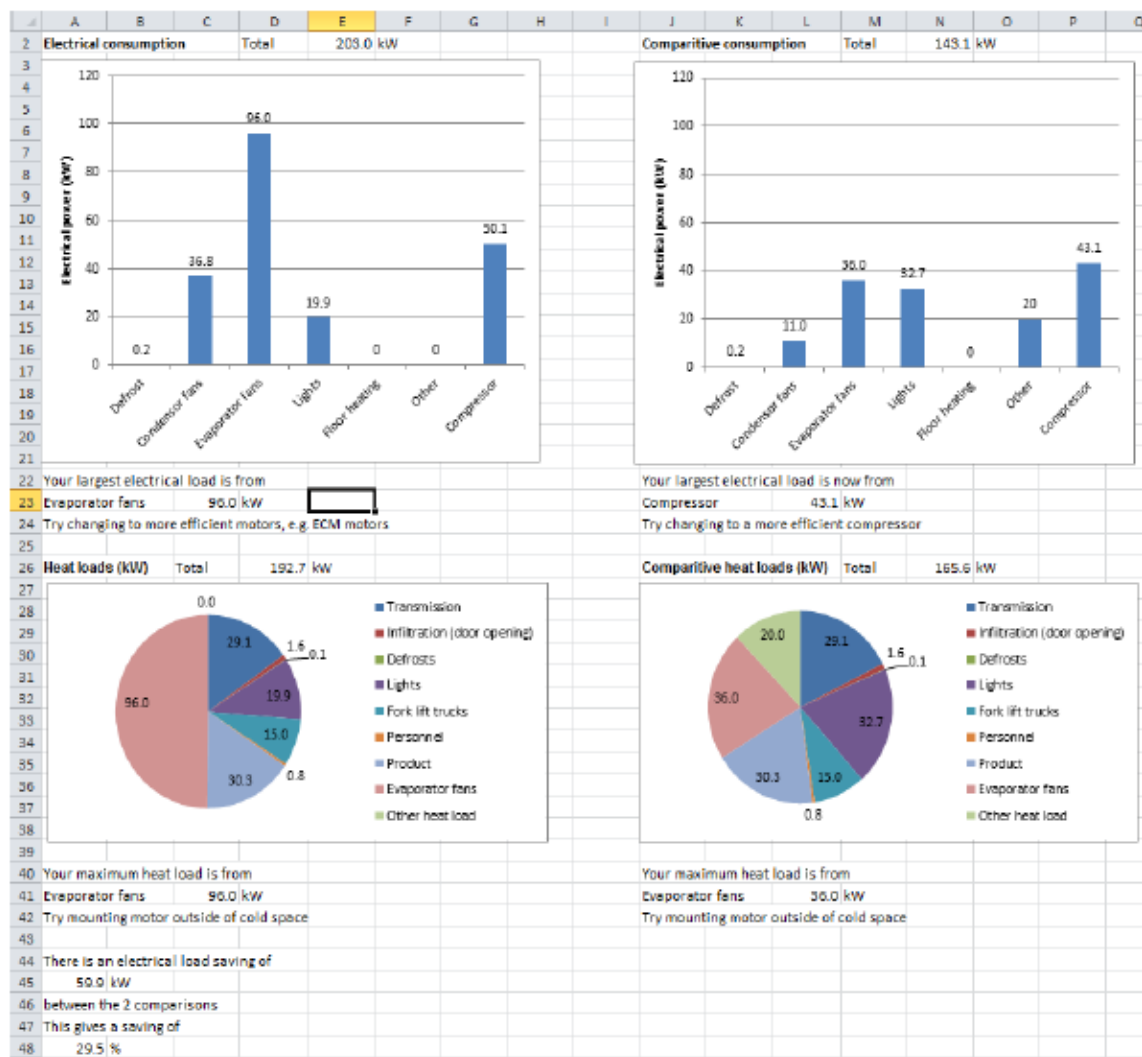


Fig. 4 - Exemplo dos resultados do modelo "simples" (Foster *et al.*, 2013).

O modelo complexo é baseado no modelo simples, mas apresenta algumas melhorias. O consumo de energia é calculado a cada hora durante um ano inteiro, assim como os restantes parâmetros que variam ao longo do dia, como a temperatura, humidade relativa e velocidade do ar ambiente, a temperatura do solo, a radiação solar e a posição do sol no céu. Todos os outros parâmetros são fixos ao longo do ano.

Os gráficos representados na Figura 5 correspondem às previsões do consumo de energia e às cargas térmicas diárias de cada mês, obtidos com este “modelo complexo”. Como seria de esperar, durante os meses mais quentes, o consumo de energia aumenta, uma vez que a diferença de temperatura entre o exterior e o interior da câmara é maior. Na mesma figura é possível analisar o consumo da potência elétrica média por mês ao longo das 24 horas do dia.

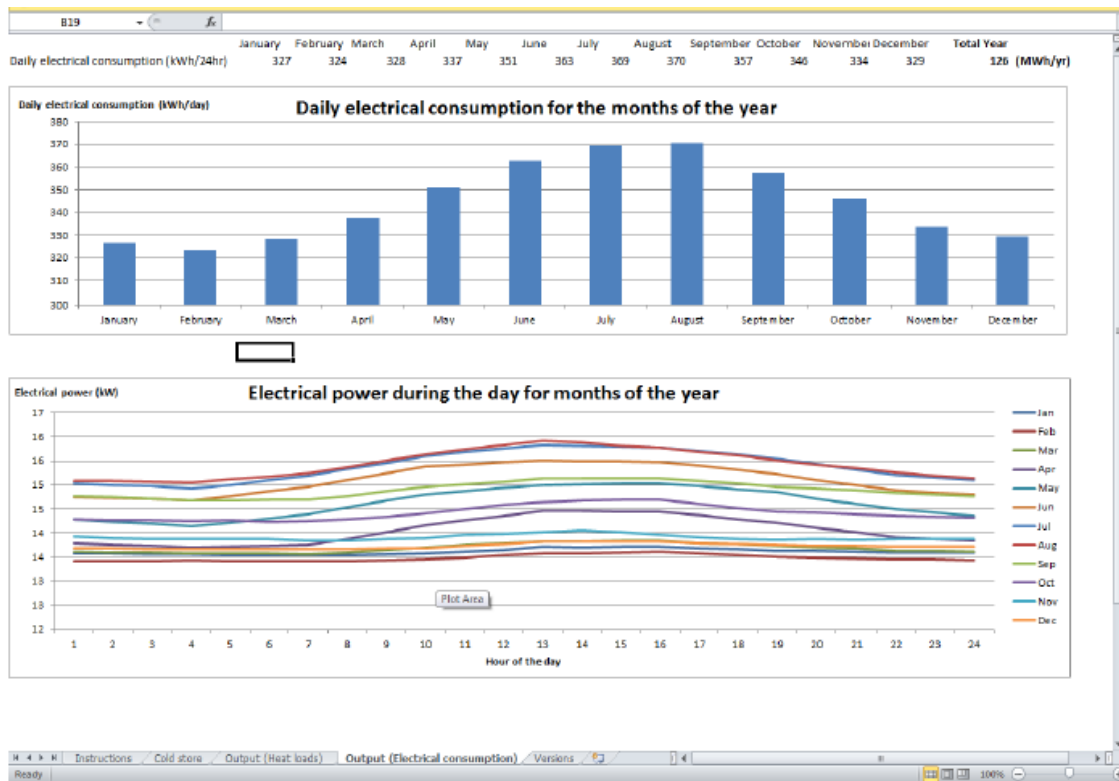


Fig. 5 - Exemplos dos resultados do modelo complexo (Foster *et al.*, 2013).

Um sistema moderno de garantia da qualidade e da segurança alimentar deve basear-se na prevenção através da monitorização, registo e controlo dos parâmetros críticos durante todo o ciclo de vida do produto, incluindo a fase de pós-processamento e estender-se até ao momento de utilização pelo consumidor final (Evans *et al.*, 1991). Tendo em conta estes aspetos, o armazenamento e a distribuição são os pontos mais fracos na cadeia dos alimentos, e o seu controlo efetivo é importante para a viabilidade comercial, uma vez que em muitos casos se desviam das suas especificações (Gogou *et al.*, 2013). Com o intuito de mitigar estas dificuldades foi desenvolvido o projeto FRISBEE (*Food Refrigeration Innovations for Safety, consumers' Benefit, Environmental impact and Energy optimisation along the cold chain in Europe*). O projeto visou fornecer novas ferramentas, conceitos e soluções para melhorar as tecnologias de

refrigeração ao longo da cadeia alimentar. Em todas as fases são consideradas as necessidades dos consumidores e da indústria, de modo a obter uma maior compreensão dos desvios entre os dados reais da cadeia do frio e as especificações. Foram desenvolvidos modelos matemáticos que combinam a qualidade e segurança dos alimentos, com os aspetos económicos, energéticos e ambientais com o intuito de prever e gerir a qualidade dos produtos alimentares na respetiva cadeia de frio (Gogou *et al.*, 2013).

No âmbito do projeto FRISBEE, podem ser utilizadas informações t - T (tempo versus Temperatura) específicas do produto. Estes dados permitem a simulação de cenários de cadeias de frio realistas com base em dados reais que podem levar a ações corretivas visando a otimização da eficiência e da vida útil comercial.

Para que tais informações estejam disponíveis nesta plataforma, foram realizadas várias recolhas sistemáticas de dados, para identificação e avaliação dos pontos fracos da cadeia de frio para diferentes tipos de produtos refrigerados e congelados. Para além dos dados específicos que é necessário fornecer para criar os perfis t - T é também necessário fornecer mais algumas informações básicas, tais como o tipo de produto alimentar, a embalagem, as condições de armazenamento recomendadas, o estado da cadeia de frio, informações sazonais, informações sobre o equipamento de armazenamento e de distribuição, as especificações do equipamento de recolha de dados, a posição do equipamento de recolha de dados e o formatos que os dados recolhidos devem possuir. O processamento desses dados atende às necessidades do projeto FRISBEE e às necessidades dos utilizadores. Por conseguinte, o banco de dados baseado na Web fornece informações úteis e utilizáveis para os utilizadores.

No banco de dados, todos os perfis t - T foram organizados de acordo com os seguintes campos:

- Fase da cadeia de frio;
- Temperatura de armazenamento;
- Caracterização dos alimentos;
- Tipo de alimento;
- Produto alimentar;
- Embalagem;
- País de origem.

Através destes dados é possível calcular a vida útil restante de um produto alimentar específico em diferentes fases da cadeia de frio correspondente a um perfil t - T .

Para a recolha de dados foi desenvolvida uma plataforma chamada de *Data Collection* onde são recolhidos continuamente dados dos intervenientes da cadeia de frio (indústria e distribuidores) e inquiridos aos consumidores, de modo a incluir todas as fases da cadeia de frio (da produção ao consumo). Todos os dados recebidos nesta plataforma são posteriormente processados, por forma que os resultados de saída da base de dados sejam (ver Figura 6):

- Perfis t - T atuais;
- Valor médio, valor mínimos e máximo para todo o perfil t - T ;
- Temperatura efetiva do perfil t - T .

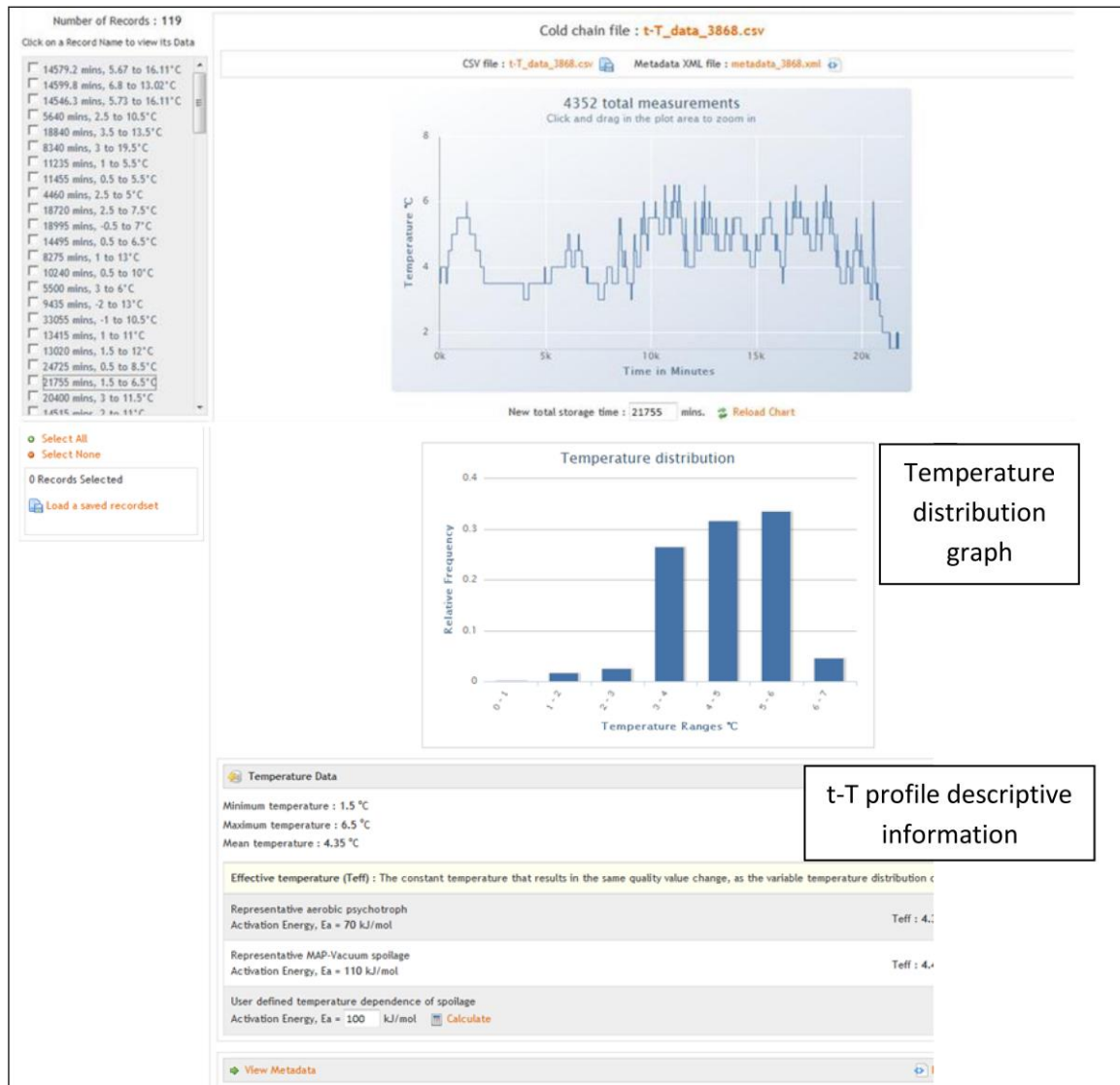


Fig. 6 - Descrição da saída da Plataforma da recolha de dados da cadeia de frio (Gogou *et al.*, 2013).

Para trabalhar os dados recolhidos na ferramenta anterior foi criada uma outra plataforma (*Cold Chain Database*), onde os dados podem ser recuperados e disponíveis para o uso dos utilizadores. Nesta plataforma é possível recuperar perfis t - T de produtos específicos ao longo da cadeia de frio usando critérios de procura como a fase ou etapa da cadeia de frio, temperatura de armazenamento dos alimentos, caracterização dos alimentos, entre muitos outros fatores. Esta base de dados conta com mais de 5500 perfis t - T (Gogou *et al.*, 2013) e continua a ser constantemente atualizada com novas entradas de dados através de contributos adicionais.

Assim, com todas estas informações na base de dados, o utilizador consegue construir uma sequência específica das fases da cadeia de frio para os produtos alimentares, com base nos critérios que ele próprio decidir introduzir.

A *Cold Chain Predictor* é outra ferramenta incorporada no projeto FRISBEE que permite, tendo em conta os perfis t - T presentes na base de dados, simular uma cadeia de frio apresentando neste caso gráficos sobre a distribuição da temperatura (efetiva) (ver Figura 7) e calcular a vida útil restante do produto em qualquer fase que este se encontre (ver Figura 8). Estas simulações são realizadas com base no método de Monte Carlo (Gogou *et al.*, 2013), gerando distribuições de tempo/temperatura para a fase da cadeia de frio e o produto selecionado. Os resultados obtidos representam cenários realistas para o comportamento dos produtos alimentares e com base nestes, torna-se possível tomar ações corretivas com o objetivo de otimizar a eficiência da cadeia de frio, garantindo a qualidade dos produtos e aumentando a sua validade.

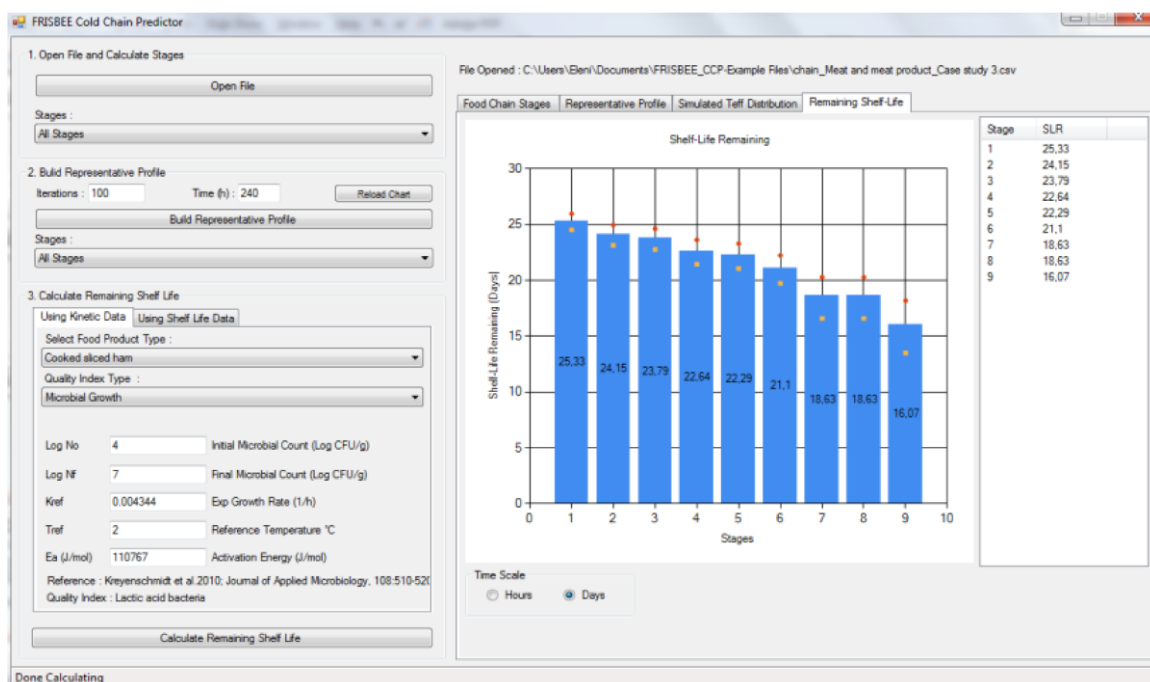


Fig. 7 - Determinação do perfil representativo e distribuição de temperatura para todas as fases (Gogou *et al.*, 2013).

Pode-se dizer que o objetivo deste projeto residiu em estimar a vida útil restante dos produtos alimentares após cada fase da cadeia de frio, com base num grande número de perfis t - T disponíveis na base de dados e recuperáveis com base em critérios definidos pelo utilizador.

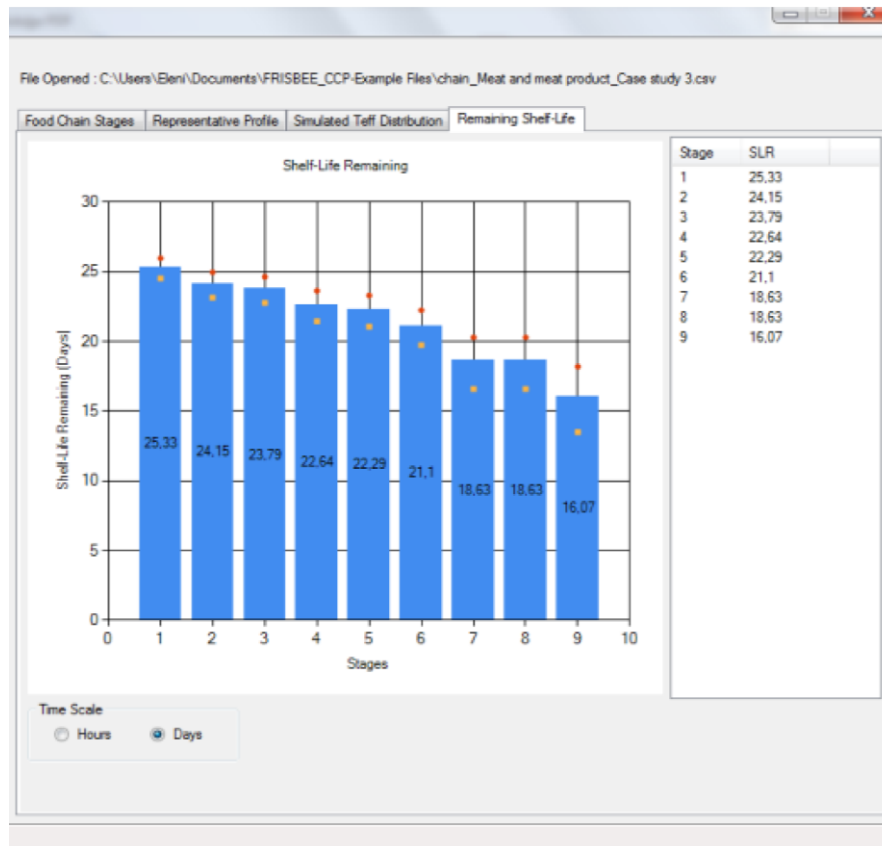


Fig. 8 - Calcular a vida útil restante do produto em cada fase da cadeia de frio com base num perfil representativo construído utilizando dados cinéticos (Gogou *et al.*, 2013).

O projeto CHILL-ON (*Developing and integrating novel technologies to improve safety, transparency and quality insurance of the chilled/frozen food supply chain*), realizado por um consórcio composto por 26 parceiros de 13 países diferentes, tem por objetivo melhorar a qualidade, segurança e transparência na cadeia de fornecimento de alimentos refrigerados (UE, 2010). Os objetivos deste projeto estão devidamente separados em 4 grupos (ver Figura 9).

1. O primeiro consistiu no desenvolvimento e validação de ferramentas para a avaliação do risco com base na microbiologia. Assim foi desenvolvida uma ferramenta de Avaliação Quantitativa de Riscos Microbianos (*Quantitative Microbial Risk Assessment - QMRA*), que pode ser combinada com o princípio de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (*Hazard Analysis and Critical Control Point - HACCP*) para melhorar a segurança alimentar através de uma abordagem preventiva, tendo em conta fatores ambientais como as temperaturas e considerando as características alimentares. O módulo QMRA é baseado em modelos matemáticos de modo a calcular o crescimento de peptógenos alimentares relevantes, estimando a probabilidade de infecção após o consumo do alimento. Os níveis de risco para o consumidor no final da cadeia de abastecimento

podem ser avaliados em qualquer ponto da cadeia, com base nos registos de temperatura em tempo real e nos dados históricos da parte da cadeia de abastecimento onde faltam as gravações de temperatura. Este módulo baseia-se num banco de dados interno que contém dados para diferentes espécies e produtos microbianos

2. O segundo pretendeu desenvolver e validar tecnologias de bio-deteção para a deteção quantitativa de microrganismos. Para tal utilizou-se um novo método de Reação Quantitativa em Cadeia de Polimerase (*Polymerase Chain Reaction* - PCR), que permite a quantificação do microrganismo dentro de algumas horas.
3. O terceiro objetivo é comparar as aplicações de refrigeração/arrefecimento e as possibilidades de embalagem. Neste caso, diferentes tecnologias de refrigeração foram adquiridas para desenvolver protocolos de refrigeração ótimos e um modelo de distribuição de temperatura em embalagens de alimentos, paletes e recipientes. Também houve uma atenção especial às condições das embalagens, como por exemplo via rótulos inteligentes.
4. Por fim, o último objetivo consiste em desenvolver Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para melhorar a rastreabilidade, gestão da cadeia de abastecimento e gestão da qualidade. De modo a cumprir estes objetivos foram desenvolvidas várias soluções de *software* e *hardware* como por exemplo:
 - Novas etiquetas inteligentes que permitam a transferência sem fios do histórico de temperatura do produto;
 - Unidades que recebem o sinal das etiquetas inteligentes e o encaminham para o um servidor;
 - Unidades de gestão localizadas nos veículos de transporte irão dispor de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que irá permitir a localização do respetivo veículo. O sistema TRACECHILL fornece ao utilizador uma visão de mapa da localização atual e histórica de um produto à medida que ele se move pela cadeia de abastecimento. Devido a fatores não esperados, como paragens ou atrasos não programados, é possível calcular o efeito imediato sobre os produtos, e ao conhecer a localização exata do produto pode decidir-se se é necessário reencaminhar o produto para obter o valor máximo para a sua condição de qualidade. Um Sistema de Apoio à Decisão (*Decision Support System* - DSS) avaliará os cálculos feitos pela QMRA e por um software de previsão da vida útil de prateleira do produto (*Shelf Life Predictor* - SLP), considerando os dados de temperatura das etiquetas inteligentes ou outros dispositivos de registo de temperatura, e dará alertas se houver um risco potencial. O módulo DSS fornece ao utilizador a informação crítica necessária para tomar uma decisão apropriada relativamente a um produto, prevendo os riscos aos quais o alimento pode ser exposto durante o processo de distribuição. Baseado no modelo

ambiental, microbiano e QMRA da cadeia de abastecimento, prevê a vida útil restante do produto em cada fase da cadeia de abastecimento. O DSS alerta e notifica o utilizador sempre que há uma indicação de que um produto está a deteriorar-se; O SLP permite estimar a vida útil restante, em tempo real, de um produto em qualquer ponto da cadeia de produtos. Baseia-se em modelos matemáticos para o crescimento microbiano de indicadores de deterioração específicos, que são baseados em dados laboratoriais. O software calcula o crescimento bacteriano, levando em consideração variações de temperatura durante o transporte e armazenamento. Por outro lado, os indicadores tempo-temperatura (*Time Temperature Indicators* - TTIs) consistem em etiquetas simples e baratas anexadas a pacotes de alimentos, que mostram o histórico de temperatura de um produto através da mudança de cor. O princípio dos diferentes indicadores baseia-se em reações enzimáticas, químicas ou microbiológicas dependentes da temperatura que provocam uma alteração de cor nos rótulos em função das condições de tempo e temperatura;

- Um software de gestão da cadeia de produtos (*Supply Chain Management* - SCM) que fornece aos utilizadores uma visão geral de todos os seus produtos/remessas e todas as informações relevantes relacionadas a ele.

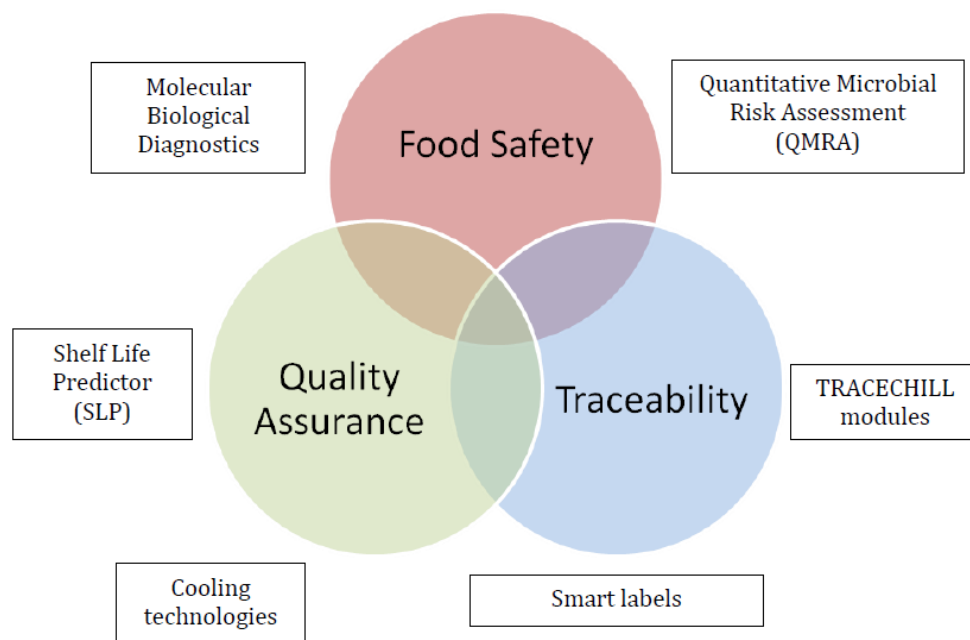


Fig. 9 - Tecnologias e soluções no projeto CHILL-ON (EU, 2010).

Para além destes *softwares*, a indústria alimentar deve dispor de sistemas e procedimentos para identificar as outras empresas às quais os seus produtos foram fornecidos. Assim, o projeto CHILL-ON visou fornecer soluções adequadas e acessíveis que, além disso, proporcionam um valor acrescentado adicional às partes interessadas através da possibilidade de melhorar a gestão da cadeia de abastecimento.

Em contexto nacional, e também no âmbito de caracterizar o consumo de energia das empresas do setor agroindustrial e providenciar métodos, meios e estratégias com o intuito de potencial a eficiência energética, foi desenvolvido o projeto InovEnergy (Nunes *et al.*, 2014a, 2014b, 2014c, 2015, 2016; Gaspar *et al.*, 2016, Silva *et al.*, 2016). Um dos resultados deste projeto residiu no desenvolvimento de uma ferramenta computacional com um algoritmo de análise, denominado Cool-OP (*Cooling Optimization Program*), que permite avaliar o desempenho energético global de uma empresa no sector agroindustrial (Neves *et al.*, 2013, 2014a, 2014b). Esta ferramenta computacional é extremamente simples, intuitiva e de fácil compreensão de modo a estar acessível a todos os operários da indústria do frio independentemente das suas habilitações.

A ferramenta computacional foi desenvolvida no *software MATLAB*, que através do *GUIDE (Graphical User Interface Design Environment)* permite criar janelas de menus e janelas que ilustram graficamente as correlações, permitindo que qualquer utilizador visualize o estado atual da sua empresa em termos de consumo energético e possa verificar pontos sugestivos para redução do mesmo. As correlações referidas foram obtidas através de uma recolha intensiva de dados no terreno sobre as características de uma determinada amostra de empresas. Foram também desenvolvidas com base no trabalho de Nunes *et al.* (2014a, 2014b, 2014c, 2015, 2016) de modo a representar o comportamento médio, numa perspetiva energética, na indústria da carne existente no interior de Portugal. Esta recolha de informação incidiu sobre vários parâmetros essenciais que caracterizam as empresas deste tipo de indústria, nomeadamente: a matéria-prima processada, o consumo de energia, o volume das câmaras de refrigeração e a potência nominal dos compressores. É importante referir, que no que diz questão ao consumo de energia, é contabilizada não só a energia consumida para a refrigeração ou processamento dos produtos, mas também os restantes gastos da empresa (iluminação, escritório e outros).

Em relação ao funcionamento da ferramenta computacional, como se pode visualizar na Figura 10, esta disponibiliza ao utilizador, num primeiro caso, que seja indicada qual a indústria em que se enquadra a empresa a analisar, nomeadamente a indústria da carne, do peixe, da fruta/vegetais e dos produtos derivados de leite. Dentro de cada uma das diferentes fileiras deste sector existem subcategorias e no caso concreto que se vai analisar, Indústria da Carne, encontram-se os matadouros, as salsicharias e os presuntos. Por fim, é exibida uma janela onde são introduzidos os valores dos parâmetros que irão caracterizar a empresa como a quantidade

de matéria-prima processada anualmente [ton], consumo de energia elétrica anual [MWh], volume total das câmaras de refrigeração [m³] e potência nominal dos compressores [kW].



Fig. 10 - Diferentes passos para a análise da empresa (Neves *et al.*, 2013).

Depois de inseridos os dados solicitados, o programa processa de imediato a informação introduzida e gera os gráficos que relacionam os diversos parâmetros de avaliação da empresa. Todos os gráficos apresentados possuem um sombreado a verde que representa um intervalo de confiança de 5%, tendo em conta os valores estatísticos utilizados para criar as correlações. Para além disso, é ainda exibido em cada gráfico, o valor percentual do desvio do ponto em análise (ponto da empresa) face ao valor da média nacional portuguesa (ver Figura 11).

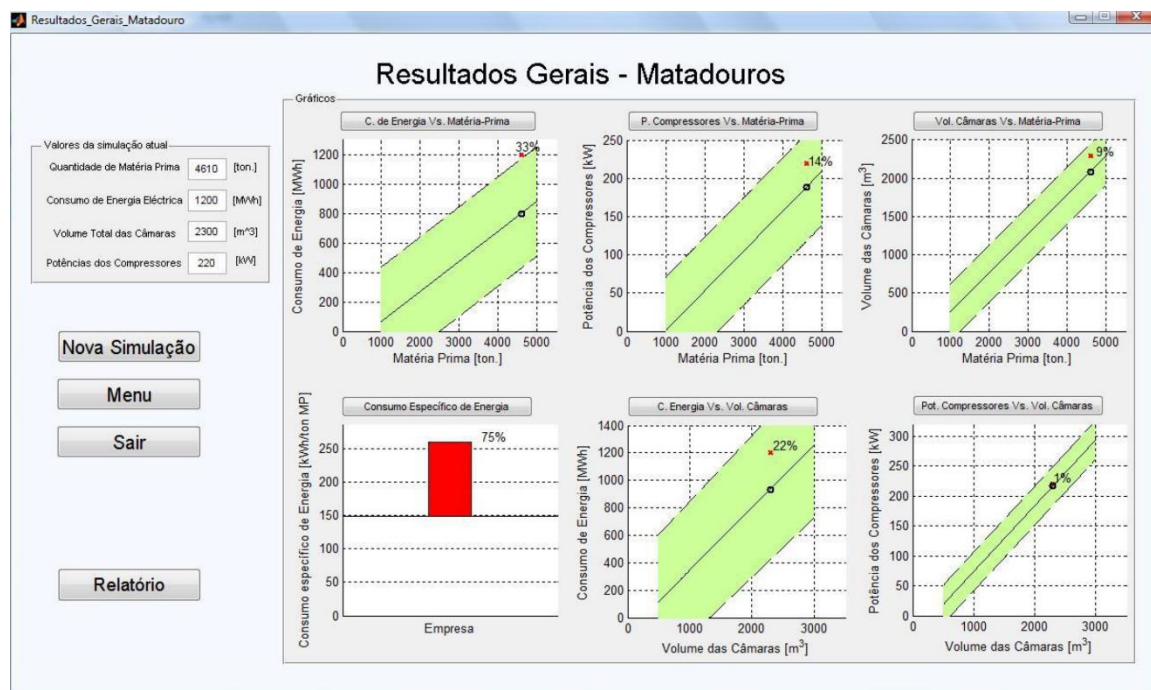


Fig. 11 - Janela dos resultados gerais com um exemplo de simulação (Neves *et al.*, 2013).

2.4. Nota conclusiva

No presente capítulo foi realizada uma introdução as características e processos inerentes às câmaras de frio, de maneira a explicar os diferentes casos que podem ser encontrados.

Apresentou-se uma descrição de algumas ferramentas computacionais existentes, com o intuito de ilustrar os diferentes recursos que estas possuem, de maneira a escolher uma linha a seguir para a elaboração da ferramenta computacional proposta nesta dissertação.

Tendo em conta os fatores analisados das ferramentas apresentadas, decidiu-se apoiar o desenvolvimento da ferramenta computacional no conceito e estrutura da ferramenta computacional desenvolvida no projeto ICE-E, uma vez que foi esta que foi de encontro com as características que eram pretendidas (simples e fácil de usar) para a elaboração da ferramenta proposta.

3. Materiais e Métodos

3.1. Introdução

O presente capítulo aborda a formulação matemática que rege o cálculo das cargas térmicas e elétricas do sistema (câmara de refrigeração ou congelação). São enunciadas as principais equações utilizadas para o cálculo dos diferentes fatores que originam cargas. Ainda no seguimento da descrição teórica, é realizada uma introdução da linguagem de programação utilizada.

3.2. Cargas térmicas em câmaras de frio

É definida como carga térmica, a porção de calor latente e sensível que deve ser retirado de um ambiente, de modo a serem mantidas as condições de temperatura e humidade estabelecidas para o entreposto frigorífico (Collin, 1975). Estas cargas são a causa do aumento da temperatura num espaço climatizado e a razão pela qual existem sistemas de refrigeração com capacidade para anular o calor resultante.

A primeira análise a ser feita no projeto de refrigeração é o cálculo das cargas térmicas. Através do cálculo das cargas térmicas pode-se efetuar uma previsão dos consumos de energia associados ao sistema projetado e deste modo proceder a uma análise económica. Em ASHRAE (2006d) são identificadas algumas das principais fontes responsáveis pelas variações das propriedades térmicas (devido à transferência de calor para espaços refrigerados), classificando as fontes de calor como: externas (paredes, chão, telhados, janelas, portas, partições, condições atmosféricas), internas (ocupantes, iluminação, equipamento, produtos.), e cargas geradas pelo próprio sistema (ventiladores). Na Tabela 1 encontram descritas estas componentes.

Tabela 1. Cargas térmicas das câmaras de frio.

Cargas térmicas externas
Carga térmica por condução através das paredes, teto e chão (Q1).
Carga térmica da infiltração de ar exterior (Q2).
Cargas térmicas internas
Carga térmica da iluminação da câmara (Q3).
Carga térmica do pessoal (Q4).
Carga térmica dos empilhadores (Q5).
Carga térmica dos produtos (Q6).
Cargas geradas pelo próprio sistema
Carga térmica dos ventiladores (Q7).
Carga térmica do sistema de descongelamento (Q8).

Carga térmica por condução térmica através das paredes, teto e pavimento (Q1):

Para o cálculo da carga térmica por condução através das paredes, teto e pavimento é essencial ter em conta o modo como é feita a transferência de calor.

Os dois tipos de transferência de calor através das paredes, teto e pavimento são a condução e a convecção.

A condução pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida de uma região de alta temperatura para outra de baixa temperatura dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contacto direto (Holman,1983). A lei empírica da condução de calor, “*Lei de Fourier*”, estabelece qual o fluxo de calor por condução, em uma dada direção do fluxo e o gradiente de temperatura naquela direção. Deste modo determina-se a transmissão de calor por condução (Holman,1983) pela Equação 1:

$$\frac{q}{A} = -k \frac{\partial T}{\partial x} \tag{1}$$

Integrando esta expressão tem-se:

$$q = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{2}$$

- q - Potência térmica [W];
- k - Condutividade térmica do material [$\text{W m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$];
- A - Superfície da temperatura considerada [m^2];
- ΔT - Diferença de temperatura entre as duas faces da parede considerada [$^\circ\text{C}$];

- Δx - Diferença de espessura entre as duas faces da parede considerada [m].

A convecção é definida como uma transferência de calor em que a energia térmica é transmitida mediante transporte de matéria, havendo, portanto, um deslocamento de partículas (Holman, 1983).

A Equação 3 representa a equação de *Newton* de transferência de calor por convecção:

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (3)$$

Através da Equação 1 e 2, obtém-se a Equação 4:

$$Q1 = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (4)$$

onde, $Q1$ [W] representa a carga térmica através das paredes, teto e pavimento, U [$W m^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$] o coeficiente global de transmissão de calor da parede considerada.

Carga térmica por infiltração de ar exterior (Q2):

A carga térmica por infiltração corresponde à potência térmica que resulta da troca de duas massas de ar entre ambientes em desequilíbrio térmico. No caso das câmaras frigoríficas, a troca de ar dá-se entre o ar refrigerado e o ar da sua envolvente externa, devido à abertura da porta. Outras causas como fendas, pequenos orifícios ou mesmo a porosidade das próprias superfícies que separam os dois ambientes, contribuem para o aumento deste tipo de carga, adicionando componentes latentes e sensíveis ao espaço refrigerado (ASHRAE, 2006d).

A Equação 5 é utilizada para o cálculo desta carga térmica:

$$Q2 = m_{po} \cdot [c_p \cdot (T_o - T_i) + (X_o - X_i) \cdot (l_{fu} + l_v)] \cdot t_{po} \cdot \frac{N_p}{(24 \cdot 3600)} \quad (5)$$

em que m_{po} [$kg s^{-1}$] representa a massa que flui através de uma porta aberta, c_p [$kJ kg^{-1} K^{-1}$] o calor específico do ar, T_o e T_i [$^\circ C$] as temperaturas exterior e interior, respetivamente, X_o e X_i [kg_{vap}/kg_{mist}] a concentração de água no ar dentro e fora da câmara, l_{fu} o calor latente

de vaporização [kJ kg^{-1}] e l_v [kJ kg^{-1}] o calor latente de congelamento, t_{po} [seg] a duração de cada abertura da porta e N_p o número de aberturas da porta por dia.

Carga térmica da iluminação da câmara (Q3):

É altamente improvável que uma loja frigorífica consiga obter iluminação apenas por via natural (por exemplo através de janelas) e, portanto, a iluminação terá que ser originária de fontes de luz artificial (lâmpadas). Assim sendo, este fator não pode ser menosprezado no cálculo das cargas térmicas, onde a sua potência total é gerada pela radiação emitida pelas luzes e por perdas por efeito de Joule que resultam do tempo de funcionamento destas. A Equação 6 é utilizada para calcular esta carga térmica.

$$Q3 = \frac{P_3 \cdot t_3}{24} \quad (6)$$

onde, P_3 representa a energia elétrica da luz que resulta do fluxo luminoso distribuído uniformemente sobre o chão e as paredes que é dividido pela eficiência das lâmpadas e t_3 é o tempo de funcionamento das lâmpadas.

Carga térmica do pessoal (Q4):

Os colaboradores e demais pessoas que entram na câmara frigorífica também fornecem uma carga térmica que deve ser retirada pelo sistema, calculada pela Equação 7:

$$Q4 = 272 - 6 \cdot T_i \quad (7)$$

onde, T_i [$^{\circ}\text{C}$] representa a temperatura interna da câmara de frio. No entanto, caso exista um grande volume de pessoas a entrar na câmara esta equação é multiplicada por 1,25 de maneira a compensar esse fator (ASHRAE,2006a).

Carga térmica dos empilhadores (Q5):

A utilização de empilhadores dentro de uma câmara de frio é outro fator a ter em conta para o cálculo das cargas térmicas. Para tal utiliza-se a Equação 8:

$$Q5 = \frac{N_5 \cdot t_5 \cdot P_5}{24} \quad (8)$$

em que N_5 representa o numero de empilhadores utilizados, t_5 o período de tempo que estes operam dentro da câmara e P_5 a potência do empilhador.

Carga térmica dos produtos (Q6):

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

Como se trata de câmaras de refrigerados, utiliza-se a Equação 9 (ASHRAE, 2006b):

$$Q6 = \frac{m_p \cdot C_p \cdot (T_p - T_i) + (M_{wp} \cdot l)}{24 \cdot 3600} + Q_r \quad (9)$$

onde, m_p [kg] é a massa de produto introduzido por dia, C_p [kJ kg⁻¹ °C⁻¹] o calor específico acima da temperatura de congelação, T_p [°C] a temperatura de entrada do produto, T_i [°C] a temperatura do interior da câmara, $(M_{wp} \cdot l)$ [kJ] o calor latente de congelamento e Q_r [W] o calor libertado pela respiração (somente para produtos hortofrutícolas), que é calculado pela Equação 10:

$$Q_r = a \cdot e^{T_i \cdot b} \quad (10)$$

em que a e b são coeficientes de respiração indicados em ASHRAE (2006b).

Carga térmica dos ventiladores (Q7):

Os motores elétricos, quer estejam dentro do recinto, ou em qualquer ponto do fluxo de ar ou mesmo nos ventiladores, adicionam carga térmica sensível ao sistema devido às perdas nos enrolamentos. Esta carga, tal como as restantes, precisa ser retirada pelo equipamento frigorífico. É preciso levar em conta se o motor está em funcionamento dentro ou fora da câmara. Para calcular a devida carga térmica utiliza-se a Equação 11:

$$Q7 = \frac{N_7 \cdot S}{\mu_7} \quad (11)$$

onde, N_7 representa o número de evaporadores, S a potência do motor e μ_7 o rendimento do motor. No entanto, quando o motor se encontra fora a câmara de frio, o μ_7 assume valor 1.

Carga térmica do sistema de descongelação (Q8):

As perdas de calor devido à descongelação dos evaporadores ocorrem porque é necessária uma certa quantidade de calor para derreter toda a água congelada que entrou na sala através da entrada dos produtos e abertura de portas. Como tal, utiliza-se a Equação 12 para as calcular:

$$Q8 = \left(\frac{1}{\mu_9} - 1 \right) \cdot \left(\frac{m \cdot (X_o - X_i) \cdot l \cdot t \cdot N_9 + (M_{wp} \cdot l)}{24 \cdot 3600} \right) \quad (12)$$

Em que μ_9 é a eficiência do processo de descongelação, X_o e X_i são as humidades absolutas exterior e interior respetivamente, l é o calor latente de congelamento, t o tempo em que a porta está aberta, N_9 é o numero de aberturas da porta por dia e M_{wp} a quantidade de produto retirado de dentro da câmara por dia.

3.3. Cargas elétricas

Para além de analisar as cargas térmicas é também necessário estudar as cargas elétricas da câmara. Sendo que os sectores da câmara em que foram estudadas estas cargas são os seguintes:

- Chão

- Sistema de descongelação
- Condensadores
- Evaporadores
- Luzes
- Compressor
- Outras cargas

Na análise da carga elétrica relativa ao chão, o fator que tem influência é a potência de aquecimento do chão, no caso de haver controlo da temperatura do chão.

O cálculo da carga elétrica dos compressores é obtido de uma maneira análoga à utilizada para calcular a carga térmica dos ventiladores. A única diferença é que a localização dos motores dos ventiladores não afetam o valor atribuído ao rendimento do motor. Utiliza-se a Equação 13 para o respetivo cálculo.

$$E_{cond} = \frac{N_8 \cdot S}{\mu_8} \quad (13)$$

onde, N_8 representa o número de evaporadores, S a potência do motor e μ_8 o rendimento do motor.

Em relação ao processo de descongelação apenas é tida em consideração a carga elétrica no caso deste processo ser elétrico, caso seja feito por outro método não existe carga elétrica relativa a este sector. Para o cálculo é utilizada a Equação 14.

$$E_d = \frac{m \cdot (X_o - X_i) \cdot l \cdot t \cdot N_d + (M_{wp} \cdot l)}{(24 \cdot 3600) \cdot \mu_d} \quad (14)$$

em que X_o e X_i são as humidades absolutas exterior e interior respetivamente, l é o calor latente de congelação, t o tempo em que a porta está aberta, N_d é o numero de aberturas da porta por dia e M_{wp} a quantidade de produto retirado de dentro da câmara por dia e μ_d é a eficiência do processo de descongelação.

No que diz respeito à carga elétrica do compressor (sistema de refrigeração) foi calculada utilizando a Equação 15 (Cleland,1994):

$$E_c = \frac{Q_{total}}{COP} \quad (15)$$

em que, Q_{total} representa o valor total das cargas térmicas do sistema e COP, o coeficiente de performance, que é calculado através da Equação 16.

$$COP = \frac{(273 + T_e) \cdot (1 - \alpha \cdot x)^n \cdot \mu_{comp}}{(T_c - T_e)} \quad (16)$$

onde, T_e representa a temperatura de evaporação, T_c a temperatura de condensação, μ_{comp} a eficiência do compressor, α uma constante empírica para diferentes refrigerantes, x a vaporização fracionada, e n o coeficiente de estágio.

As restantes cargas elétricas relativas aos evaporadores, e iluminação são obtidas pelo cálculo das cargas térmicas que estes geram, sendo que as expressões para os respetivos cálculos são apresentadas na secção 3.2.

3.4. Programação orientada a objetos

Inovações tecnológicas surgidas na área de Informática têm criado uma necessidade de utilização e manipulação de informações que antigamente não eram utilizadas. Os tipos de dados complexos, como os objetos, passaram a ser manipulados através das linguagens de programação, que passaram a receber a conotação de Linguagem de Programação Orientada a Objetos (Claro & Sobral, 2008).

A programação estruturada, que trata, principalmente, da manutenção de sistemas, possui taxas de recuperação muito baixas, dificultando a manutenção dos programas anteriormente desenvolvidos. A orientação a objetos tem como objetivo principal modelar o mundo real, e garantir que as taxas de manutibilidade (manutenção) serão maiores diante deste contexto. Isso é possível, pois utilizando uma linguagem de programação orientada a objetos consegue-se obter um desenvolvimento mais rápido, visto que este desenvolvimento ocorre em módulos, em blocos de códigos correspondentes aos objetos e seus acoplamentos. Através da orientação a objetos pode-se obter uma maior qualidade e agilidade no desenvolvimento, pois o fator de recuperação permite que se reutilize outros objetos que foram anteriormente desenvolvidos e podem ser facilmente incorporados na aplicação. A

recuperação também garante uma maneabilidade melhor do programa, pois os testes referentes aos componentes, já foram previamente executados, garantindo assim a utilização coesa dos objetos (Claro & Sobral, 2008).

As interfaces são outro conceito importante e bastante utilizado nas implementações das Interfaces Gráficas em Java, podendo ser definidas como “os invólucros que promovem a interação de contatos externos, com ou sem passagem de dados, com um processamento interno.” (CAMARA, 2002).

Um utilizador somente precisa saber o que o objeto é capaz de fazer, mas não interessa como ele deverá ser feito. Assim, a interface permite que se utilize o conceito do encapsulamento, onde somente as assinaturas dos métodos estão disponíveis para exibição aos utilizadores (Claro & Sobral, 2008).

Assim, através de classes, objetos, atributos, métodos, e outras características da orientação a objetos, consegue-se modelar o mundo real e abstrair informações incorporando-as à linguagem Java.

3.4.1. Programação em Java

Java é a linguagem de programação orientada a objetos, desenvolvida pela *Sun Microsystems*, capaz de criar tanto aplicativos para computadores pessoais, aplicações comerciais, softwares robustos, completos e independentes, e aplicativos para a *Web*. Além disso, caracteriza-se por ser uma linguagem que herdou muitas das suas características do C++ e implementa o paradigma da Programação Orientada a Objetos (Claro & Sobral, 2008).

É também linguagem independente da plataforma, ou seja, um mesmo programa pode ser executado em qualquer sistema que possua o seu interpretador. Numa rede com vários computadores diferentes, esta independência de arquitetura é relevante. O formato da arquitetura de Java concede sólidos benefícios tanto ao cliente quanto ao desenvolvedor. A diferença do Java é que os programas não são compilados diretamente na arquitetura dos computadores. Ao invés disso, roda na JVM (*Java Virtual Machine*), uma máquina virtual, e esta é implementada nos mais diversos dispositivos, o que torna o Java referência relativamente à portabilidade (Claro & Sobral, 2008).

Para além destes detalhes há que realçar algumas das características mais importantes na linguagem Java, tais como (Claro & Sobral, 2008):

- Segura: um programa Java não pode ler ou escrever arquivos locais quando é chamado por um carregador de classes seguro, como um motor de busca (*browser*) Web e nem usar a memória além do permitido.
- Simples: Java tem uma sintaxe muito simples que permite o utilizador programar facilmente de forma clara e orientada a objetos.
- Robusta: Java tem por finalidade a criação de programas que sejam confiáveis, eliminando situações de erro.
- Multitarefa: num mesmo programa é possível ter vários processos a rodar de forma concorrente.
- Universal e Interpretada: Java é universal, pois é independente da plataforma. O código é compilado para o processador virtual (*Java Virtual Machine*) e transformado numa sequência de instruções chamada *bytecode*. Essas instruções são interpretadas para o processador real da máquina.

Porém, existem certas extensões do Java que facilitam e permitem programar de uma maneira mais simples, rápida e eficaz. Uma dessas extensões é o *NetBeans*, que é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE). A escolha para o desenvolvimento da ferramenta computacional desta dissertação recaiu nesta extensão (Claro & Sobral, 2008).

3.4.2. NetBeans

A IDE *NetBeans* é um ambiente de desenvolvimento multiplataforma. Trata-se de uma ferramenta que auxilia programadores a escrever, compilar e instalar aplicações. Foi arquitetada de modo a ser uma estrutura reutilizável que visa simplificar o desenvolvimento e aumentar a produtividade, pois reúne numa única aplicação todas estas funcionalidades (Wexbridge & Nyland, 2014).

Totalmente escrita em Java, mas que pode suportar qualquer outra linguagem de programação ou linguagem que desenvolva com Swing, sendo algumas das linguagens que o *NetBeans* suporta as seguintes: o C, C++, Ruby, PHP, XML e linguagens HTML.

Esta ferramenta fornece uma base sólida para a criação de projetos e módulos, que possui um grande conjunto de bibliotecas, módulos e API's (*Application Program Interface*, que são um conjunto de rotinas, protocolos e ferramentas para a construção de aplicativos de software), além de uma documentação vasta, inclusive em português e bem organizada. Tais ferramentas auxiliam o programador de forma a escrever o seu software de maneira mais rápida.

Alguns dos principais recursos desta ferramenta são os seguintes (Wexbridge & Nyland, 2014):

- editor de código fonte integrado, rico em recursos para aplicações Web (Servlets e JSP, JSTL, EJBs) e aplicações visuais com Swing que é uma API (Interface de Programação de Aplicativos) Java para interfaces gráficas.
- visualizador de classes integrado às interfaces, que gera automaticamente o código dos componentes de forma bem organizada, facilitando assim o entendimento de programadores iniciantes;
- suporte ao *Java Enterprise Edition*, que é uma plataforma de programação de computadores que faz parte da plataforma Java que está virada para aplicações multicamadas, baseadas em componentes que são executados num servidor de aplicações;
- ajuda local e on-line; depuração (*debug*, para identificar e remover erros) de aplicações e componentes;
- integração de módulos;
- suporte a base de dados (*database*), visualização dos dados (*data view*) e *Connection wizard* que são os módulos embutidos na IDE; geração de *Javadoc*, onde a ferramenta permite a geração automática de arquivos *javadoc* em HTML a partir dos comentários inseridos no código, além de recursos que facilitam a inclusão de comentários no código.

Na Figura 12 é apresentado de forma ilustrativa uma aplicação em linguagem Java desenvolvida com o IDE *NetBeans*, incorporando zonas de introdução de dados e botão de execução.

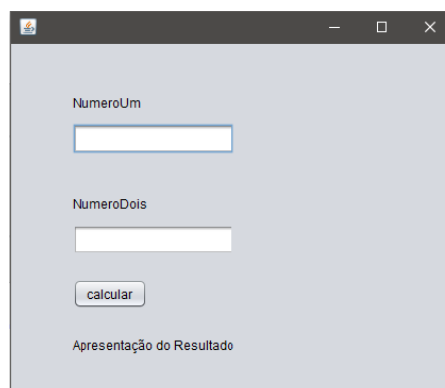


Fig. 12 - Exemplo de uma aplicação em linguagem Java com a ferramenta *NetBeans*.

4. Ferramenta Computacional

4.1. Introdução

Este capítulo tem como finalidade uma descrição detalhada da ferramenta computacional, tanto a nível da interface gráfica como das simulações. Inicialmente é realizada uma breve descrição das características do programa e como podem ser inseridas as diferentes características das câmaras. Posteriormente, é explicada alguma da programação utilizada para a elaboração desta ferramenta.

4.2. Estrutura do programa e descrição do cálculo das cargas térmicas

O programa desenvolvido permite avaliar o desempenho energético das câmaras de frio, sabendo que estas são responsáveis por cerca de 60% a 70% (Evans *et al.*, 2013) do consumo total, sendo por isso alvo de grande necessidade de análise.

No desenvolvimento da ferramenta computacional foram tidos em consideração vários aspetos, como a facilidade de uso da mesma por parte de utilizadores com poucos conhecimentos de informática, conferindo-lhe uma interface homem/máquina adequada. A nível de apresentação gráfica, a ferramenta computacional desenvolvida considera-se simples e intuitiva, indo assim de encontro ao ponto mencionado anteriormente. A ferramenta computacional desenvolvida baseou-se na ferramenta desenvolvida por Foster *et al.* (2013), todavia, tendo sido adequada à realidade portuguesa seguindo para tal os resultados das auditorias realizadas a empresas do setor agroindustrial conforme descrito em Nunes *et al.* (2014, 2016).

Em relação à ferramenta computacional FORECAST, na página principal são exibidas algumas instruções sobre a utilização desta ferramenta de maneira a que as simulações efetuadas sejam viáveis (Figura 13). Nesta mesma secção estão presentes seis botões referentes a seis câmaras diferentes, que ao serem pressionados dão acesso a páginas secundárias onde são inseridas as dimensões e características de permuta térmica associada a cada uma das câmaras de frio.



Fig. 13 - Página de acesso à ferramenta computacional: FORECAST.

É nesta página secundária que o utilizador procede à introdução de todas as variáveis relacionadas com a câmara de frio em estudo. Nesta secção, o utilizador tem ao seu dispor uma série de opções que lhe permitem alterar como os valores sobre o estudo da câmara são obtidos. Um exemplo disso é logo a primeira opção que o utilizador vai ter ao seu dispor no início da página (ver Figura 14), onde lhe é solicitado que escolha se pretende que os cálculos das cargas térmicas e elétricas sejam realizados com utilização de um ficheiro climático ou não, i.e., dando a opção de realizar um estudo em regime permanente ou em regime transitório.

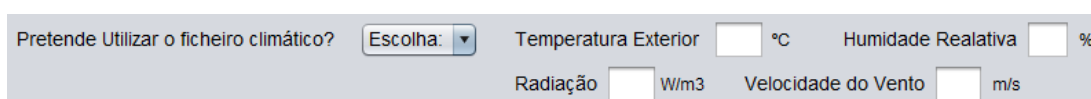


Fig. 14 - Opção sobre a utilização dos dados climáticos.

Caso seja solicitada a utilização do ficheiro climático, ou seja, sendo escolhida a opção Sim na *ComboBox*, os campos presentes na Figura 14 assumem valor zero e não podem ser editados, pois não será necessário o seu preenchimento, uma vez que vão ser utilizados os valores fornecidos pelo ficheiro climático. No entanto, se for escolhida a opção Não, o utilizador terá que preencher os quatro campos solicitados: Temperatura Exterior [°C], Humidade Relativa [%], Radiação [$W\ m^{-3}$]; Velocidade do vento [m/s].

A utilização dos dados climáticos é a melhor maneira para obter uma análise eficiente do desempenho da câmara em estudo, uma vez que todas as cargas que sejam influenciadas pela temperatura do ar exterior, humidade do ar exterior, velocidade do vento e radiação, vão ser analisadas mensalmente. O ficheiro vai fornecer os valores médios mensais das variáveis referidas durante o período de um ano. Para a utilização do ficheiro climático é necessário proceder-se a uma série de passos para que este fique funcional de maneira a que possa ser carregado pelo programa.

Primeiramente, tem que se descarregar uma folha de *Excel* em formato *csv*, porque foi a maneira mais simples e eficaz do programa conseguir carregar o ficheiro, através de um link presente no programa (Figura 15).

Descarregar a folha de excel: <https://www.dropbox.com/home>

Fig. 15 - Link para descarregar a folha de *Excel* devidamente formatada.

Esta folha será fornecida devidamente formatada de maneira a que o utilizador apenas tenha que substituir os valores presentes nesta, uma vez que os valores são referentes ao ano 2014, sendo no final da página apresentados os valores médios numa tabela (Figura 16).

	Tout [°C]	Vento [m/s]	Humidade [%]	Radiação [W/m3]
Jan	9.35	1.3	89	46
Fev	6.4	1.3	85	138
Mar	9.7	1.3	68	356
Abr	8.65	1.8	60	244
Mai	13.4	1.3	62	382
Jun	17.7	0.9	50	436
Jul	23.4	1.3	43	623.5
Ago	24	1.3	37	517
Set	20.7	1.3	47	363
Out	14.8	1.3	80	196
Nov	9.3	1.3	71	163
Dez	6.1	1.3	77	127

Fig. 16 - Exemplo da apresentação dos valores médios na folha de *Excel*.

Por fim, depois de terem sido substituídos os valores na folha de *Excel*, vai ser possível, através de um botão presente no programa, carregar esta folha. Ao ser carregada vão ser apresentados os valores numa tabela como pode ser analisado na Figura 17.

Passada a fase da utilização ou não do ficheiro climático, é também necessário preencher dois campos antes que se possa prosseguir para o preenchimento das características da câmara. Esses campos são a latitude onde se encontra a empresa e a hora do dia. Estes fatores vão entrar no cálculo das perdas térmicas pela envolvente. Depois de elaborada esta etapa, o próximo passo já vai consistir na introdução das características da câmara, mais concretamente, as características que permitem calcular as perdas pela envolvente.

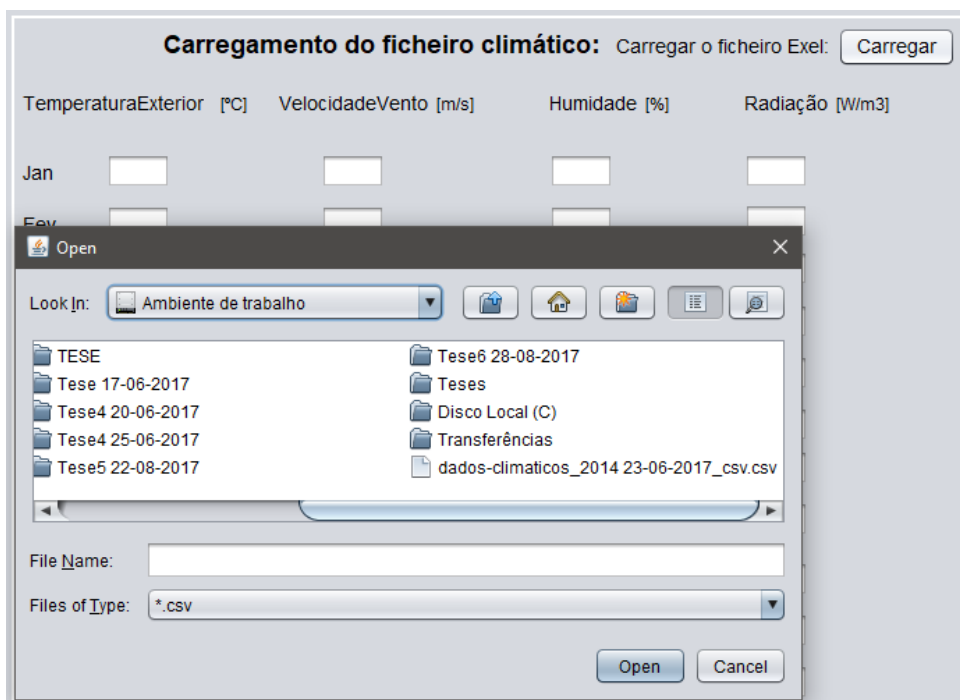


Fig. 17 - Setor onde é carregado o ficheiro climático.

Na Figura 18 encontra-se ilustrada a secção onde o utilizador vai poder introduzir as características de uma das paredes da câmara. É nesta secção que é solicitado que seja introduzida a área da superfície correspondente aquela parede em metros quadrados. Em seguida, o utilizador vai ter uma opção referente ao tipo de parede que está a ser analisada, podendo esta ser interna ou externa, e consoante a escolha do utilizador, a interface gráfica apresentada e os dados utilizados para o cálculo final vão ser diferentes. No caso de a opção escolhida ter sido Externa, a nível de interface gráfica, a opção referente à temperatura do ar exterior desaparece e ao mesmo tempo as *ComboBox*'s referentes à cor da parede (preto,

médio e claro) e à proteção do sol (sim e não) passam a estar ativas e com opções para o utilizador introduzir. Para os cálculos das perdas, os dados utilizados vão ser aqueles transferidos através do ficheiro climático. Caso tenha sido requerida a utilização deste, ou os dados introduzidos, no caso de não se estar a utilizar dados de um ficheiro climático. Por outro lado, se a opção escolhida for a Interna, a opção acerca da temperatura do ar exterior fica ativa, devendo o utilizador preencher este campo, e as *ComboBox's* sobre as outras duas opções ficam bloqueadas. Neste caso, o valor introduzido no campo acerca da temperatura do ar exterior vai ser utilizado no cálculo das perdas.

Por fim, ficam apenas por preencher os campos referentes ao isolamento da parede, sendo necessário indicar qual o tipo de isolamento utilizado e a sua espessura. Esta opção está presente individualmente na secção de cada parede e do teto, e não de uma maneira geral, pois ainda existem câmaras de frio com diferentes tipos e espessuras de isolamento (Nunes *et al.*, 2016).

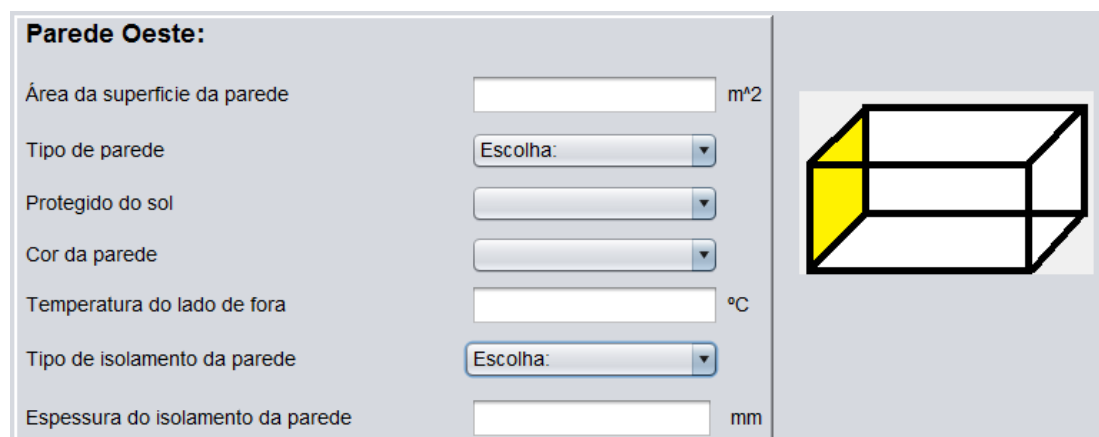


Fig. 18 - Interface gráfica referente às características de uma parede.

Depois de ter sido indicado o procedimento relativo à introdução das características referentes à parede, fica apenas a faltar indicar como se procede ao cálculo das cargas térmicas, tendo em conta as diferentes formas possíveis de introdução das características.

Como foi referido na secção 3.2, é utilizada a Equação 4 para o cálculo das perdas referentes às paredes, no entanto, é necessário ter em conta alguns parâmetros que variam consoante os dados introduzidos. Tendo em conta esses fatores, a primeira variável a considerar é a temperatura exterior utilizada. No caso de a parede ser externa, o valor da temperatura exterior utilizado é o valor extraído do ficheiro climático ou o valor introduzido previamente

pelo utilizador no início da página. Por outro lado, se a parede for interna, o valor a ter em conta será o valor que o utilizador introduzir no campo referente à temperatura do ar exterior. Em seguida, é necessário calcular a temperatura solar T_s , sendo que esta só será calculada caso a parede seja uma superfície externa. A Equação 17 é utilizada para este cálculo.

$$T_s = \frac{q_s \cdot r}{h_0} \quad (17)$$

onde, q_s [W m^{-2}] representa a radiação solar da superfície, r a percentagem de energia solar transmitida em cada superfície e h_0 [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$] o coeficiente de transferência de calor no exterior da câmara.

Tendo em conta estes fatores, quando a parede em estudo for externa, o valor da absorvidade da superfície vai variar conforme o tipo de cor selecionado, sendo $\varepsilon = 0,9$ quando preta, $\varepsilon = 0,6$ para médio e $\varepsilon = 0,3$ para clara. O coeficiente de calor convectivo no exterior da câmara pode ser calculado pela Equação 18, em função da velocidade do ar (McAdams, 1954).

$$h_0 = 5,62 + 3,9 \cdot v \quad (18)$$

em que, v representa a velocidade do vento. Este valor vai ser obtido através dos valores transferidos do ficheiro climático ou introduzidos previamente pelo utilizador.

Em relação à percentagem de energia solar, esta variável vai depender a elevação EL , que pode ser calculada conforme a Equação 19 (Foster *et al.*, 2016).

$$EL = \sin^{-1}[\sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(HRA)] \quad (19)$$

onde, δ é o ângulo de declinação, φ a latitude e HRA o ângulo horário. No caso do ângulo de declinação, este é obtido segundo a Equação 20.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (d - 81) \right] \quad (20)$$

em que d representa o dia.

Em relação ao HRA , este é calculado segundo a Equação 21.

$$HRA = 15 \cdot (LST - 12) \quad (21)$$

onde, *LST* representa a hora solar local que é introduzida pelo utilizador no início da página juntamente com a latitude.

Como referido anteriormente, a percentagem de energia solar é dependente da elevação. No caso de a elevação ter um valor igual ou inferior a zero, o valor da percentagem de energia solar vai ser igualmente nulo. No entanto, quando a elevação possui um valor superior a zero, existe uma equação específica para cada tipo de parede e para o teto. Estas equações são:

- Este:

$$r_E = \frac{\text{Proporção incidente nos lados Este e Oeste}}{\text{Área solar Total}} \quad (22)$$

onde a proporção incidente nos lados Este e Oeste é obtida através $-\sin(EL)$ e a área solar total é igual a soma da área vertical solar $[\sin(90-EL)]$ com a área horizontal solar $[-\sin(EL)]$.

- Oeste

$$r_O = \frac{\text{Proporção incidente nos lados Este e Oeste}}{\text{Área solar Total}} \quad (23)$$

- Sul

$$r_S = \frac{\text{Área vertical solar}}{\text{Área solar Total}} \quad (24)$$

- Teto

$$r_T = \frac{\text{Área horizontal solar}}{\text{Área solar Total}} \quad (25)$$

- Norte

No caso da parede Norte, a percentagem de energia solar transmitida é sempre igual a zero.

Depois de calculada a percentagem de energia solar transmitida, vai ser necessário multiplicar esta pela radiação solar. Este valor é obtido através do ficheiro climático onde se encontram descritos os valores médios mensais, em que apenas são considerados os horários onde há radiação, pois é este período onde a maioria das empresas opera. Este valor da radiação também pode ser inserido pelo utilizador, no caso de não estarem a ser utilizados os valores do ficheiro climático. No entanto, este processo não irá providenciar uma boa precisão.

Posteriormente, é necessário estabelecer qual é a temperatura da parede, T_{parede} . Este fator varia conforme se a parede é interna ou externa. Caso seja externa, também é relevante saber se esta é protegida ou não do sol. Assim sendo, caso a parede seja interna a temperatura desta seja igual à temperatura introduzida pelo utilizador no campo em que é solicitada a temperatura externa. Quando a parede é externa e está protegida pelo sol, a T_{parede} é igual á soma da temperatura exterior extraída do ficheiro climático ou introduzida pelo utilizador no início da página com a temperatura solar. No entanto, caso esta seja protegida pelo sol, a T_{parede} é igual à temperatura exterior proveniente do ficheiro climático ou à temperatura exterior introduzida quando não se utiliza ou ficheiro climático.

Outro fator a ter em conta vai ser o tipo de isolamento presente na parede, onde as características destes estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2 - Características do tipo de isolamento.

Tipo de isolamento	Coefficiente de condutividade térmica [$W m^{-1}K^{-1}$]
Espuma de polistireno	0,036
Espuma de poliuretano	0,024
Fibra de vidro	0,044
Concreto	1,100
Cortiça	0,043
Poliisocianurato (PIR)	0,027
Painéis de vácuo	0,005

De seguida procede-se ao cálculo do coeficiente global de transferência de calor conforme Equação 26.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + \frac{e}{k} \quad (26)$$

em que, h_i é a resistência térmica de convecção na superfície interna, que tem um valor fixo de $h_i = 9,3$ [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$], h_o , como já foi referido é a resistência térmica de convecção na superfície externa, e a espessura do isolamento e k a condutividade térmica do isolante. E chegando a este ponto fica apenas a faltar a variação da temperatura, ΔT , que é somente a diferença entre a temperatura exterior e interior da câmara de frio.

Por fim recorrendo à Equação 4, obtém-se a carga térmica da envolvente da parede. Este processo é igual para as quatro paredes e para o teto da câmara, podendo em cada secção serem colocadas as diferentes características destas. No entanto, para o cálculo do chão, existem umas pequenas variâncias em comparação com estas cinco superfícies, que serão descritas em seguida.

Na Figura 19 é possível observar a estrutura referente à introdução das características do chão da câmara de frio. A nível da interface gráfica existem algumas alterações referentes às outras superfícies que vão ter algum impacto na parte do cálculo da carga térmica.

Chão

Área

A Temperatura do chão é controlada? Escolha:

Temperatura sob o isolamento do piso °C

Potência média de aquecimento do chão W

Tipo de isolamento da parede Escolha:

Espessura do isolamento da parede mm

Fig. 19 - Interface gráfica referente ao chão da câmara de frio.

Nesta secção, ao contrário das secções das paredes e teto, não é necessário especificar se esta superfície é interna ou externa, no entanto é necessário referir se o chão possui ou não algum método de aquecimento. Caso a temperatura do chão seja controlada, é necessário introduzir qual a temperatura a que o chão se encontra e a potência despendida no seu aquecimento. Caso contrário, estas secções vão deixar de aparecer na interface gráfica.

Referente ao cálculo da carga térmica, a temperatura do chão, $T_{chão}$, vai ser a introduzida pelo utilizador, caso exista um mecanismo de aquecimento do chão ou vai ser a temperatura obtida através do ficheiro climático, no caso de não haver nenhum mecanismo de aquecimento do chão (no caso da não utilização do ficheiro climático, o valor da

temperatura vai ser o valor inserido no início da página quando não houver aquecimento). Ou seja, neste caso a radiação exterior não vai ter qualquer interferência na temperatura da superfície, não sendo necessário calcular a temperatura solar. Posto isto, e depois de definida a temperatura do chão, o processo do cálculo da carga térmica é exatamente igual ao processo do cálculo das cargas térmicas das paredes e do teto.

Nesta parte é também analisada a carga elétrica que pode ser gerada. No caso de não haver controlo da temperatura do chão da câmara, não existe nenhuma carga elétrica correspondente a esta secção. No entanto, se existir controlo da temperatura do chão, a carga térmica vai corresponder ao valor introduzido no campo referente à potência média de aquecimento do chão.

Depois de concluída a introdução das características das diferentes superfícies da câmara, é altura de passar à análise da porta da câmara de frio. Nesta parte, como demonstra a Figura 20, vai ser necessário a introdução de várias características para que seja possível calcular com precisão a carga térmica referente à infiltração de ar exterior pela porta.

A interface gráfica, intitulada "Porta", apresenta os seguintes campos de entrada:

- Altura: campo de texto com unidade "m".
- Comprimento: campo de texto com unidade "m".
- Tipo de porta: menu suspenso com o texto "Escolha:" e uma seta para baixo.
- Temperatura no lado de fora da porta: campo de texto com unidade "°C".
- Humidade no lado de fora da porta: campo de texto com unidade "%".
- Numero de aberturas por dia: campo de texto.
- Duração de cada abertura em segundos: campo de texto.
- Volume de tráfego que passa quando esta está aberta: menu suspenso com o texto "Escolha:" e uma seta para baixo.
- Proteção da porta: menu suspenso com o texto "Escolha:" e uma seta para baixo.
- Condição do isolamento da porta: menu suspenso com o texto "Escolha:" e uma seta para baixo.

Fig. 20 - Interface gráfica referente à porta.

A nível da introdução das características da porta é necessário, numa primeira fase, indicar quais são as dimensões da porta em questão. Posteriormente será necessário informar se a porta é interna ou externa. Se a porta for interna será necessário preencher os campos

referentes à temperatura e humidade relativa do ar exterior (lado exterior da porta). Caso a porta seja externa, não será necessário introduzir nenhum dado referente à temperatura e humidade relativa, uma vez que neste caso vão ser utilizados os valores obtidos através do ficheiro climático ou que foram introduzidos no início pelo utilizador. Posteriormente, vai ser analisado o número de aberturas da porta por dia e a quanto tempo é que estas ficam abertas, sendo que também será necessário indicar se existi um grande ou pequeno tráfego de pessoas a entrar na câmara. Por fim será necessário indicar as condições da porta, como o tipo de proteção e se as condições do isolamento estão em bom ou mau estado.

Finalizada a introdução à interface gráfica da porta, passa-se para a descrição do cálculo das cargas térmicas referentes à infiltração de ar através da porta. Para este cálculo é utilizada a Equação 5 apresentada no subcapítulo referente às cargas térmicas. No entanto, vários cálculos intermédios são necessários para se obter o valor final pretendido e é necessário ter em conta que estes podem variar consoante as características introduzidas pelo utilizador.

O primeiro passo reside no cálculo da área da porta, bastando multiplicar a largura pelo comprimento. Posteriormente, é necessário calcular a massa específica interna e externa conforme Equação 27 e Equação 28, respetivamente:

$$\rho_{in} = \frac{\rho_0}{287 \cdot (T_{in} + 273)} \quad (27)$$

$$\rho_{out} = \frac{\rho_0}{287 \cdot (T_{out} + 273)} \quad (28)$$

onde, ρ_0 [kg m^{-3}] representa a pressão atmosférica, T_{in} [$^{\circ}\text{C}$] a temperatura no interior da câmara e T_{out} [$^{\circ}\text{C}$] a temperatura no exterior da câmara. Neste caso, o único fator que pode variar conforme as características da porta é a temperatura exterior. No caso de a porta ser externa, o valor da temperatura provém do ficheiro climático ou do valor introduzido no início da página. No entanto, se a porta for interna, o valor introduzido no campo em que se solicita a temperatura do ar do lado de fora da porta, é o que vai ser tido em consideração nestes cálculos e nos posteriores que necessitem desta informação.

Em seguida, é necessário proceder-se ao cálculo do fator de densidade, F , podendo este ser calculado recorrendo à Equação 29 (Gosney & Olama, 1975):

$$F = \left(\frac{2}{1 + (\rho_{in}/\rho_{out})^{0,333}} \right)^{1,5} \quad (29)$$

Depois de obtido o valor do fator de densidade, já é possível calcular a massa que flui através de uma porta aberta, m_{po} . Para tal é necessário recorrer à Equação 30 (Gosney & Olama, 1975):

$$m_{po} = (1 - E) \cdot 0,221 \cdot A_p \cdot \rho_{in} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{out}}{\rho_{in}}\right)^{0,5} \cdot (g \cdot H)^{0,5} \cdot F \quad (30)$$

em que E representa a eficácia do dispositivo de proteção da porta, A_p [m²] a área da porta, g [=9,81 m s⁻²] a aceleração da gravidade e H [m] a altura a porta. Os valores referentes à eficácia do dispositivo de proteção da porta (ver Tabela 3), dependem do tipo de proteção da porta e do volume que atravessa a porta quando esta se encontra aberta.

Tabela 3 - Valores referentes à eficácia do dispositivo de proteção da porta.

<i>Tráfego</i> / <i>Tipo de Proteção</i>	Nenhuma proteção	Cortina de ar	Cortina de fitas
Baixo	0,00	0,71	0,92
Médio	0,28	0,70	0,77
Alto	0,56	0,69	0,62

De seguida é necessário calcular a concentração de água no ar dentro e fora da câmara. Para tal é necessário recorrer às Equações 31 e 32 (Foster *et al.*, 2013):

$$X_{in} = 0,62 \cdot \left(\frac{p_{vi}}{p_o - p_{vi}}\right) \quad (31)$$

$$X_{out} = 0,62 \cdot \left(\frac{p_{vo}}{p_o - p_{vo}}\right) \quad (32)$$

em que p_{vin} representa a pressão parcial de vapor no interior da câmara e p_{vout} a pressão parcial de vapor no exterior da câmara. Para se obter os valores destas pressões, é necessário recorrer às Equações 33 e 34:

$$p_{vin} = \frac{\phi_{in}}{100} \cdot 610,78 \cdot e^{\left(\frac{T_{in}}{T_{in}+238,8}\right)} \cdot 17,2694 \quad (33)$$

$$p_{vout} = \frac{\phi_{out}}{100} \cdot 610,78 \cdot e^{\left(\frac{T_{out}}{T_{out}+238,8}\right)} \cdot 17,2694 \quad (34)$$

onde, ϕ_{in} e ϕ_{out} representam a humidade relativa dentro e fora da câmara, respetivamente. Em relação a estas variáveis é importante referir que o valor da humidade exterior depende das características da porta. Caso a porta seja externa, o valor utilizado referente à humidade exterior vai ser obtido através do ficheiro climático ou através do valor introduzido pelo utilizador no início da página, caso não tenha sido requerida a utilização do ficheiro climático. Por outro lado, se a porta da câmara for interna, o valor inserido pelo utilizador no campo referente à humidade do lado de fora é o que vai ser utilizado nos cálculos.

Por fim, resta apenas calcular o Q_s e o Q_l do isolamento da porta. Para isso é necessário numa primeira fase calcular a massa que flui através do isolamento da porta, m_{iso} . Neste cálculo, um fator bastante importante vai ser a condição do isolamento, pois se este estiver em boas condições, o valor a ser utilizado no cálculo vai ser igual a $0,003 \text{ [m}^3 \text{ s}^{-1}\text{]}$, caso o isolamento esteja em más condições, o valor a ser utilizado vai ser igual a $0,0006 \text{ [m}^3 \text{ s}^{-1}\text{]}$, podendo então a massa que flui através do isolamento da porta ser calculada através da Equação 35.

$$m_{iso} = \text{condição do isolamento} * \rho_{in} \quad (35)$$

Podendo tanto Q_s como Q_l serem calculados pelas Equações 36 e 37:

$$Q_s = m_{iso} \cdot 1000 \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (36)$$

$$Q_l = m_{iso} \cdot (X_{out} - X_{in}) \cdot (l_{fu} \cdot l_v) \quad (37)$$

onde, l_{fu} representa o calor latente de vaporização e l_v o calor latente de congelamento. Em relação aos valores, a primeira variável possui um valor de $l_{fu} = 2500 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$ e a segunda $l_v = 334 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$ (Foster *et al.*, 2013).

Depois de realizados todos os cálculos intermédios enumerados até agora, já é possível através da Equação 5, calcular a carga térmica referente à infiltração de ar pela porta. Depois de explicada a secção referente às características da porta passa-se para a parte em que vão ser analisados os fatores que influenciam a temperatura do interior da câmara de frio.

Depois de analisada a componente referente à infiltração de ar, segue-se o estudo referente às características do compressor (sistema de refrigeração). Nesta secção, como se pode

observar através da Figura 21, para além de solicitadas os valores de temperatura, também é necessário introduzir qual o tipo de fluido frigorígeno e algumas características do compressor.

Fig. 21 - Interface gráfica referente ao sistema de refrigeração.

A escolha do tipo de fluido frigorígeno vai fornecer o coeficiente de refrigeração, referido no subcapítulo das cargas térmicas. Na Tabela 4 estão apresentados os diferentes tipos de fluidos frigorígeno e os diferentes valores do coeficiente (Foster *et al.*, 2013).

Tabela 4 - Tipo de fluido frigorígeno e respetivos valores do coeficiente de refrigeração (Foster *et al.*, 2013).

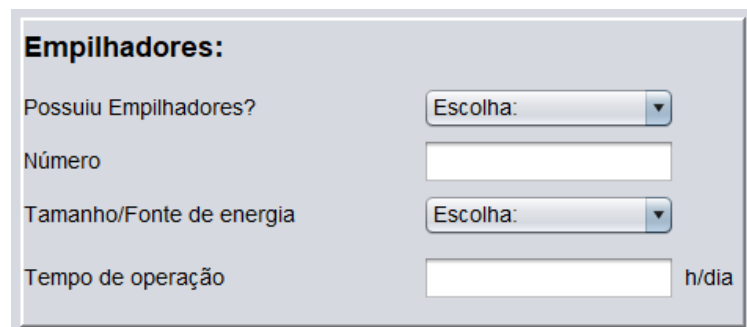
Fluido frigorigéneo	Coeficiente de refrigeração
R22	0,77
R134a	0,69
R717	1,11
R404A	0,82

Ao escolher o número de compressão e o estágio de expansão, vai ser fornecido o coeficiente de estágio, estando representada na Tabela 5 os diferentes valores deste coeficiente (Foster *et al.*, 2013).

Tabela 5 - Número de compressão e o estágio de expansão e respetivo coeficiente de estágio (Foster *et al.*, 2013).

Número de compressão e estágio de expansão	Coeficiente de estágio
1,1	1,00
2,1	1,00
1,2	0,67
2,2	0,50
3,3	0,33

O primeiro fator que aparece na Interface gráfica é referente aos empilhadores. Este fator é analisado uma vez que é através destas máquinas que muitos utilizadores conseguem transportar os produtos alimentares para dentro e fora da câmara, e como tal estas máquinas têm influência nas condições internas da câmara. Em relação ao preenchimento das características referentes a este fator, é possível observar através da Figura 22 que a primeira informação que o utilizador terá que fornecer é se tem ou não empilhadores a operar dentro da câmara. Caso seja escolhida a opção que indica que não há empilhadores a funcionar dentro a câmara, o valor da carga térmica é logo assumido como zero e os campos seguintes recebem valor nulo. Caso contrário, é possível continuar a preencher os restantes campos sem qualquer restrição.



Empilhadores:

Possuiu Empilhadores? Escolha: ▾

Número

Tamanho/Fonte de energia Escolha: ▾

Tempo de operação h/dia

Fig. 22 - Interface gráfica referente aos empilhadores.

Neste último caso é então solicitado que seja introduzido o número de empilhadores que operam dentro da câmara. É também necessário indicar qual o tamanho destes e qual é a sua fonte de energia, sendo visível na Tabela 6 as diferentes opções e quais os valores que advêm destas.

Tabela 6 - Valores referentes à potência dos empilhadores.

<i>Tamanho/Fonte de energia</i>	Elétrica [W]	Combustão interna [W]
Pequeno	1000	14000
Médio	5000	22000
Grande	6000	44000

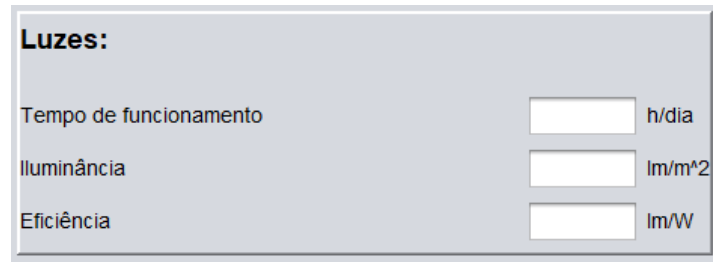
Por fim, é solicitada indicação do período de operação dos empilhadores dentro da câmara. Através da Equação 8 é possível calcular a correspondente carga térmica.

Em seguida é analisada a influência que a iluminação tem sobre as condições da câmara, a nível da carga térmica e também da sua influência na respetiva carga elétrica. Pela Figura 23 é possível observar a interface com que o utilizador se vai deparar para o preenchimento das características, sendo necessário a introdução de apenas três informações referentes ao estudo deste campo. O primeiro parâmetro a ser solicitado é referente ao número de horas por dia em que as luzes do interior da câmara estão ligadas. Os dois parâmetros seguintes a serem introduzidos são a iluminância e eficiência das luzes, parâmetros estes que são necessários para o cálculo da energia elétrica da iluminação que resulta do fluxo luminoso distribuído uniformemente sobre o chão e as paredes. Para este cálculo recorre-se à Equação 29.

$$P_l = \frac{LF \cdot A_l}{e_l} \quad (29)$$

onde LF representa a iluminância, A_l a soma das áreas das quatro paredes, teto e chão e e_f a eficiência.

Por fim, é então possível calcular a carga térmica referente à iluminação do interior da câmara recorrendo à Equação 6, sendo que a carga elétrica é igual ao valor obtido pelo cálculo da carga térmica.



Luzes:

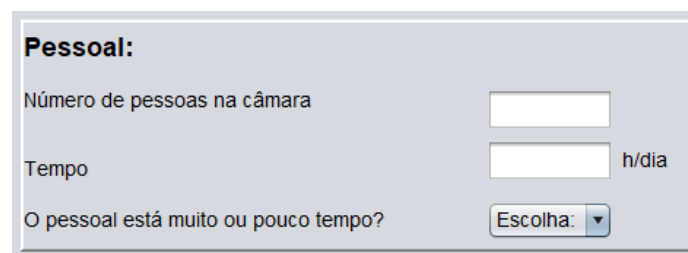
Tempo de funcionamento h/dia

Iluminância lm/m²

Eficiência lm/W

Fig. 23 - Interface gráfica relativa à iluminação do interior da câmara.

Um outro fator relacionado com as perdas de carga térmica é a influência que a entrada de pessoal tem sobre as condições internas da câmara. Como tal, este é o próximo fator a ser analisado no programa. Através da Figura 24 é possível observar que os fatores a serem analisados são número de pessoas que entram na câmara, o tempo que estas permanecem no seu interior e por último se o pessoal se mantém muito ou pouco tempo dentro da câmara. Depois fornecidas estas três informações, é então possível, através da Equação 7, calcular a carga térmica referente à influência do pessoal no interior da câmara.



Pessoal:

Número de pessoas na câmara

Tempo h/dia

O pessoal está muito ou pouco tempo? Escolha:

Fig. 24 - Interface gráfica referente à influência do pessoal no interior da câmara.

Como o principal objetivo das câmaras é a conservação de produtos, é natural que exista uma vasta variedade de produtos que são colocados no seu interior. No entanto, cada produto possui determinadas características próprias que influenciam as condições no interior da câmara, características estas que variam também se os produtos estão congelados ou não. Assim sendo, é necessário recorrer a uma lista sobre as características dos produtos mais frequentes, para que possa ser possível calcular devidamente a carga térmica referente aos produtos que estão no interior da câmara de frio. Como tal, foram analisados valores do calor específico e coeficientes de respiração de 66 alimentos, apresentados no Anexo A. Na Figura 25 é então possível verificar os restantes fatores que são tidos em conta para o cálculo da carga térmica.

Produto:

Quantidade colocada kg/dia

Temperatura do produto quando é colocado °C

Quantidade que está dentro da câmara kg/dia

Tipo

Quantidade tirada kg/dia

Fig. 25 - Interface gráfica relativa à análise do efeito dos produtos.

O primeiro fator a ter em conta é a quantidade de produto que é colocada por dia dentro da câmara e posteriormente é solicitado que seja indicada qual a temperatura em que estes produtos se encontram. Em seguida, é necessário referir qual é a quantidade de produto que já se encontra dentro da câmara e é também solicitada a indicação de qual é o tipo de produto que está a ser colocado e que se encontra dentro da câmara. Consoante o produto selecionado, as informações necessárias (calor específico e coeficientes de respiração) são devidamente guardadas, para posteriormente serem utilizadas nos devidos cálculos, sendo que estes valores variam no caso de a temperatura no interior da câmara ser negativa ou positiva. Por fim, é necessário indicar qual é a quantidade de produto retirada da câmara. Finalizado o preenchimento dos parâmetros referidos, é então possível calcular a respetiva carga térmica através da Equação 9.

O ciclo de descongelação, em teoria, só deve ser iniciado quando uma camada de gelo se desenvolveu e deve parar imediatamente após o gelo ter sido removida e a água líquida totalmente drenada. Este processo implica que as condições no interior da câmara sejam alteradas, uma vez que ocorre um aumento da temperatura interna devido ao processo de descongelação. No entanto, estas alterações estão dependentes do método de descongelação utilizado no interior da câmara. Na Figura 26 é possível observar quais os métodos analisados no estudo das cargas térmicas provenientes do processo de descongelação.

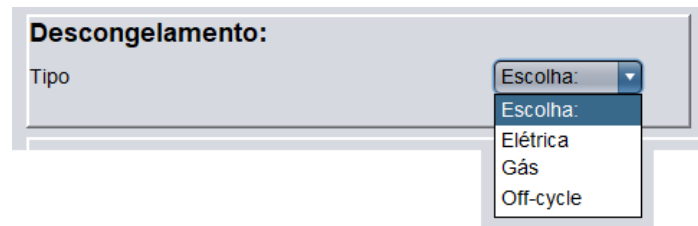


Fig. 26 - Interface gráfica referente ao processo de descongelamento.

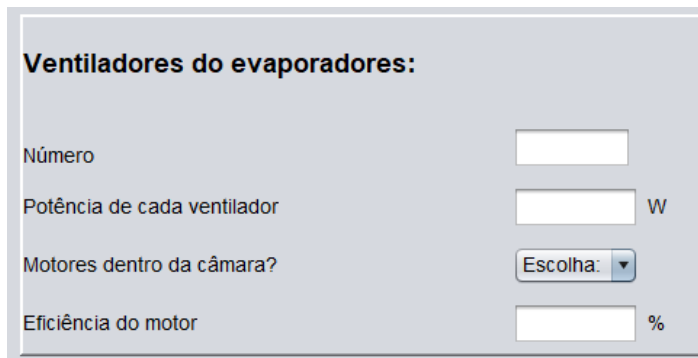
Na Figura 26 é possível observar que o utilizador tem à disposição três opções sobre o método de descongelamento. A escolha do método vai fornecer informação acerca da eficiência da descongelamento. Esta eficiência é definida como a energia necessária para derreter o gelo, e os respetivos valores de cada método encontram-se disponíveis na Tabela 7.

Tabela 7 - valores da eficiência dos métodos de descongelamento.

Método	Valor da eficiência
Elétrico	0,40
Gás	0,45
Off-cycle	1,00

Depois de estar escolhido o processo de descongelamento, é possível através da Equação 12 calcular a carga térmica referente a este processo. No caso do processo de descongelamento ser elétrico, é possível através da Equação 14 calcular a carga elétrica. Qualquer outro método escolhido irá implicar que não exista qualquer carga elétrica relativa a este campo.

Após a análise da carga térmica do processo de descongelamento, é então estudado o efeito que os evaporadores têm ao nível das cargas térmicas. Para tal, é necessário fornecer as devidas informações acerca destas máquinas. Na Figura 27 é possível observar os campos que são solicitados ao utilizador para preencher.



Ventiladores do evaporadores:

Número

Potência de cada ventilador W

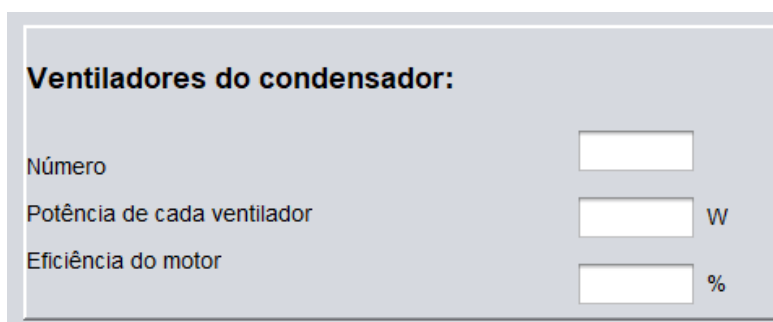
Motores dentro da câmara?

Eficiência do motor %

Fig. 27- Interface gráfica referente à análise dos evaporadores.

Em primeiro lugar é solicitado que indique o número de evaporadores que são utilizados. No caso do utilizador indicar que não possui nenhum, então os restantes campos assumem valor zero e os campos deixam de poder ser alterados e a carga térmica desta secção assume igualmente valor nulo. Caso contrário, é solicitada indicação da potência do(s) ventilador(es) e também se os motores se encontram no interior da câmara. Caso estes estejam no exterior, o valor da eficiência do motor é assumido como unitário. Caso contrário, é necessário introduzir o valor da eficiência. Finalizada a introdução das características, os dados são guardados e através da Equação 11 é possível calcular a respetiva carga térmica, valor este que também corresponde à carga elétrica proveniente dos evaporadores.

Depois de analisados os evaporadores, segue-se a análise dos condensadores da câmara. Esta análise é bastante similar à realizada aos evaporadores, como é apresentado na Figura 28. O que diferencia a análise dos fatores dos evaporadores da análise dos condensadores, é que nestes últimos não é solicitada a localização dos motores, logo tem sempre que se preencher o campo relativo à eficiência dos motores. Preenchidos todos os campos, é então possível calcular a carga elétrica através a Equação 13.



Ventiladores do condensador:

Número

Potência de cada ventilador W

Eficiência do motor %

Fig. 28 - Interface gráfica relativa ao estudo dos condensadores.

Por fim, o último fator que necessita de preenchimento por parte do utilizador é referente a outras perdas que existam, como por exemplo. Como se pode observar na Figura 29, é apenas necessário preencher um único campo, sendo inserido o valor correspondente à carga térmica proveniente das outras perdas que possam haver no sistema.

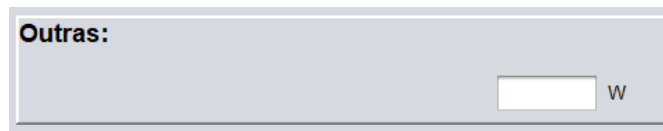


Fig. 29 - Interface gráfico correspondente a outras perdas do sistema.

Depois de preenchidas todas as características referentes à câmara, é então possível calcular as cargas térmicas e elétricas do sistema. Para tal existem dois botões no final da página, que ao serem acionados permitem realizar os cálculos das respetivas cargas. Para a realização dos cálculos são utilizadas todas as equações referentes às cargas que foram referidas até agora. Na Figura 30 é possível observar as diferentes opções sobre os botões. Existem dois botões para o caso onde o utilizador está a utilizar os dados de um ficheiro climático (Figura 30 - b) e outros dois quando o utilizador não pretende utilizar o ficheiro climático (Figura 30 - c). É importante referir que a presença dos quatro botões em simultâneo só ocorre enquanto o utilizador não seleciona a opção referente à utilização do ficheiro climático (Figura 30 - a), sendo que a partir do momento em que uma das opções é selecionada, passam a estar disponíveis apenas os dois botões referente ao cálculo das cargas devidamente identificados, com utilização do ficheiro climático ou não.

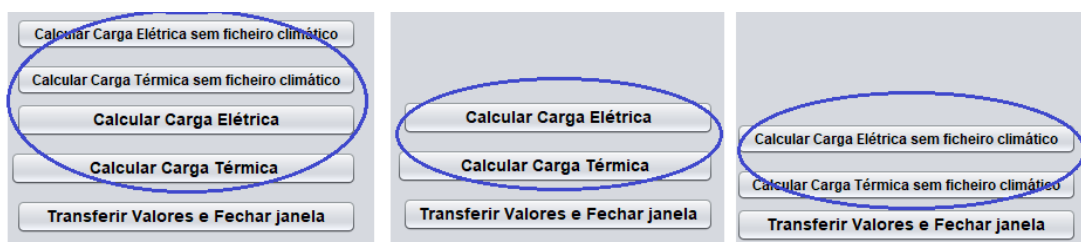


Fig. 30 - a) Botões antes de ser escolhida a utilização ou não do ficheiro climático; b) Botões quando se utiliza o ficheiro climático; c) Botões quando não se utiliza o ficheiro climático.

Como referido anteriormente, quando os botões são acionados, proceder é realizado o cálculo das cargas térmicas. Além desta funcionalidade, depois de efetuados os cálculos, os valores referentes às cargas vão ser transferidos para dois painéis informativos presentes no início da página (ver Figura 31).

Cargas Térmicas: [W]	
Carga térmica das paredes através da envolvente (anual):	0
Carga térmica por infiltração de ar através da porta (anual):	0
Carga térmica dos empilhadores:	0
Carga térmica da iluminação:	0
Carga térmica do pessoal:	0
Carga térmica do(s) produto(s):	0
Carga térmica do descongelamento (anual):	0
Carga térmica do(s) evaporador(es):	0
Carga térmica dos condensador(es):	0
Outras	0

Cargas Elétricas: [W]	
Chão	<input type="text" value="0"/>
Iluminação	<input type="text" value="0"/>
Descongelamento	<input type="text" value="0"/>
Evaporador(es)	<input type="text" value="0"/>
Condensador(es)	<input type="text" value="0"/>
Compressor	<input type="text" value="0"/>
Outras	<input type="text" value="0"/>

Fig. 31 - Painéis para onde os valores das cargas são transferidos.

No entanto, pode ocorrer o caso em que os dados não são introduzidos corretamente ou não são introduzidos. Nestes casos, o programa não pode calcular as cargas. Quando uma destas situações ocorre, são exibidas mensagens de aviso (Figura 32) e o utilizador tem a possibilidade de rever todos os dados e campos.

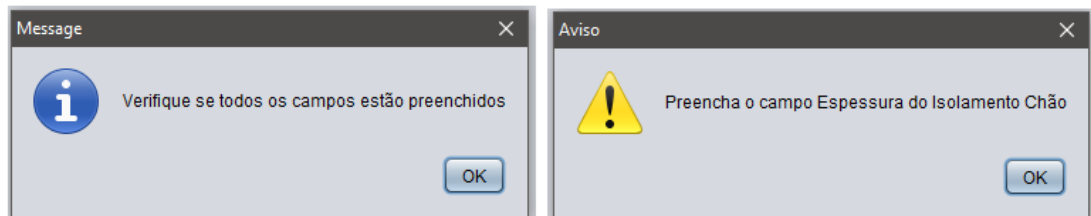


Fig. 32 - Exemplo de mensagens de aviso.

Obtidos os valores das cargas térmicas e elétricas, é necessário transferir estes valores para o painel principal para que estes possam ser devidamente tratados de maneira a que se

possa obter uma melhor interpretação dos resultados obtidos. Deste modo, existe um botão no fim da página, junto aos botões do cálculo das cargas (Figura 33), que ao ser acionado vai transferir os valores das cargas e ao mesmo tempo a página é fechada, ficando o utilizador apenas com o painel principal aberto.

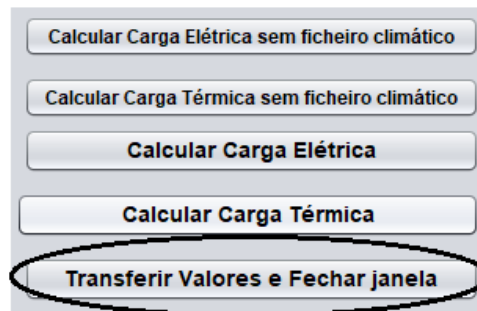


Fig. 33- Botão referente à transferência de valores para a página principal.

De volta ao painel principal e já com os valores transferidos de uma câmara de frio, o utilizador pode analisar mais câmaras ou pode passar para a parte do tratamento de dados. Se pretender estudar mais câmaras, basta clicar nos botões correspondentes ao número da câmara e será aberta uma página secundária igual à descrita anteriormente onde o preenchimento é feito da mesma forma como o caso explicado anteriormente. Caso pretenda analisar os dados referentes à câmara estudada, basta clicar no botão “Seguinte” ou clicar em cima da aba com o nome “Câmaras 1-3” e será transferido para uma nova página. Nesta página são apresentadas algumas tabelas que recebem os valores transferidos da página secundária (Figura 34). No entanto, nesta seção é necessária uma ação do utilizador, pois é preciso que seja acionado o botão “Conversor”. Esta ação é necessária uma vez que os dados ao serem transferidos, quando são em formato decimal, são representados por uma vírgula e é necessário substituí-la por um ponto, pois a vírgula não é compatível com o processamento de dados que origina os gráficos. É importante referir que nesta página apenas estão presentes tabelas referentes a três das possíveis seis câmaras estudadas, estando as restantes três câmaras na página seguinte, a qual pode ser acedida da mesma forma que se acedeu a esta última página.

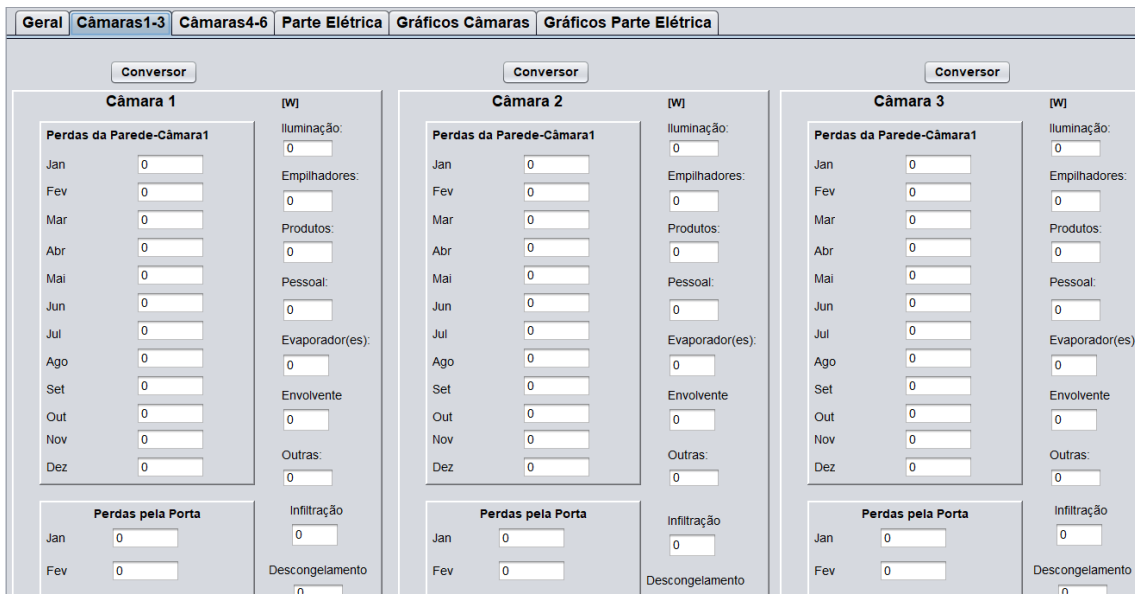


Fig. 34 - Exemplo de uma vista da página para onde são transferidos os valores das cargas térmicas.

Antes de se descrever a seção onde os gráficos são apresentados, é necessário passar pela página referente às cargas elétricas (ver Figura 35), para que se proceda à troca das vírgulas pelos pontos nos dados que foram transferidos das cargas térmicas das câmaras estudadas. Para isso basta clicar no botão “Conversor”, tal como exigido na secção dos dados referentes às cargas térmicas.



Fig. 35 - Exemplo de uma vista da página para onde são transferidos os valores das cargas elétricas.

Tratados todos os dados referentes às cargas térmicas e elétricas, é então possível passar para a secção onde estes dados são apresentados graficamente, existindo uma secção para apresentação das cargas térmicas e outra para apresentação das cargas elétricas (Figura 36).



Fig. 36 - Exemplo de uma vista da página para possibilitam a geração de gráficos.

Na secção referente aos gráficos das cargas térmicas, são apresentados seis painéis referente ao número de câmaras estudadas, possuindo cada painel três botões que ao serem utilizados vão apresentar os respetivos gráficos. Ao clicar o primeiro botão vai ser apresentado um gráfico de barras que apresenta a evolução da carga proveniente da envolvente ao longo do ano, uma vez que esta carga é influenciada por fatores transitórios (Figura 37).

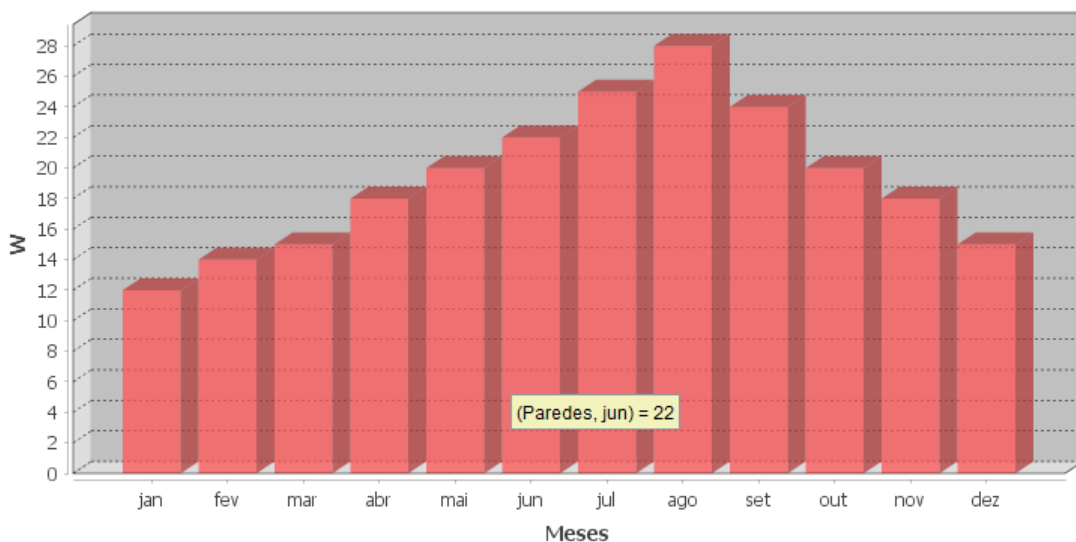


Fig. 37 - Gráfico da carga térmica pela envolvente ao longo do ano.

O segundo botão vai exibir um gráfico circular (Figura 38), onde são apresentadas todas as cargas e onde cada carga possui uma cor diferente. São também apresentados os valores das cargas, tanto os valores numéricos como a percentagem afeta a cada, quando o utilizador passa o cursor por cima da secção de uma carga.

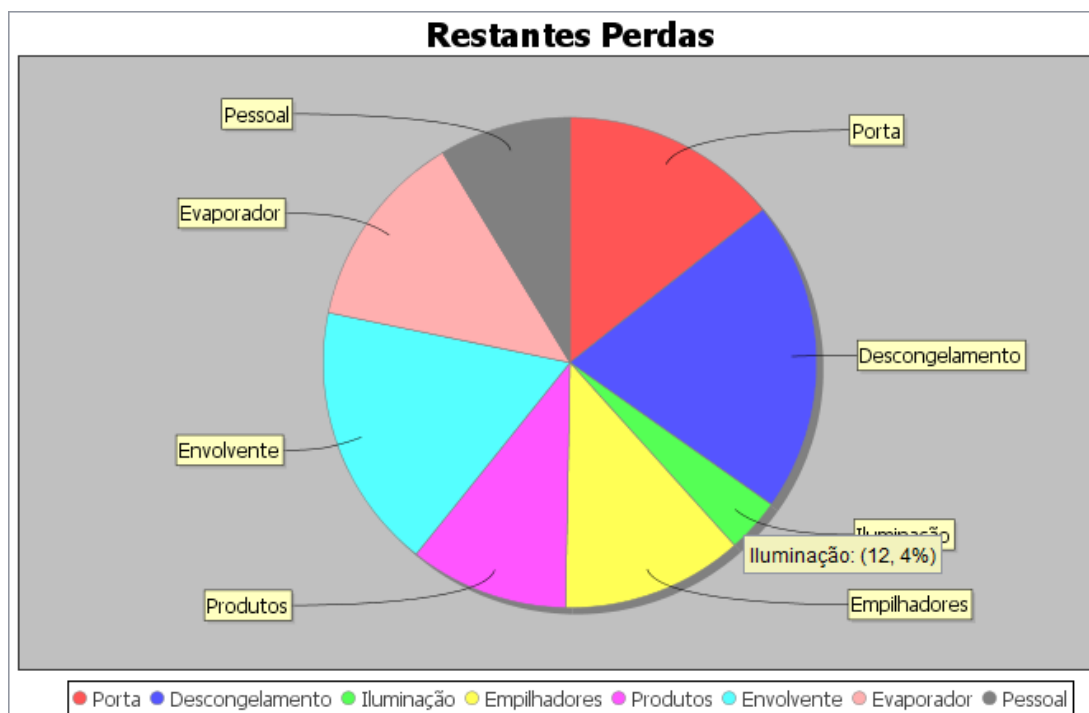


Fig. 38 - Gráfico com a ponderação das cargas térmicas.

O último botão vai apresentar outro gráfico de barras semelhante ao gráfico exibido na Figura 37 onde é apresentada a evolução das cargas referentes à infiltração de ar e ao processo de descongelação ao longo do ano, uma vez que estas cargas também são influenciadas por fatores transitórios. No caso de ser estudada mais que uma câmara, os valores utilizados para a elaboração dos gráficos correspondem à soma dos valores das cargas de todas as câmaras estudadas. Por exemplo, no caso de terem sido estudadas três câmaras, os valores das cargas térmicas apresentados correspondem à soma dos valores da câmara 1,2 e 3.

Por fim, falta apenas descrever a secção referente à parte elétrica, onde são apresentados seis botões. Cada botão irá apresentar um gráfico circular (Figura 39), onde são apresentadas as cargas elétricas de uma maneira igual à apresentada na secção dos gráficos referentes às cargas térmicas. Os restantes botões funcionam de uma maneira idêntica aos diferentes botões da secção relativa aos gráficos das cargas térmicas.

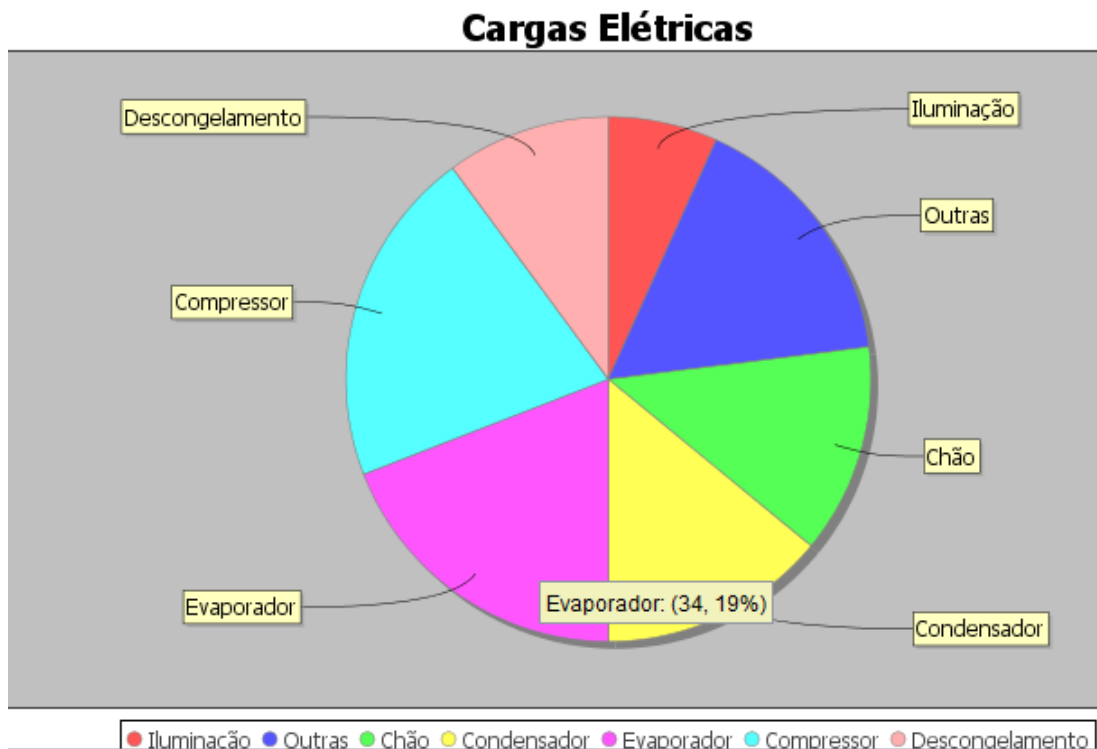


Fig. 39 - Gráfico com a ponderação das cargas elétricas.

Porém, no caso de haver alguma irregularidade no processamento dos gráficos, são exibidas mensagens de aviso sobre o que pode estar mal e assim o utilizador pode emendar os problemas (Figura 40).

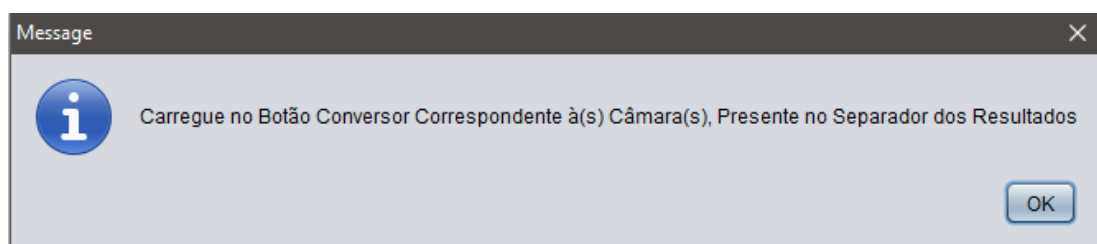


Fig. 40 - Janela com a indicação de erros.

4.3. Programação

Como seria de esperar, o desenvolvimento da programação java foi um processo demorado e complexo, gerando um código algo extenso. Pretende-se, portanto, ilustrar alguns

exemplos de código de modo a elucidar no que toca ao trabalho realizado, sem tornar este subcapítulo demasiado extenso.

Antes de mais, segue-se um exemplo da programação de um *jButton* introduzido através do *NetBeans*. Para que um botão seja capaz de correr um código, é necessário que lhe seja adicionado um evento (Figura 41), ou seja, esse evento vai ser o código que pretendemos que o botão execute. Depois de adicionado o evento, o seguinte código irá ser processado assim que o utilizador pressione o respetivo botão. Este excerto de código diz respeito a um dos botões que vai proporcionar o acesso a uma das páginas secundária onde são introduzidas as características das câmaras.

```
private void jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {  
    Camara1 obj = new Camara1();  
    obj.setVisible(true);  
}
```

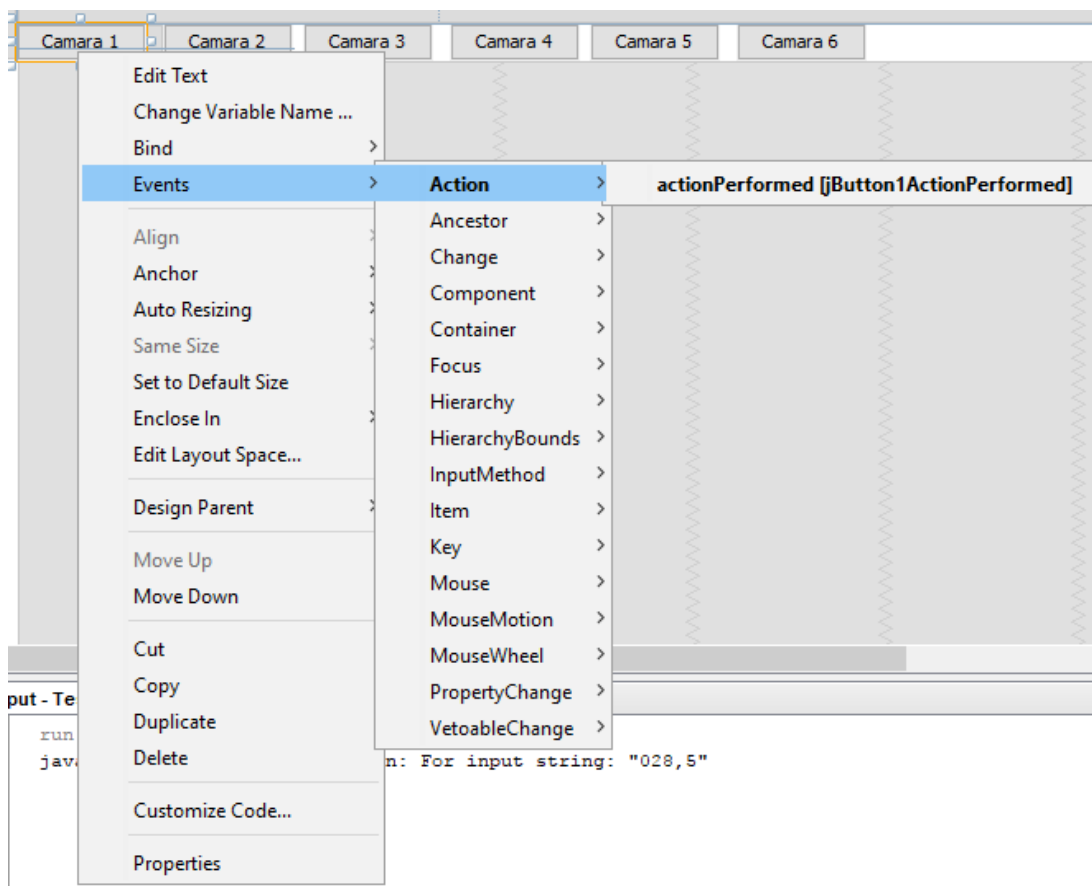


Fig. 41 - Adição de evento de geração de botões.

Seguidamente, é apresentado um exemplo da programação de uma *ComboBox*. Tal como na programação do botão, é necessário neste caso adicionar um evento. Neste exemplo é apresentado um código referente à *ComboBox* onde é perguntado ao utilizador se a parede da câmara é interna ou externa, e conforme a opção escolhida, diferentes ações vão ocorrer. Neste caso, as ações que podem ocorrer são relativas à possível edição de uma caixa de texto, da omissão de uma opção e da introdução de um valor.

```
private void TipoParedeEstelActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {  
    int posicao = TipoParedeEstel.getSelectedIndex();  
    if(posicao == 1) {  
        TempEstel.setEditable(true);  
    }  
    if(posicao == 2){  
        TempEstel.setEditable(false); TempEstel.setText("0");  
        jLabel140.setVisible(false); jLabel1425.setVisible(false);  
    }  
}
```

No código acima é possível verificar que a definição da *ComboBox* é realizada através das posições das opções presentes nesta. A primeira posição, que é referente à primeira opção presente na *ComboBox*, corresponde ao número 0, no entanto, nesta posição está a opção “Escolha”, daí só se analisarem os valores 1 e 2 das posições, que correspondem a “Interna” e “Externa”, respetivamente. Outras opções presentes no código e que é importante explicar são o *setEditable*, *setVisible* e o *setText*. A primeira é responsável pela edição dos campos de texto onde são introduzidos os valores, funcionando da seguinte maneira: quando é possível introduzir dados nas respetivas caixas de texto, esta opção tem que estar “true”. Caso se queira bloquear a possível introdução de dados, a opção tem que estar “false”. Quando se pretende omitir ou fazer surgir alguma indicação, é através do parâmetro *setVisible* que tal é possível. Por fim o parâmetro *setText* é responsável pela atribuição de um número ou uma palavra. Assim sendo, quando se escolhe a opção “Interna” (“posição == 1”), a caixa de texto referente à introdução da temperatura exterior fica editável. No caso de ser escolhida a opção “Externa” (“posição==2”), a caixa de texto referida em cima desaparece, não sendo possível introduzir nada nela e sendo-lhe atribuído valor igual a 0, uma vez que não vai ser utilizada para qualquer cálculo.

Ainda em relação à parte onde são introduzidas as características das paredes, existe um tipo de código diferente na *ComboBox* acima descrita. Neste caso foi necessário introduzir um tipo de evento diferente (Figura 42), que é responsável pelo aparecimento ou não de

diferentes opções nas *ComboBoxes* referentes à existência de proteção do sol e o tipo de cor da parede.

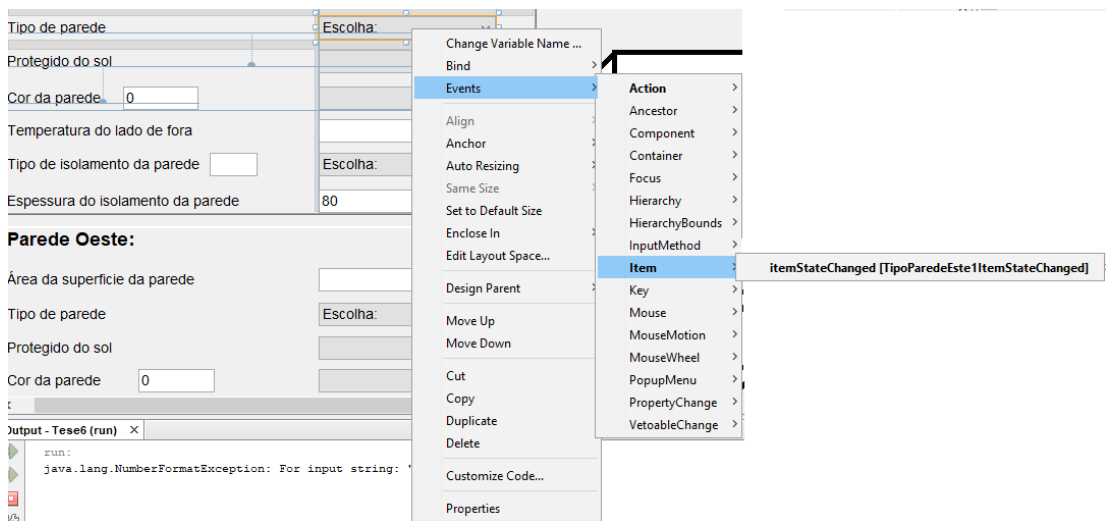


Fig. 42 - Adição de evento responsável pelo aparecimento ou não de diferentes opções nas *ComboBoxe* referentes.

O código presente na *ComboBox* é o seguinte:

```
private void TipoParedeste1ItemStateChanged(java.awt.event.ItemEvent evt) {
    if(evt.getStateChange() == ItemEvent.SELECTED) {
        if(this.TipoParedeste1.getSelectedIndex()==1) {
            this.SolEste1.setModel(new DefaultComboBoxModel
            (this.getInterna(this.TipoParedeste1.getSelectedItem().toString())));
            this.CorEste1.setModel(new DefaultComboBoxModel
            (this.getInterna(this.TipoParedeste1.getSelectedItem().toString())));
        }
        if(this.TipoParedeste1.getSelectedIndex()==2) {
            this.SolEste1.setModel(new DefaultComboBoxModel
            (this.getExterna(this.TipoParedeste1.getSelectedItem().toString())));
            this.CorEste1.setModel(new DefaultComboBoxModel
            (this.getExternaCor(this.TipoParedeste1.getSelectedItem().toString())));
        }
    }
}
```

Nesta parte, o que se sucede é que este código serve única e exclusivamente para aceder a outra parte do código geral que se designa por método. O código vai então aceder a este método que é responsável pelo aparecimento das diferentes opções nas *ComboBoxes*

referidas. Em baixo está representado uma parte do código referente a uma das *ComboBoxes* deste método, uma vez que todo o código desta parte é algo extenso.

```
public String[] getInterna (String selecionar){
    String[] Interna = new String [1];
    if (selecionar.equalsIgnoreCase("Interna")){
        Interna[0] = "";
    }
    return Interna;
}
public String[] getExterna (String selecionar){
    String[] Externa = new String[3];

    if (selecionar.equalsIgnoreCase("Externa")){
        Externa[0] = "Escolha";
        Externa[1] = "Sim";
        Externa[2] = "Não";
    }
    return Externa;
}
```

O que sucede neste excerto é que conforme a opção escolhida para o tipo de parede vai aparecer diferentes opções na *ComboBox*. Ou seja, no caso em que se indica que a parede é interna, na *ComboBox* referente se à existência de proteção em relação ao sol não vai aparecer nenhuma opção, estando representado no código como “Interna[0] = “”;”. No outro caso, de a parede ser externa, já vão aparecer três opções. A primeira é “Escolha”, a segunda é “Sim” e a terceira é “Não”. No final de cada secção é retornado uma *String* (Interna ou Externa) que é utilizada através do comando *this.getInterna* ou *this.getExterna*, presente no código da *ComboBox* referente ao tipo de parede.

Outro fator importante ao nível a programação deste trabalho é referente à transferência de valores, existindo neste caso dois tipos de transferências. Uma é referente à transferência de valores dentro da mesma página e outra relacionada com a transferência para outra página. O primeiro tipo de transferência está relacionado com a transferência de um valor da carga térmica da porta para as tabelas presentes no cimo de uma das páginas secundárias. O código utilizado está representado em baixo, onde é visível que é usado o comando *setText*, já em cima descrito, que vai transferir o valor atribuído a uma variável (“QPTotal”) para uma caixa de texto ou um *label* (“PortaFinal1”), consoante o que o programador entender.

```
PortaFinal1.setText(df.format(QPTotal)+"W");
```

O segundo tipo de transferência já é um pouco mais complexo, uma vez que se vão utilizar os valores presentes nas tabelas, que foram referidas no outro de tipo de transferências, e vão se transferidos os valores para o *JFrame* principal. Um exemplo do código está representado em baixo.

```
TelaPrincipal.Outrasele1.setText(outele1.getText());  
this.dispose();
```

Nesta parte apenas está representado a transferência de um valor do *JFrame* secundário para o *JFrame* principal (“TelaPrincipal”). O local de onde se vai buscar o valor está representado por “outele1” que é a caixa de texto onde está o valor referente à carga elétrica das outras perdas do sistema. Já o local para onde este valor vai ser transferido está representado por “Outrasele1”. Para que a transferência possa ser possível, a caixa de texto que recebe o valor tem que estar pública. Para que a transferência ocorra é utilizado o comando *getText* que permite recolher os dados presentes na primeira caixa de texto e através do *setText*, estes dados, são transcritos para a segunda caixa de texto. Por fim aparece no final o comando *this.dispose()* que é usado para que depois dos dados serem transferidos ficar apenas o *JFrame* principal aberto.

Uma vez presentes no *JFrame* principal, vai ser necessário recorrer a alguns botões. O primeiro é referente à passagem de uma secção para outra, representado por botão “Seguinte”, estando a sua programação representada em baixo.

```
this.jTabbedPane2.setSelectedIndex(1);
```

Neste caso, a única situação que se pretende é indicar para que secção se pretende avançar. Como a primeira secção que aparece no *JFrame* principal corresponde à posição 0, então pretendendo avançar para a segunda secção, terá que ser dada informação que se pretende ir para a secção presente na posição 1, como está demonstrado no código em cima.

Posto isto, como foi referido no subcapítulo anterior, é necessário recorrer ao botão “Conversor” para que sejam substituídas as vírgulas por pontos. E para que se perceba melhor como tal processo é feito, um exemplo de apenas um valor é exibido em seguida:

```
String Paredejan = Câmarajan1.getText();
Paredejan = Paredejan.replaceAll(",", ".");
Câmarajan1.setText(Paredejan);
```

Nesta seção é utilizado o comando `replaceAll` para substituir a vírgula pelo ponto do valor presente na caixa de texto (“Câmarajan1”). É depois utilizado o `setText` para voltar a introduzir o valor na caixa de texto de onde foi retirado através do `getText` mas com ponto em vez de vírgula.

Por fim, falta apenas descrever o funcionamento dos botões referentes à elaboração dos gráficos. Para tal foi necessário recorrer a uma extensão do java *Netbeans*, o *JFreeChart*. Esta extensão permite a realização de inúmeros tipos de gráficos, mas neste caso apenas dois tipos de gráficos foram utilizados, um de barras e outro circular. Em relação ao gráfico de barras, para este seja elaborado, é necessário adicionar um evento a um botão, estando em baixo a programação de apenas uma barra referente à carga térmica através da envolvente.

```
Double jan1;

jan1=Double.parseDouble(Câmarajan1.getText());
DefaultCategoryDataset dpn = new DefaultCategoryDataset();
    dpn.setValue(jan1, "Paredes", "jan");

JFreeChart grafico = ChartFactory.createBarChart3D("Perdas da Câmara1", "Meses", "W",
dpn, PlotOrientation.VERTICAL, true, true, false);

CategoryPlot plot = grafico.getCategoryPlot();
plot.setRangeGridlinePaint(black);

ChartFrame chartframe = new ChartFrame("Perdas da Câmara1", grafico, true);
chartframe.setVisible(true);
chartframe.setSize(1400,700);
```

Para a elaboração do gráfico é necessário recolher valores às tabelas e para que estes possam ser utilizáveis, é preciso armazená-los numa variável, estando neste caso armazenado na variável “jan1”. Em seguida, através da seguinte parte “`DefaultCategoryDataset dpn = new DefaultCategoryDataset(); dpn.setValue(jan1, "Paredes", "jan");`” são armazenadas informações que vão estar visíveis para o utilizador quando passar o cursor por cima das barras. Estas informações representam o valor armazenado na variável “jan1”, a carga térmica apresentada e o mês correspondente. Na linha de código seguinte é indicado o tipo de gráfico que se pretende e são definidos nomes para os eixos e para o gráfico. As linhas pretas a tracejado são introduzidas pela seguinte ação “`plot.setRangeGridlinePaint(black);`”. Por fim através dos comandos `setVisible` e do `setSize` é possível a geração do gráfico e é definido o tamanho em que este vai aparecer ao utilizador.

Em relação ao gráfico circular, este também vai ser elaborado através de um evento presente num botão. Apesar da programação ser bastante idêntica à do gráfico de barras, existem algumas diferenças. No código representado em seguida apenas se encontram as diferenças de um gráfico para o outro.

```
JFreeChart grafico = ChartFactory.createPieChart("Restantes Perdas", dpn, true, true, false);

    ChartPanel chartPanel = new ChartPanel(grafico);
    ChartFrame chartframe = new ChartFrame("Restantes Perdas", grafico, true);
    chartframe.setVisible(true);
    chartframe.setSize(1400, 700);
```

Comparando com o código do gráfico de barras é possível observar que nesta primeira linha de código, o tipo de gráfico que se pede é diferente. No restante código apenas muda o nome das variáveis e o tipo de gráfico que está a ser tratado (“`ChartPanel`”).

5. Análise e Discussão de Resultados

5.1. Introdução

O capítulo 5 contempla a análise e discussão dos resultados obtidos das simulações efetuadas de maneira a verificar a fiabilidade da ferramenta em estudo. Para tal foram efetuadas simulações a duas empresas piloto de maneira a se comparar os valores das simulações feitas pelo FORECAST com as simulações obtidas a partir da aplicação da ferramenta ICE-E. São apresentadas análises gráficas, nas quais é possível verificar os diferentes valores obtidos.

5.2. Empresas

Para validar a ferramenta foram selecionadas duas empresas, denominadas de empresa A e empresa B. A primeira empresa está enquadrada no setor das carnes, enquanto que a segunda empresa pertence à indústria dos produtos lácteos. Os dados de caracterização das empresas são oriundos de InovEnergy (2012).

A empresa A, dedica-se ao comércio a retalho de carne e produtos à base de carne. Possuía em 2012, 10 anos de atividade, tendo no seu quadro 4 trabalhadores. De acordo com a legislação portuguesa, é classificada como sendo uma microempresa. Nas suas instalações encontram-se quatro câmaras de frio (três de refrigeração e uma de congelação) numa área coberta de 600 [m²]. No que toca às câmaras, estas são feitas em painéis sandwich de poliuretano com espessura de 80 [mm] para as câmaras de refrigeração e 100 [mm] para a câmara de congelação, possuindo no seu interior iluminação proveniente de lâmpadas fluorescentes. Entra, em média, 1 [pessoa-hora⁻¹] nas câmaras de refrigeração. Em momentos de maior trabalho, 2 a 5 [pessoa-hora⁻¹], e na câmara de congelação 1 [pessoa-hora⁻¹], tendo a duração de 10 segundos cada abertura de porta. As câmaras variam entre porta manual e de fecho, com a câmara de congelação a ser a única com lamelas. As dimensões das portas são 1,2 [m] de largura e 2,2 [m] de altura. A temperatura de entrada do produto nas câmaras de refrigeração é de 5 [°C], e na de congelação é de -12 [°C]. O sistema de frio das câmaras é de expansão direta, através de central frigorífica e unidade individual (câmara de congelação). O fluido frigorígeno está atualizado, e sem plano de substituição, sendo o R404a agora utilizado. Os evaporadores possuem uma localização diferente em cada câmara frigorífica, existindo um em cada câmara, e todos os

evaporadores têm descongelação através de resistência elétrica. Já os condensadores do sistema de frio estão localizados na cobertura do edifício e existe um em cada câmara. Relativamente aos acessos às câmaras de frio, não existem corredores climatizados. No entanto, o isolamento das tubagens dos evaporadores é em neoprene. O fator de potência identificado é de 0,86, não possuindo nenhum equipamento para correção do mesmo. Na Tabela 8 é possível observar as diferentes condições das câmaras de frio.

Tabela 8 - Dados das quatro câmaras de frio - Empresa piloto A.

	Temp. int. [°C]	Temp. ext. [°C]	Humidade int. [%]	Humidade ext. [%]	Dimensões (C×L×A) [m]
Câmara de refrigeração (1)	1	9	54,8	52,5	10,0×6,0×3,2
Câmara de refrigeração (2)	3	12	56,0	52,5	4,0×4,0×3,2
Câmara de refrigeração (3)	3	12	56,0	52,5	4,0×4,0×3,2
Câmara de congelação	-12	12	40,0	52,5	8,0×6,0×3,2

A empresa B dedica-se à produção de leite e derivados. Possuía em 2012, 9 anos de atividade, tendo no seu quadro 6 trabalhadores. De acordo com a legislação portuguesa, é classificada como sendo uma microempresa. Nas suas instalações encontram-se duas câmaras de frio (ambas de refrigeração) numa área coberta de 140 [m²]. No que toca às câmaras, estas são feitas em painéis sandwich de poliuretano com espessura de 80 [mm], possuindo no seu interior iluminação proveniente de lâmpadas fluorescentes. Entra, em média, 2 [pessoas-hora⁻¹] nas câmaras, tendo a duração de 10 segundos cada abertura de porta. As câmaras variam entre porta manual e de fecho, cujas dimensões são 1,2 [m] de largura e 2,2 [m] de altura. A temperatura de entrada do produto nas câmaras 9 [°C]. O sistema de frio das câmaras é de expansão direta, através de unidades individuais e compactas. Não existe plano de substituição do fluido frigorígeno, que é o R404a. Os evaporadores possuem uma localização diferente em cada câmara frigorífica, existindo um em cada câmara, e todos os evaporadores têm descongelação através de resistência elétrica. Já os condensadores do sistema de frio estão localizados na cobertura do edifício, existindo um em cada câmara. E o isolamento das tubagens dos evaporadores é em neoprene. Na Tabela 9 é possível observar as diferentes condições das câmaras de frio.

Tabela 9 - Dados das duas câmaras de frio - Empresa piloto B.

	Temp. int. [°C]	Temp. ext. [°C]	Humidade int. [%]	Humidade ext. [%]	Dimensões (C×L×A) [m]
Câmara de refrigeração (1)	9	12	83,0	74,0	5,05×4,58×2,83
Câmara de refrigeração (2)	5	12	81,0	74,0	7,50×4,45×3,00

Depois de conhecidas as características de ambas as empresas e devido à ausência de informação relativa a alguns detalhes recorreu-se ao artigo do Foster *et al.* (2013) para complementar estas lacunas. As informações adicionadas estão representadas na tabela 10.

Tabela 10 - Informações complementares (Foster *et al.*, 2013).

Tipo	Valor
Iluminância	562 [lm m ⁻²]
Eficácia das luzes	49 [lm W ⁻¹]
Potência de cada ventilador do evaporador	110 [W]
Eficiência do motor do evaporador	55 [%]
Potência de cada ventilador do evaporador	175 [W]
Eficiência do motor do evaporador	55 [%]
Número de compressão, estágios de expansão	1.1
Eficiência isentrópica do compressor	Médio (0,6)

Em relação à entrada e saída de produtos por dia, foi realizada uma estimativa que variou conforme o tamanho da câmara de frio estava a ser analisada.

5.3. Testes

Nesta secção da presente dissertação são apresentados os resultados obtidos através da introdução dos parâmetros que a ferramenta computacional desenvolvida avalia. As informações utilizadas para as devidas análises encontram-se no subcapítulo anterior, particularmente nas Tabelas e na descrição de cada empresa. Os resultados obtidos foram:

- Empresa piloto A

Depois de introduzidas as características da empresa A, foi então possível apresentar os valores referentes às cargas térmicas e elétricas graficamente, sendo importante referir que os valores utilizados são relativos à soma das cargas das quatro câmaras. O primeiro

gráfico apresentado é um gráfico de barras onde é possível visualizar a evolução da carga térmica da envolvente ao longo do ano (Figura 43).

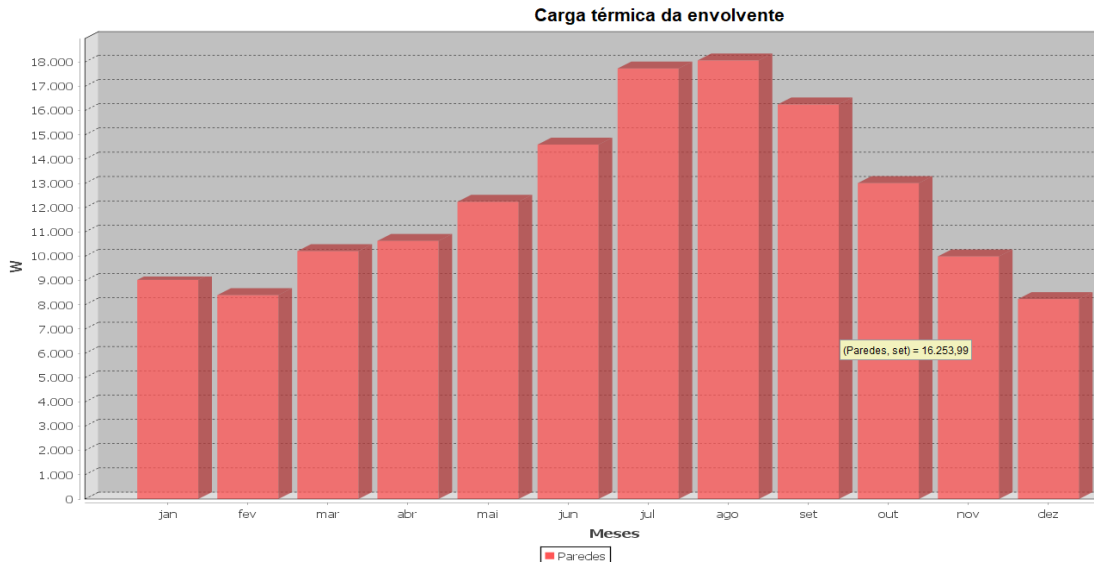


Fig. 43 - Previsão da evolução da carga térmica da envolvente ao longo do ano - Empresa piloto A.

Ao analisar a representação gráfica referente à carga térmica da envolvente é possível observar que se obtém o resultado esperado, ou seja, verifica-se uma maior carga térmica nos meses mais quentes do ano e uma diminuição desta conforme os meses vão apresentando uma temperatura do ar ambiente mais baixa.

Outro gráfico obtido está relacionado com todas as cargas térmicas do sistema, estando estas representadas através de um gráfico circular (Figura 44). Ao passar o cursor por cima de uma secção, é possível visualizar o valor e a percentagem dessa carga térmica.

Neste caso os resultados obtidos também são os esperados, sendo que as perdas pela envolvente, por infiltração de ar e pelo descongelamento, estão representadas através da média anual. No que diz respeito ao impacto destas cargas, é a carga proveniente da envolvente que maior impacto tem no sistema, com um total de 89% de toda a carga gerada, seguindo-se da carga derivada do evaporador com um valor de 6% da carga total. As cargas de infiltração de ar e de descongelamento têm um impacto de 1% em ambos os casos. As cargas com menor impacto são as cargas provenientes da iluminação, dos produtos e do pessoal, todas com menos de 1% do impacto total das cargas térmicas. Estes resultados tão díspares podem ocorrer, porque os valores apresentados são o resultado da soma das quatro câmaras, e como tal as cargas com maior impacto vão ter um maior relevo nesta análise.

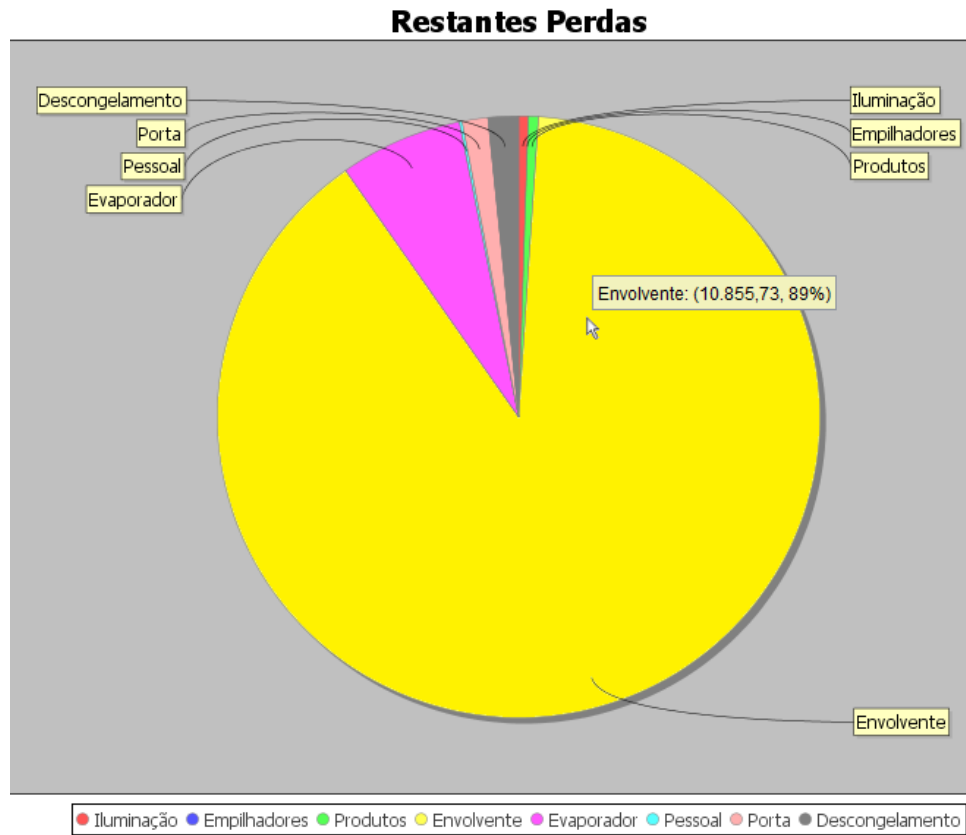


Fig. 44 - Previsão das cargas térmica - Empresa piloto A.

Por fim, o último gráfico obtido é relativo às cargas elétricas do sistema (Figura 45). Neste último gráfico, os resultados obtidos também foram os esperados, e como aconteceu em relação às perdas pela envolvente, o compressor ocupa a fatia mais significativa das cargas elétricas, com um impacto de 63%, por estar representada a soma das cargas elétricas das quatro câmaras e por uma destas câmaras ser de congelação, o que vai aumentar bastante o valor geral relativo ao compressor. No que diz respeito às outras cargas do sistema, as cargas provenientes do condensador (19%), evaporador (12%) e descongelamento (5%), são as restantes cargas com maior impacto no sistema. Por fim a carga da iluminação tem um impacto de apenas 1% no sistema.

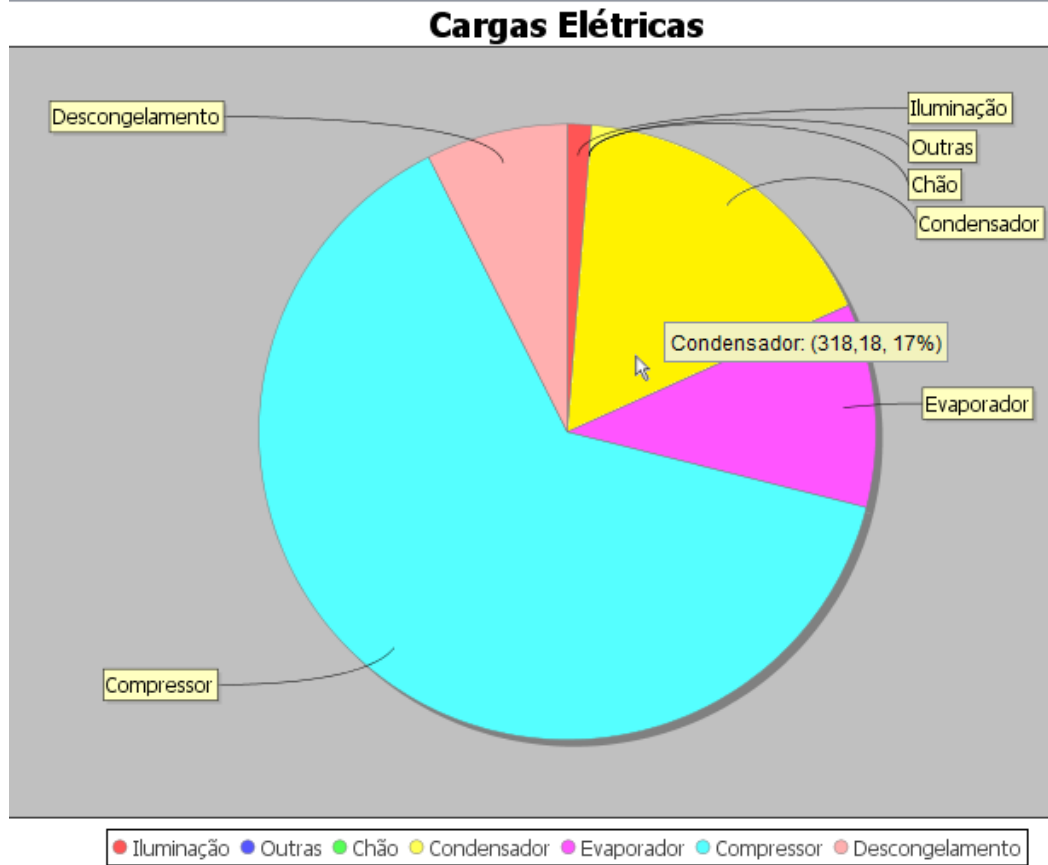


Fig. 45 - Previsão das cargas elétricas - Empresa piloto A.

- Empresa piloto B

Depois de obtidos os resultados relativos às cargas da empresa B, procedeu-se então à elaboração da representação gráfica destes, sendo obtidos três gráficos. O primeiro (Figura 46) é o gráfico de barras no qual está representada a evolução da carga térmica da envolvente ao longo do ano. O resultado obtido foi o esperado, uma vez que, que se verificou uma maior carga nos meses mais quentes, onde ocorre um aumento da carga de 10x dos meses mais quentes em comparação com os meses mais frios.

O segundo gráfico obtido (Figura 47), é um gráfico circular onde estão representadas as restantes perdas do sistema. Verifica-se um maior valor da carga térmica referente à envolvente, comparativamente às outras cargas. Tal como no caso da empresa piloto A, estes valores correspondem a soma das duas câmaras da empresa, sobressaindo ainda mais a maior carga térmica da envolvente. Em relação às restantes cargas, a carga do evaporador é a segunda com maior influência no sistema (12%). As restantes cargas do sistema têm uma pequena influência em comparação com as duas acima mencionadas, variando estas cargas entres os 1% e 4% de influência no sistema.

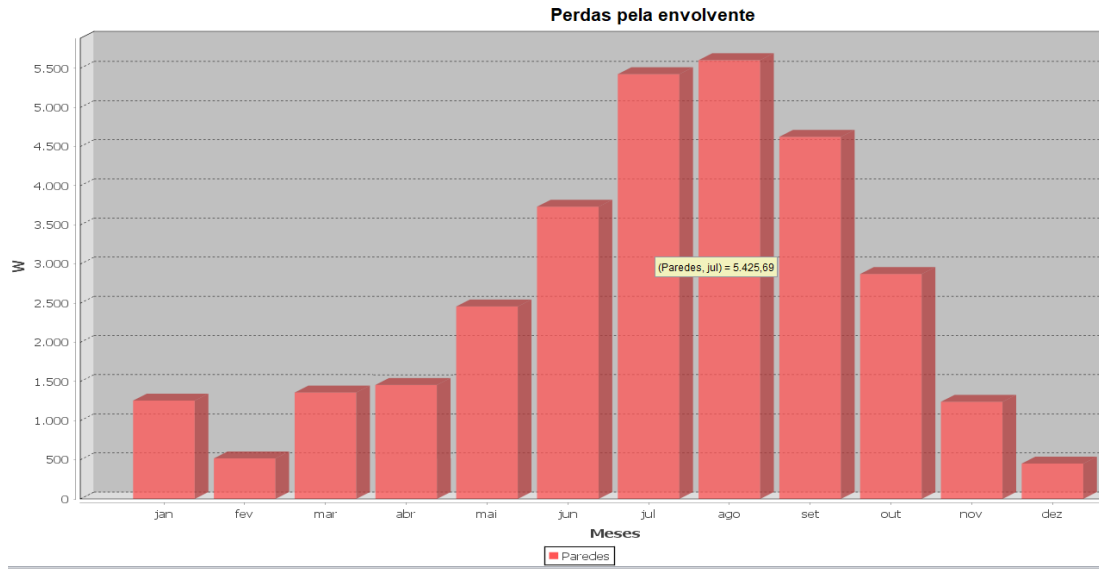


Fig. 46 - Previsão da evolução da carga térmica da envolvente ao longo do ano - Empresa piloto B.

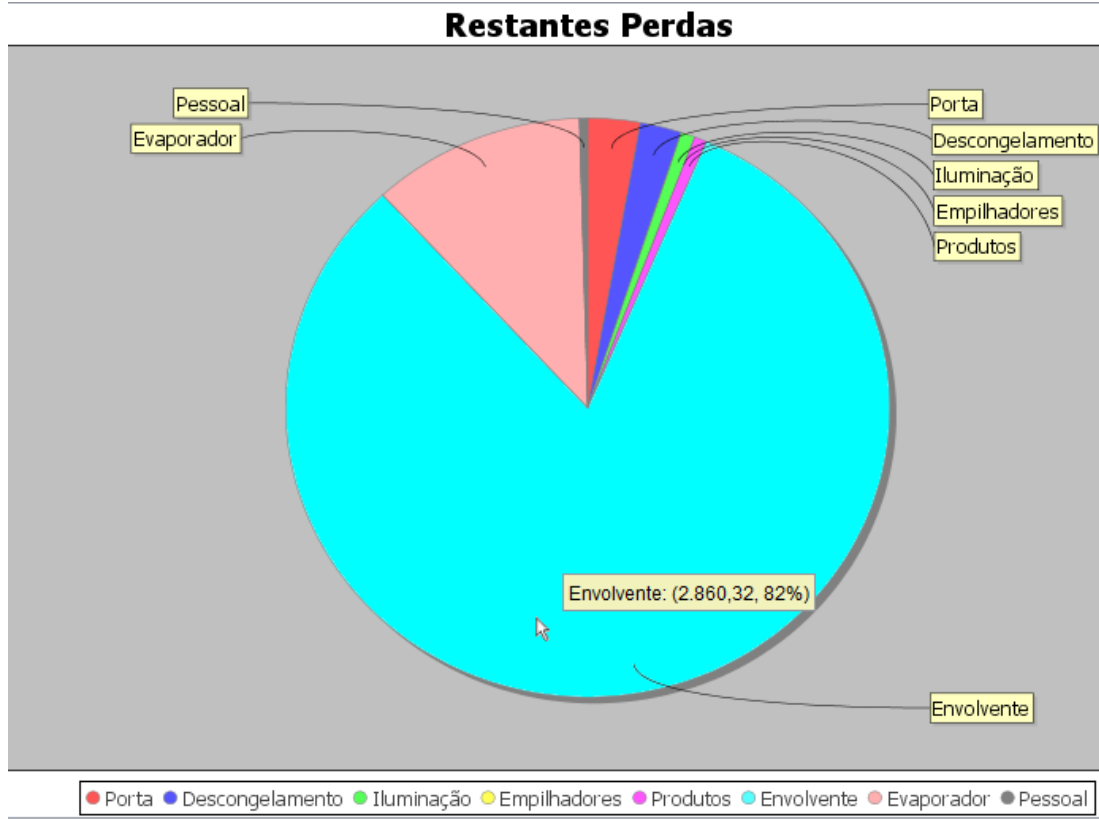


Fig. 47 - Previsão das cargas térmica - Empresa piloto B.

Por fim, o último gráfico obtido (Figura 48) é relativo à previsão das cargas elétricas, estando estas representadas através de um gráfico circular. Neste caso, o valor da carga elétrica do condensador encontra-se maioritariamente representado, muito por causa de apenas terem sido avaliadas apenas câmaras de refrigeração. No entanto, neste caso, ao contrário do caso da empresa piloto A, não existem parcelas muito mais destacadas porque apenas foram estudadas duas câmaras.

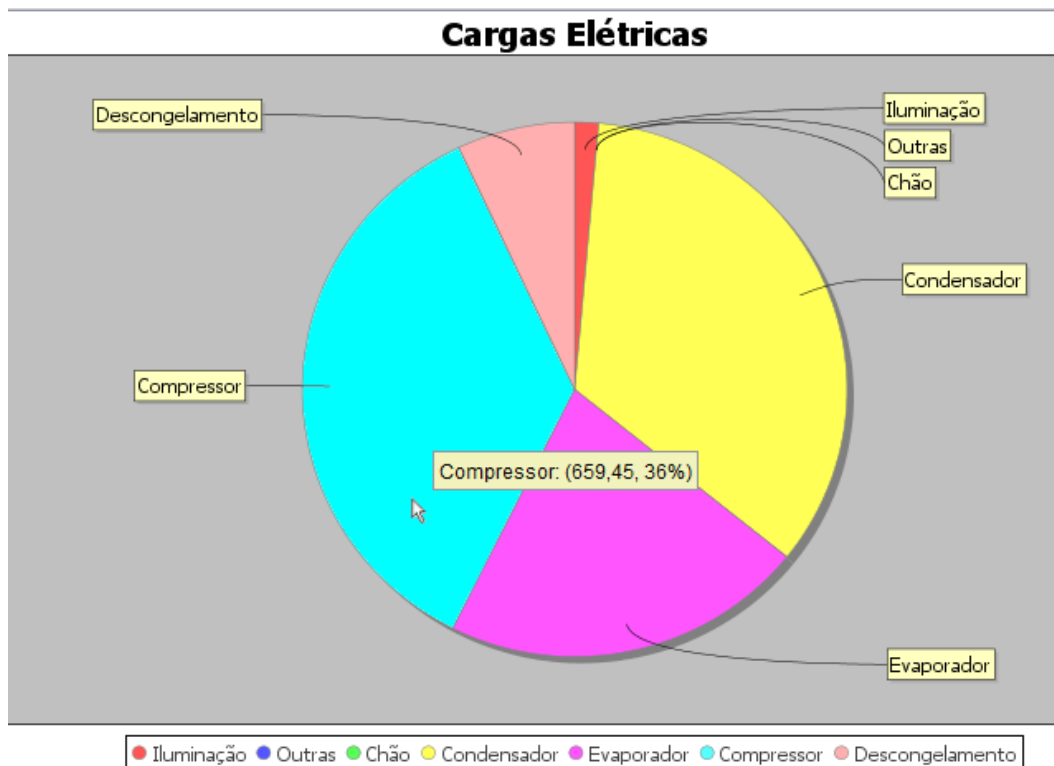


Fig. 48 - Previsão das cargas elétricas - Empresa piloto B.

5.4. Validação de resultados

Neste subcapítulo é realizada uma análise onde se comparam as cargas térmicas determinadas através da simulação feita com a ferramenta FORECAST com os valores das cargas térmicas calculadas através da simulação feita pela ferramenta ICE-E. Em ambos os casos as simulações foram efetuadas com os dados relativos às empresas piloto A e B. No entanto, para estas simulações apenas foram utilizados os dados de apenas uma câmara de cada empresa (a primeira de cada empresa), uma vez que a ferramenta ICE-E apenas analisa os dados relativos a uma câmara.

Assim sendo, são analisados em primeiro lugar os valores das cargas térmicas das envolventes das empresas piloto A e B. Na Figura 49 está representada graficamente a comparação dos valores da carga térmica da envolvente determinadas pelas duas ferramentas.

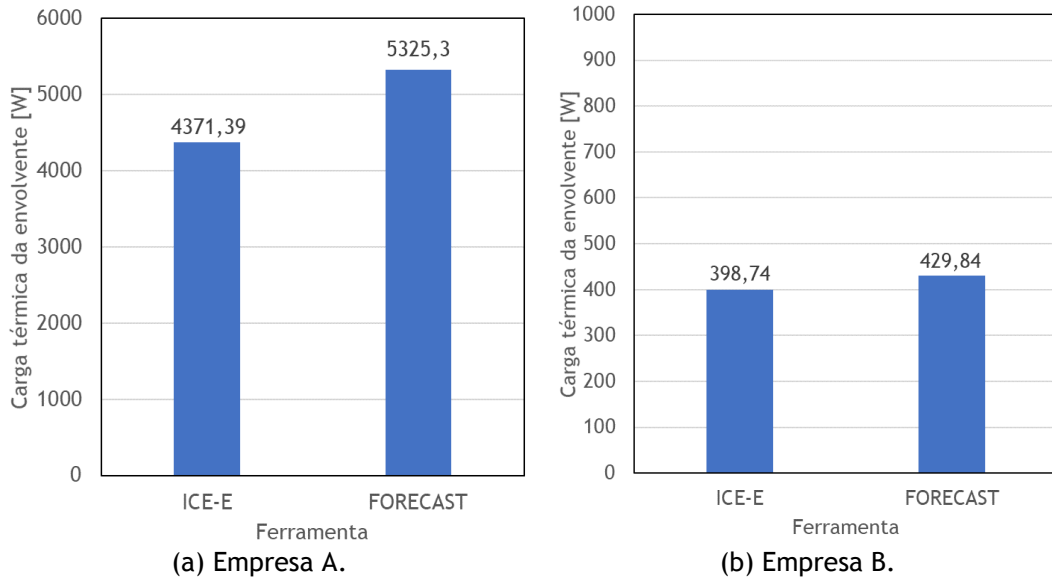


Fig. 49 - Valores das cargas térmicas da envolvente [W] das simulações das duas ferramentas (Foster et al., 2013; Evans et al., 2014; Foster et al., 2016).

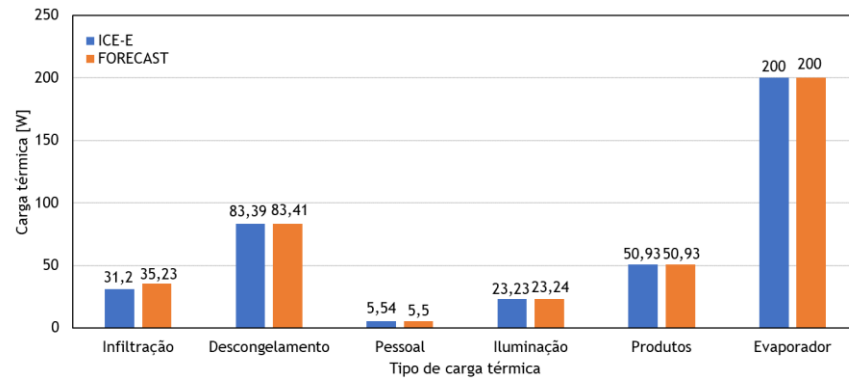
Nestas representações gráficas é possível verificar que existe uma discrepância de valores relativamente a esta carga. Uma vez que os valores apresentados pela ferramenta computacional em Java são uma média anual, é esta a justificação para esta diferença relativamente aos valores determinados pela ferramenta ICE-E. É importante salientar que os valores apresentados da ferramenta em Java são uma média anual, já que nesta simulação é utilizado um ficheiro climático, e como tal são utilizados vários valores que variam ao longo do ano. Ao contrário, na simulação feita pela ferramenta ICE-E, são apenas utilizados valores predefinidos que não variam, e como tal, não existe variância ao longo do ano. No que diz respeito à diferença de valores das empresas piloto A e B, existem alguns fatores que influenciaram esta diferença. Tendo em conta os dados de ambas as empresas, os respetivos fatores são os seguintes: a temperatura exterior e interior e as áreas das diversas superfícies.

No caso da empresa piloto A, a ferramenta desenvolvida sobrestima em comparação com a ferramenta ICE-E, a carga térmica da envolvente em cerca de 22%. No caso da empresa piloto B, esta sobre estimação é somente de 8%.

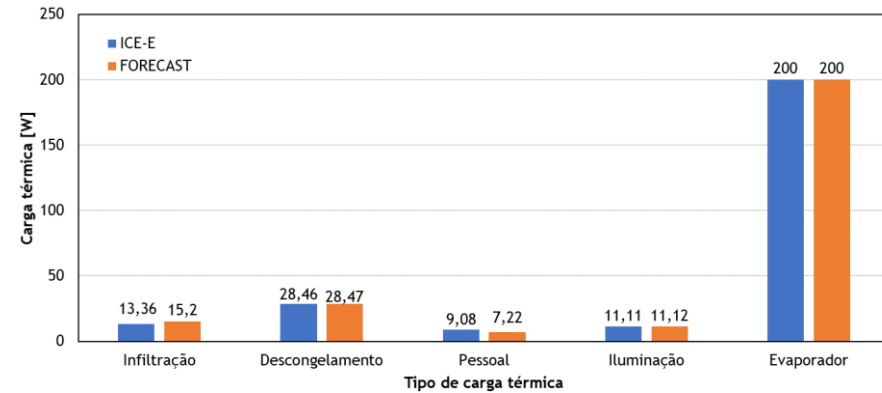
No que diz respeito as restantes cargas térmicas analisadas, como se pode observar pela Figura 50, não existe qualquer diferença relevante, sendo que as pequenas diferenças nos resultados são, muito provavelmente, consequência de arredondamentos. No que diz respeito à diferença de valores entre as empresas, estas podem ser influências de diferentes fatores. No que diz respeito à carga térmica da iluminação, a diferença verificada advém das áreas das superfícies. Em relação à carga térmica da infiltração de ar e do descongelamento, as diferenças decorrem dos diferentes valores de humidade exterior, da temperatura interna e do número de abertura de portas por dia. Os valores das cargas provenientes do pessoal são afetados pelo diferente número de pessoas que entram na câmara. No que diz respeito ao evaporador, uma vez que os dados inseridos são iguais, os valores obtidos das duas empresas são iguais. Por fim, no que diz respeito à carga térmica dos produtos, não aparece nenhuma referência nos valores da empresa piloto B, porque a temperatura de entrada dos produtos é igual à temperatura interna da câmara e como tal não origina qualquer carga térmica neste aspeto.

Depois de analisados todos os valores obtidos e os fatores que os podem influenciar, é possível verificar que a ferramenta computacional desenvolvida nesta dissertação, se encontra a funcionar como pretendido, sendo validado o cálculo das cargas térmicas pela comparação com os resultados da ferramenta ICE-E. Tanto para a empresa piloto A como para a empresa piloto B, a diferença entre a carga térmica total, excetuando a carga térmica da envolvente, ronda 1%.

Depois de analisadas as cargas térmicas, fica a faltar apenas a análise das cargas elétricas do sistema. Neste caso, como se pode observar na Figura 51, foi feita, igualmente, uma análise gráfica na qual é possível comparar os valores das duas simulações efetuadas.

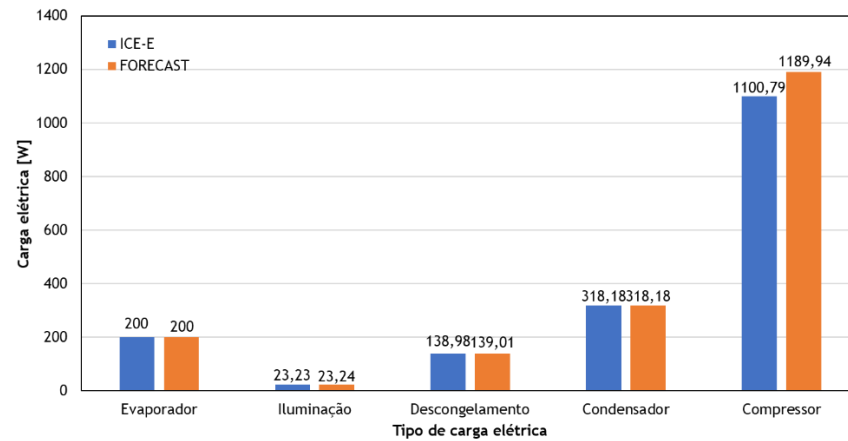


(a) Empresa A.

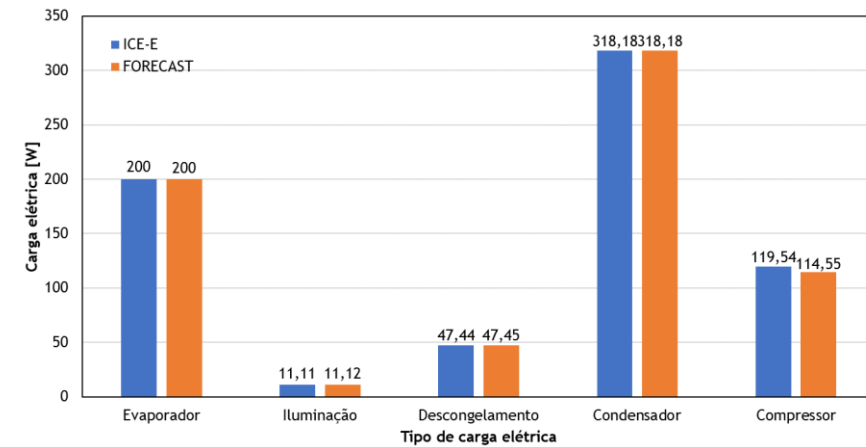


(b) Empresa B.

Fig. 50 - Valores das restantes cargas térmicas [W] das simulações das duas ferramentas (Foster *et al.*, 2013; Evans *et al.*, 2014; Foster *et al.*, 2016).



(a) Empresa A.



(b) Empresa B.

Fig. 51 - Valores das cargas elétricas [W] das simulações das duas ferramentas (Foster *et al.*, 2013; Evans *et al.*, 2014; Foster *et al.*, 2016).

Ao analisar os gráficos relativos às simulações das cargas elétricas, não se verificou nenhuma diferença fora do normal, sendo os valores bastantes semelhantes no que diz respeito à comparação das simulações das duas ferramentas utilizadas. No entanto, no que diz respeito à comparação de valores entre as empresas piloto A e B, verifica-se que existem algumas diferenças nas respectivas cargas elétricas. Em relação à carga elétrica da iluminação e do sistema de descongelamento, a justificação para a diferença de valores entre as duas empresas é a mesma indicada para as cargas térmicas. Os valores das cargas elétricas do evaporador e do condensador são iguais, pois os dados relativos a estes fatores são iguais para as duas empresas. Por fim, é visível uma diferença mais acentuada no que diz respeito à carga elétrica do compressor, que é justificável pelas diferentes temperaturas internas de cada câmara e das temperaturas à volta do compressor, sendo que quanto maior for a diferença entre estas temperaturas maior será a carga gerada.

Para a empresa piloto A, a diferença percentual da carga elétrica total é 5%. No caso da empresa piloto B, este valor reduz-se para 0,7%.

Assim, e obtendo valores bastante semelhantes em comparação com as simulações das duas ferramentas é, também neste caso, possível concluir que a ferramenta desenvolvida em Java apresenta resultados fiáveis.

5.5. Sugestões de melhoria

A solução para reduzir o excessivo consumo de energia não é igual a todas as empresas e a todos os setores de atividade, contudo deve-se procurar fontes de energia alternativas e adotar medidas que promovam essa redução. É neste âmbito que se aplica a eficiência energética. A forma como a energia é utilizada é impreterivelmente uma questão chave neste processo. Como tal, é imprescindível aumentar a eficiência energética nas operações das empresas, de modo a promover a redução de custos, aumentando a competitividade, contribuindo ainda para a redução da intensidade energética global (Andrade *et al.*, 2014). A eficiência energética pode oferecer poupanças a vários níveis como, redução de custos energéticos, redução de custos de manutenção, melhoria da segurança, aumento da produtividade, aumento da competitividade e melhoria do ambiente (Andrade *et al.*, 2014). Devido ao facto de não existirem instalações iguais, a contabilização do efeito das medidas torna-se difícil de obter, isto é, a mesma medida em instalações diferentes pode originar poupanças (ou não) bastante díspares. As medidas apresentadas em baixo são focadas em alterações passíveis de implementação numa instalação já existente, no entanto, nunca é demais salientar a importância de um bom projeto da estrutura. Caso exista uma forte

aposta na vertente energética a revisão do design da instalação pode permitir poupanças de 10 a 50% (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016; Marcelino, 2005).

Câmaras:

- Estas devem estar viradas a Norte de modo a estarem sujeitas, a uma exposição solar e a receber calor por condução e radiação (Andrade *et al.*, 2014).
- Recomenda-se que as câmaras de refrigeração construídas em painéis de poliuretano possuam uma espessura de 100 [mm] para refrigerados e 120 [mm] para congelados (Andrade *et al.*, 2014).
- Ter as dimensões adequadas e nunca sobredimensionadas. Quanto maior for a área do edifício ou a sua volumetria, maiores são as cargas térmicas geradas e, por conseguinte, maiores as potências frigoríficas necessárias para as superar. (Andrade *et al.*, 2014).
- Utilizar vidros e janelas com baixa condutividade térmica (Andrade *et al.*, 2014).
- Os cabos elétricos devem ser introduzidos no interior da câmara através do menor número possível de aberturas e devem ter um revestimento de plástico (Nunes *et al.*, 2016).
- Estas medidas preveem uma poupança de 5 - 10% (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016).

Portas:

- Por uma questão de economia de energia, as portas das câmaras frigoríficas devem permanecer fechadas o máximo de tempo possível (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016).
- Instalar portas automáticas (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016).
- As portas devem estar bem isoladas com ótimas vedações, pelo que a substituição de borrachas das portas das câmaras, assim como a sua verificação periódica contribuem para a redução de custos de energia. O uso de cortinas de ar ou de fitas plásticas são uma boa forma de evitar a saída do ar frio do interior das câmaras. Estas medidas juntamente com portas das câmaras de refrigeração bem isoladas permitem a obtenção de poupanças de energia de 2 a 5% (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016).

- Todas as medidas podem providenciar uma poupança de energia de 7,5 a 10% (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016).

Iluminação:

- As luzes internas da câmara de refrigeração deverão ser apagadas quando estas não estiverem a ser utilizadas. Uma outra opção consiste em utilizar controladores eletrónicos de iluminação. A substituição da iluminação de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas, ou leds, permitem economias de energia elétrica na iluminação de 70 a 80%. (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016).

Produtos:

- A colocação de produtos dentro das câmaras muito próxima das entradas de ar frio nos evaporadores deve ser evitada a fim de permitir uma boa entrada desse ar. É de todo importante não obstruir a circulação do ar na saída dos evaporadores. Caso isso ocorra, além de não garantir a uniformidade da temperatura no interior da câmara, provocará maior acumulação de gelo no evaporador. É importante saber que esse gelo excessivo impede o sistema de refrigeração de funcionar com 100% de eficiência.
- Os sistemas de refrigeração são dimensionados para trabalharem à carga nominal, pelo que a utilização de câmaras com carga parcial promove o desperdício de energia.
- Arrefecer os produtos antes de colocá-los na câmara caso seja possível (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016).
- Armazenar produtos que requeiram as mesmas necessidades de frio (Marcelino, 2005).
- Evitar colocar produtos junto das paredes da câmara e manter um espaçamento entre eles (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016).

Evaporadores e condensadores:

- Evitar condutas do fluido frigorígeno com comprimentos longos e com muitas curvaturas e selecionar corretamente o diâmetro das condutas de aspiração (diâmetro maior). Pode-se atingir poupanças de energia entre 1,5 a 2,5%.

- Substituir os sistemas de refrigeração, com mais de 10 anos, principalmente compressores antigos por outros novos com motores de alta eficiência. Poderão ser atingidas poupanças de energia, entre 30 a 40%.
- Instalar os condensadores em locais arejados, à sombra, se possível virados a norte e com uma boa manutenção (limpeza).
- Utilizar variadores de velocidade nos motores dos compressores e ventiladores (VFD- *Variable Frequency Drives*), pois permitem economias de energia entre 30 a 70%.

Fluido refrigerante:

- Avaliar qual o fluido refrigerante que melhor se adequa às características de funcionamento do sistema, poderá induzir em poupança de energia a rondar 10% (Nunes *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2016).
- Reparar fugas de fluido refrigerante: ir analisando os pontos mais propícios a esta ocorrência: juntas de dilatação, outras juntas mecânicas, pontos de junção de instrumentos de medição, válvulas e pontos com vibrações, poupança de 11 - 15% (Marcelino, 2005).

Descongelamento:

- Avaliar qual o melhor método de descongelamento, por exemplo a descarga de gás quente do compressor apresenta poupanças relativamente ao descongelamento elétrico, configurando-se numa poupança de 4,5 - 7% (Marcelino, 2005).
- Programar os ventiladores para apenas voltarem a operar quando a temperatura das serpentinas, após descongelação atingem valores convenientes à operação (Marcelino, 2005).

6. Conclusões

6.1. Conclusões gerais

Esta dissertação apresenta uma versão da ferramenta computacional denominada FORECAST (*Ferramenta cOmputacional de pREvisão das CArgas Térmicas em câmaras de frio*) dirigida à análise das cargas térmicas e elétricas das câmaras de frio. Esta ferramenta possibilita, através da introdução das características das câmaras de frio e das condições da envolvente, uma análise das cargas térmicas e elétricas do sistema. A análise pode ser feita até seis câmaras de frio, sendo no final os resultados exibidos graficamente de maneira a facilitar a interpretação destes. Esta ferramenta possui uma opção que permite o uso de um ficheiro climático, uma vez que as cargas térmicas associadas à envolvente, à infiltração de ar e ao sistema de descongelamento são influenciadas por fatores que variam ao longo do ano, e assim permite realizar uma análise dinâmica da variação das cargas ao longo do ano. A fim de demonstrar a sua aplicabilidade, casos de estudos de empresas são apresentados. A partir da análise gráfica dos resultados referentes às cargas térmicas e elétricas foi possível tirar algumas conclusões sobre os fatores que podem influenciar o aumento ou a diminuição destas. Assim sendo, devido à discrepância nos valores de algumas cargas, é possível concluir quais as condicionantes que detêm maior influência nas cargas estudadas. Dessas condicionantes destacam-se, como as mais significativas, as temperaturas interiores e exteriores, uma vez que influenciam o cálculo das cargas térmicas e elétricas das envolventes, da infiltração de ar, do processo de descongelamento e do compressor. A humidade exterior também tem alguma influência no cálculo das cargas relativas à infiltração de ar e no processo de descongelamento. Em relação à influência de outras componentes no cálculo das cargas, não existe nenhuma com grande relevo, porque apenas vão influenciar o cálculo de uma carga específica, ao contrário do que acontece com a temperatura e humidade do ar ambiente.

Esta ferramenta computacional, permitiu fazer uma avaliação do desempenho energético de empresas, de modo a que o utilizador tenha a capacidade de concluir quais os possíveis pontos fracos ou fortes das câmaras de frio. Os diferentes gráficos apresentados sobre as cargas térmicas e elétricas são bastante conclusivos, uma vez que proporcionam tanto uma análise anual das cargas térmicas que podem ser influenciadas pelas condições que variam ao longo do ano (temperatura, humidade e velocidade do ar ambiente para além da radiação solar), bem como uma análise percentual de todas as cargas do sistema, tanto térmicas

como elétricas. No entanto, é de mencionar que o programa desenvolvido consiste apenas numa ferramenta de auxílio a ser utilizada na análise das cargas térmicas e elétricas do sistema, sendo por isso necessário que o utilizador tenha sensibilidade para identificar possíveis problemas de origem técnica nas instalações da empresa.

Todavia, a análise não elimina a necessidade de um estudo mais detalhado para determinar as condições particulares que podem ser melhoradas, pois tanto as condições de trabalho como a devida manutenção dos equipamentos, desde os compressores, às canalizações do refrigerante e o seu devido isolamento, até à qualidade e conservação das câmaras de refrigeração, são alguns fatores que são precisos ter em conta pois não são contabilizados nas simulações.

O estado atual da ferramenta computacional permite que o utilizador insira os dados sobre as superfícies das câmaras de frio e dos diferentes fatores que proporcionam tanto cargas térmicas como elétricas. Com estas previsões de desempenho, o utilizador pode decidir como melhorar o desempenho energético da sua empresa. A aplicação prática desta ferramenta demonstra a sua utilidade em ajudar a tomada de decisão na implementação de medidas de eficiência energética.

6.2. Sugestões de trabalhos futuros

À semelhança da grande maioria dos estudos, também no presente caso é possível implementar melhorias no trabalho desenvolvido. O programa desenvolvido mostrou-se capaz e funcional, contudo a temática onde se insere está em constante desenvolvimento e avanço tecnológico, sendo por isso importante promover uma melhoria contínua do mesmo. Sugere-se, portanto, as seguintes melhorias:

- Estender o dimensionamento da câmara aos dispositivos do sistema de refrigeração: compressor, condensador, evaporador.
- Incluir uma ferramenta de comparação com os dados do setor agroindustrial de modo a efetuar benchmarking.
- Estender a ferramenta a refrigerantes alternativos e novos refrigerantes em função da legislação de proibição de produção de gases refrigerantes com efeito de estufa (UE N.º. 517/2014).
- Aumentar a base de dados de elementos construtivos e suas características térmicas.

- Aprimorar o design gráfico da ferramenta no sentido de a tornar mais expedita e de maior facilidade de utilização.

Referências Bibliográficas

Ademe, 2000. *Diagnóstico énergétique des installations frigorifiques industrielles*. Ademe-Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l' Energie, Paris.

Altwies, J.E. & Reindl, D.T. Passive thermal energy storage in refrigerated warehouses. *International Journal of Refrigeration*, 24(2001), pp.149-157.

Andrade, L.P., Nunes, J., Silva, P.D., Gaspar, P.D., Domingues, L.C., Nobre, T., Gaspar, A., Feliciano, M., Araújo, A., Brito, P., Félix, P. (2014). Manual de Boas Práticas - Inovenergy. InovEnergy.

ASHRAE. (2001). ASHRAE fundamentals. Chapter 2—Heat transfer.

ASHRAE. (2006a). ASHRAE refrigeration chapter 13-13. Refrigeration load.

ASHRAE. (2006b). ASHRAE refrigeration. Chapter 9—Thermal properties of food.

Baptista, P. (2006), “Higiene e segurança alimentar no transporte de produtos alimentares”, Forvisão - Consultoria em Formação Integrada, Guimarães, Portugal.

Callan, M., C. M. Linton, and D. V. Evans. "Trapped modes in two-dimensional waveguides." *Journal of Fluid Mechanics* 229 (1991): 51-64.

CCE (2006). *Livro Verde - Estratégias para uma energia sustentável, competitiva e segura*. Bruxelas.

Chagas, J.A.C. (2006), "Projeto e construção de câmaras frigoríficas". York Refrigeration. Joinville.

CLARO, Daniela Barreiro; SOBRAL, João Bosco Mangueira. “Programação em JAVA”. Florianópolis: Ed. Copyleft Pearson Education, 2008.

Cleland, D. J. (2011). The effect of water vapour on food refrigeration Systems. *Institute of Refrigeration*, 12(5), 1-12.

Collin, Daniel, “Applications Frigorifiques”, Tomo 1 e 2, Edition PYC, Paris, 1975.

EU (2010). Developing and integrating novel technologies to improve safety, transparency and quality insurance of the chilled/frozen food supply chain (CHILL-ON). Project ID: 16333, Funded under: FP6-FOOD. European Union (EU). http://cordis.europa.eu/project/rcn/79819_en.html

Evans, J. A., Hammond, E. C., Gigiel, A. J., Reinholdt, L., Fikiin, K., & Zilio, C. (2013). Improving the energy performance of cold stores. 2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain, Apr 2013, Paris, France. 2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain. Proceedings: Paris, France, April 2-4, 2013., 8 p., 2013.

Filho, L.C.N., 2008. Refrigeração e Alimentos. Faculdade de Engenharia dos Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campina, Brasil.

Finney, J. (1970). Time and again. New York, NY: Simon and Schuster.

Foster, A., Zilio, C., Corradi, M., Reinholdt, L., Evans, J., "Freely available cold store energy models", 2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain, Apr 2013, Paris, France. 2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain. Proceedings: Paris, France, April 2-4, 2013., 8 p., 2013.

Foster, A.M., Reinholdt, L.O., Brown, T., Hammond, E.C., Evans, J.A. (2016). Reducing energy consumption in cold stores using a freely available mathematical model. *Sustainable Cities and Society*, 21, 26-34.

Gaspar, P.D., & Silva, P.D. (2016). Computational modelling and simulation to assist the improvement of thermal performance and energy efficiency in industrial engineering systems: application to cold stores, Ch. 1, in F. Miranda, C. Abreu (Eds.), Handbook of Research on Computational Simulation and Modeling in Engineering, IGI Global. (ISSN: 2327-3453)

Gaspar, P.D., Domingues, C., Gonçalves, L.C.C., Andrade, L.P., (2009), "Avaliação da qualidade e segurança alimentar pela previsão do crescimento microbiano em diferentes condições de conservação", CYTEF-2009. V Congresso Ibérico y III Congresso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío.

Gautherin, W., Fournaison, L. e Guilpart, J., 2007. *Évaluation des gisements d'économies d'énergie-Filière des produits laitiers et fromagers*. Revue Générale du Froid & du Conditionnement d'air 1077, 31-40.

Gogou, E., Katsaros, G., Derens, E., Li, L., Alvarez, G. *et al.* (2013). Development and application of the european cold chain database as a tool for cold chain management. 2nd

IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain, Apr 2013, Paris, France.
2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain. Proceedings: Paris, France, April 2-4, 2013., 8 p., 2013.

Gosney, W. B., & Olama, H. A. L. (1975). Heat and enthalpy gains through cold room doorways. Proceedings Institute of Refrigeration, 72, 31-41.

Holman, J.P., "Transferência de Calor", Editora McGraw-Hill, 1983.

InovEnergy (2012). Caracterização do Sector Agroalimentar por Fileira. InovEnergy, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.

James, S.J. & James, C. *Improving energy efficiency within the food cold-chain*. Food Research International, 43(2010), pp. 1944-1956.

Langley, C., 2009. Refrigeración. Principios, Prácticas y Funcionamiento. Paraninfo, España.

Lekov, A., Thompson, L., McKane, A., Rockoff, A., & Piette, M. (2009). *Opportunities for energy and automated demand response in industrial refrigerated warehouses in California*. California: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Marcelino, N.S. (2005). Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial.

Martín, P.A., 2005. Tecnología del Frío y Frigoconservación de Alimentos. AMV Ediciones, Madrid.

McAdams, W. H. (1954). Heat transmission (3rd ed.). New York, NY: McGraw Hill.

Miles, C. A., Van Beek, G., & Veerkamp, C. H. (1983). Calculation of thermophysical properties of foods. In R. Jowitt, R. Jowitt, et al. (Eds.), Physical Properties of Foods (pp. 103-122). London: Elsevier Applied Science Publishers.

Neves Filho, L.C. (2000). "*Alimentos e refrigeração*". Campinas. UNICAMP/FEA.

Neves, D., Gaspar, P.D., Silva, P.D., Andrade, L.P., & Nunes, J. (2013). Cool-OP: Cooling Optimization Program - Ferramenta computacional para avaliação da eficiência energética de empresas de frio industrial no sector alimentar, International Conference on Engineering - Engineering for Economic Development (ICEUBI2013), University of Beira Interior, Covilhã, Portugal, November 27-29, 2013. (ISBN: 978-989-654-20-0)

Neves, D., Gaspar, P.D., Silva, P.D., Andrade, L.P., & Nunes, J. (2014a). Computational tool for the energy efficiency assessment of cheese industries - Case study of inner region of Portugal, V Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío (CYTEF 2014), Tarragona, Spain, June 18 - 20 2014.

Neves, D., Gaspar, P.D., Silva, P.D., Nunes, J., & Andrade, L.P. (2014b). Computational tool for the energy efficiency assessment of horticultural industries - Case study of inner region of Portugal, ICCSA 2014, B. Murgante et al. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science 8584 (LNCS), Part VI, Springer International Publishing Switzerland, pp. 87-101 (ISSN: 0302-9743).

Nevin, A. (1990). The changing of teacher education special education. *Teacher Education and Special Education: The Journal of the Teacher Education Division of the Council for Exceptional Children*, 13(3-4), 147-148.

Nunes, J., Neves, D., Gaspar, P.D., Silva, P.D., & Andrade, L.P. (2014c). Predictive tool of energy performance of cold storage in agrifood industries: The portuguese case study. *Energy Conversion and Management*, 88, 758-767.

Nunes, J., Silva, P.D., Andrade, L.P., & Gaspar, P.D. (2014b). Potential of energy savings in Portuguese meat industry", 8th International Conference on Energy and Development, Environment and Biomedicine (EDEB'14), Lisbon, Portugal, October 30 - November 1, 2014, pp. 51-60.

Nunes, J., Silva, P.D., Andrade, L.P., & Gaspar, P.D. (2015a). Opportunities for the energy efficiency improvement in the diary food sector - Case study of portuguese cheese industries. 24th IIR International Congress of Refrigeration (ICR2015), International Institute of Refrigeration (IIR), Yokohama, Japan, August 16-22, 2015.

Nunes, J., Silva, P.D., Andrade, L.P., & Gaspar, P.D. (2016). Key points on the energy sustainable development of sausages industry - the Portuguese case study. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 57, 393-411.

Nunes, J., Silva, P.D., Andrade, L.P., Domingues, C.L., & Gaspar, P.D. (2015b). Energy assessment of the Portuguese meat industry. *Energy Efficiency*, 1-16.

Nunes, J., Silva, P.D., Andrade, L.P., Gaspar, P.D., & Domingues, C.L. (2014a). Energetic evaluation of refrigeration systems of horticultural industries in Portugal", 3rd IIR International Conference on Sustainability and Cold Chain (ICCC 2014), London, United Kingdom, June 23-25, 2014. (ISBN: 978-2-36215-003-6)

Pachai, A.C., *"From Cradle to table - cooling and freezing of food"*. ICCC 2013, Paris, France, 2013.

Silva, P.D., Gaspar, P.D., Andrade, L.P., Nunes, J., & Domingues, C. (2016). Best practices in refrigeration applications to promote energy efficiency - the Portuguese case study, Ch. 3, in D. Cunningham (Ed.), *Food Industry: Assessment, Trends and Current Issues*, Series Food and Beverage Consumption and Health, Nova Publishers, USA. (ISBN: 978-1-63485-792-5)

Simmons, B. (2015, January 9). The tale of two Flaccos. Retrieved from <http://grantland.com/the-triangle/the-tale-of-two-flaccos/>

Trott, A. R., Welch, T. (2000), *Refrigeration and Air-Conditioning*, Woburn: Butterworth Heinemann, Vol. III.

Wexbridge,J., Nyland,W., *"NetBeans Platform for Beginners"*, Leanpub, 2014.