



DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE BENCHMARKING DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE HIPERMERCADOS

DANIEL ANTÓNIO REIMÃO DE SOUSA

julho de 2020

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE BENCHMARKING DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE HIPERMERCADOS

Daniel António Reimão de Sousa
1140319

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE BENCHMARKING DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE HIPERMERCADOS

Daniel António Reimão de Sousa
1140319

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Engenheira Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira.

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Engenheiro, Rui de Araújo Rego

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Engenheira, Isabel Maria Garcia Sarmiento Pereira

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Engenheiro, Luís Vale

Project Manager, Edifícios Saudáveis Consultores

Arguente

Engenheiro, Adélio Rodrigues Gaspar

Professor Auxiliar, Universidade de Coimbra – Departamento de Engenharia Mecânica

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer, ao meu pai António Sousa e à minha mãe Ivone Sousa pela oportunidade que me concederam na realização deste sonho, assim como o incansável apoio que me forneceram durante o meu percurso académico.

Destaco o apoio da minha namorada Nicole Ventura, que nem nos momentos mais difíceis me deixou desistir, estando sempre do meu lado.

Ao Engenheiro Ricardo Sá, pela oportunidade concedida para a realização desta dissertação na empresa e ao meu orientador, Engenheiro Luís Vale, pela competência técnica, simpatia, disponibilidade, paciência e apoio que me concedeu ao longo destes meses de estágio. Foi uma experiência que irei levar para a vida, e será muito importante se, de alguma forma, o meu trabalho possa ter dado algum contributo para esta empresa.

Ao orientador do ISEP, professora Engenheira Isabel Maria Garcia Sarmiento Pereira, pelo incentivo e apoio que me concedeu na realização da dissertação.

Por fim, um agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com o seu incentivo e apoio para que a realização desta dissertação fosse possível.

Palavras-Chave

Benchmarking, eficiência energética, consumo elétrico, lojas de retalho alimentar

RESUMO

As companhias de retalho alimentar têm vindo a aumentar os seus portfólios de lojas de forma relevante, enquanto cresce a necessidade de garantir que as lojas são operadas da forma mais eficiente possível. Com portfólios tão grandes, é imperiosa a utilização de ferramentas que permitam comparar o desempenho energético das lojas.

Este tipo de ferramentas, quando bem desenvolvidas, devem permitir identificar de forma simples mas fiável, as lojas com pior desempenho energético (de forma a que o mesmo seja corrigido), as lojas com bom desempenho energético (de forma a migrar as boas práticas para o restante portfólio) bem como as lojas com sistemas instalados menos eficazes, para as quais devem ser canalizados os esforços de investimento em eficiência energética da companhia. Diversas vezes este tipo de comparação de grandes portfólios é feito recorrendo a indicadores simplistas, como os consumos por área (kWh/m^2). Estes indicadores, têm a vantagem de serem simples, mas escondem diversas imperfeições que podem induzir conclusões erradas quanto ao desempenho, como efeitos climáticos, horário de abertura ao público, sistema de AVAC instalado, entre outros. Assim, surge o conceito de *benchmarking* operacional, como um contributo para uma comparação de diversos edifícios de uma forma mais "justa".

Trata-se de um indicador de desempenho energético que é calculado através da comparação entre o consumo real de uma determinada loja (faturas) e o consumo expectável para essa mesma loja, considerando *inputs* como o seu clima, horário de abertura ao público, dimensões e sistemas instalados. Para tal, é indispensável avaliar quais os sistemas energéticos relevantes, caracterizá-los corretamente e calcular os respetivos consumos expectáveis (*targets*). A generalidade dos consumos energéticos expectáveis foi calculada recorrendo a um *software* de simulação energética detalhada de edifícios.

Assim, este trabalho teve como principal objetivo desenvolver uma ferramenta de *benchmarking* do desempenho dos principais sistemas energéticos existentes num hipermercado, a fim de detetar eventuais situações de ineficiência e permitir a sua correção. Essa ferramenta de cálculo foi posteriormente implementada para cinco casos reais (cinco lojas de retalho alimentar).

Desta forma, foi possível desenvolver o *benchmarking* operacional e retirar conclusões acerca do desempenho global das lojas reais. Foi possível concluir que todas as lojas analisadas apresentavam problemas de eficiência e/ou controlo no sistema de AVAC. Das lojas reais analisadas apenas uma se encontrava dentro do consumo expectável obtendo um *benchmarking* operacional de 0,95. Esta ferramenta foi e é útil na identificação das ineficiências operacionais das lojas estudadas o que, de outra forma, não seria possível verificar.

Além disso, esta ferramenta permitiu também uma análise detalhada do desempenho dos principais sistemas energéticos, o que poderá ser extremamente útil, não só para identificar quais serão as “melhores práticas”, mas também para detetar rapidamente quais os componentes que apresentam situações de ineficiência, de forma a conseguir corrigi-las de forma célere e eficaz.

Keywords

Benchmarking, energy efficiency, electric consumption, food retail buildings

ABSTRACT

Food retail companies have been significantly increasing their store portfolios, while the need to ensure that stores are operated in the most efficient way possible is growing. With such large portfolios, it is imperative to use tools that make it possible to compare the energy performance of stores. This type of tools, when well developed, should allow to identify in a simple but reliable way, the stores with the worst energy performance (so that it is corrected), the stores with good energy performance (in order to migrate good practices to the rest of the portfolio), as well as stores with less efficient installed systems, to which the company's energy efficiency investment efforts should be channeled. This type of comparison of large portfolios is often made using simplistic indicators, such as consumption by area (kWh/m²). These indicators have the advantage of being simple, but they hide several imperfections that can induce wrong conclusions regarding performance, such as climatic effects, opening hours to the public, HVAC system installed, among others. In this way, the concept of operational benchmarking emerges, as a contribution to a comparison of several buildings in a “fairer” way.

This's an energy performance indicator that's calculated by comparing the actual consumption of a given store (invoices) and the expected consumption for that store, considering inputs such as its climate, opening hours to the public, dimensions and installed systems. To this end, it is essential to assess which energy systems are relevant, characterize them correctly and calculate the respective expected consumption (targets). Note that most expected consumption is calculated using detailed building energy simulation software.

So, this work had as main objective to develop a benchmarking tool for the performance of the main energy systems existing in a hypermarket, in order to detect eventual inefficiency situations and allow their correction. This calculation tool was subsequently implemented for five real cases (five food retail stores).

In this way, it was possible to develop a operational benchmarking and remove the overall performance of real stores. It was possible to conclude that all the analyzed stores had problems of efficiency and/or control in the HVAC system. Of the actual stores analyzed only one was in the expected consumption, obtaining an operational benchmarking of 0,95. This tool was and is useful in identifying operational inefficiencies in the stores studied or that, otherwise, it is not seriously possible to verify.

In addition, this tool also allowed a detailed analysis of the performance of the main energy systems, which can be extremely useful, not only to identify which are the “best practices”, but also to quickly detect which components present inefficient situations, in order to be able to correct them quickly and effectively.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ESC	Edifícios Saudáveis Consultores
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
LED	<i>Light emitting diode</i>
RTU	<i>Rooftop unit</i>
EER	<i>Energy efficiency ratio</i>
SCC	Sistema Caldeira-Chiller
IES-VE	<i>Integrated Environmental Solution – Virtual Environment</i>
RECS	Regulamento Edifícios Comércio e Serviços
IRC	Índice de reprodução de cor
COMBI	Combinados
AQS	Água quente sanitária
EDP	Energias de Portugal
SCE	Sistema certificação energética
COP	Coeficiente de desempenho

Lista de Unidades

kW	Quilowatt
°C	Grau Celsius
h	hora
K	Kelvin
m ²	Metro quadrado
m	Metro
lm	Lúmen
cd	Candela
lux	Lux's

Lista de Símbolos

CO ₂	Dióxido de carbono
EER	<i>Energy efficiency ratio</i>
CAP _{arr}	Capacidade de arrefecimento
P _e	Potência elétrica
I	Intensidade luminosa
Φ	Fluxo luminoso
E	Iluminância
L	Luminância

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - LOGOTIPO DA EMPRESA	30
FIGURA 1.2 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO	31
FIGURA 2.1 – CONSUMO DE ENERGIA POR SETORES [1]	35
FIGURA 2.2 - EXEMPLO DE UM EDIFÍCIO DE RETALHO ALIMENTAR	37
FIGURA 2.3 - <i>LAYOUT</i> LOJA REAL	38
FIGURA 2.4 - FAMÍLIA IES-VE	41
FIGURA 2.5 - LIMIARES MÁXIMOS À CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES NO AR INTERIOR	44
FIGURA 2.6 - CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO NECESSÁRIO À DILUIÇÃO DE POLUENTES DEVIDO À OCUPAÇÃO	45
FIGURA 2.7 - CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO NECESSÁRIO À DILUIÇÃO DE POLUENTES DEVIDO AO EDIFÍCIO	46
FIGURA 2.8 - CLASSES DE QUALIDADE DO AR INTERIOR	46
FIGURA 2.9 - VALORES MÍNIMOS DE AR NOVO DE ACORDO COM A ASHRAE 62.1	47
FIGURA 2.10 - VALORES DE EFICÁCIA PARA DIFERENTES MÉTODOS DE VENTILAÇÃO	48
FIGURA 2.11 - EXEMPLO DE UMA UNIDADE RTU	51
FIGURA 2.12 - VISTA EM CORTE DE UMA UNIDADE RTU	52
FIGURA 2.13 - FORNO LAR FIXO	60
FIGURA 2.14 - FORNO ROTATIVO	60
FIGURA 2.15 - ESQUEMA DO FUNCIONAMENTO DE UM CICLO FRIGORÍFICO [29]	61
FIGURA 2.16 - EXEMPLO DE UMA APLICAÇÃO DE UM SENSOR DE LUZ	66
FIGURA 3.1 - PLANTA DA LOJA PADRÃO	73
FIGURA 3.2 - <i>LAYOUT</i> 3D DA LOJA PADRÃO	74
FIGURA 3.3 - SISTEMA DE FRIO REPRESENTADO NO <i>SOFTWARE IES-VE</i>	85
FIGURA 3.4 - UNIDADE RTU BÁSICA REPRESENTADA NO <i>SOFTWARE IES</i>	90
FIGURA 3.5- CONTROLADOR DA BATERIA DE ARREFECIMENTO	92
FIGURA 3.6 - CONTROLADOR DA BATERIA DE AQUECIMENTO	93
FIGURA 3.7 - UNIDADE RTU APENAS COM <i>FREE COOLING</i> REPRESENTADA NO <i>SOFTWARE IES</i>	94
FIGURA 3.8 - CONTROLADOR DO <i>FREE COOLING</i>	95
FIGURA 3.9 - UNIDADE RTU APENAS COM RECUPERAÇÃO DE CALOR EXIBIDA NO <i>SOFTWARE IES</i>	96
FIGURA 3.10 - CONTROLADOR DO RECUPERADOR DE CALOR	97
FIGURA 3.11 - UNIDADE DE RTU COM <i>AUTOMATIC ON/OFF</i> REPRESENTADA NO <i>SOFTWARE IES</i>	98
FIGURA 3.12 - CONTROLADOR DE CO ₂	99
FIGURA 3.13 - CONTROLADOR DE AQUECIMENTO	100
FIGURA 3.14 - CONTROLADOR DE ARREFECIMENTO	100
FIGURA 3.15 - UNIDADE RTU APENAS COM VAV REPRESENTADA NO <i>SOFTWARE IES</i>	101
FIGURA 3.16 - CONTROLADOR VAV DE AQUECIMENTO	102
FIGURA 3.17 - CONTROLADOR VAV DE ARREFECIMENTO	103
FIGURA 3.18 - UNIDADE DE RTU COM TODAS AS FUNCIONALIDADES, EXIBIDA NO <i>SOFTWARE IES</i>	104
FIGURA 3.19 - UNIDADE RTU COM TODAS AS FUNCIONALIDADES EXCETO VAV, REPRESENTADA NO <i>SOFTWARE IES</i>	105

FIGURA 7.1 - ASPETO GERAL DA INTERFACE DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO IES	140
FIGURA 7.2 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR INTERIOR NO DIA MAIS FRIO DO ANO	141
FIGURA 7.3 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR INTERIOR NO DIA MAIS QUENTE DO ANO	141
FIGURA 7.4 - VARIAÇÃO DA HUMIDADE RELATIVA NO DIA MAIS FRIO DO ANO	142
FIGURA 7.5 - VARIAÇÃO DA HUMIDADE RELATIVA NO DIA MAIS QUENTE DO ANO	142
FIGURA 7.6 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO2 NO DIA MAIS FRIO DO ANO	143
FIGURA 7.7 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO2 NO DIA MAIS QUENTE DO ANO	143
FIGURA 7.8 - <i>SPECIALIZED BENCHMARKING CONCEPTUAL</i>	145
FIGURA 7.9 - <i>SPECIALIZED BENCHMARKING CONCEPTUAL</i>	146
FIGURA 7.10 - EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE	147

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 - MÉDIA DAS MEDIÇÕES AVAC	50
TABELA 2.2 - MÉDIA MEDIÇÕES ILUMINAÇÃO	55
TABELA 2.3 - MÉDIA MEDIÇÕES AQS	59
TABELA 3.1 - ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	75
TABELA 3.2 - VALORES DA DENSIDADE DE ILUMINAÇÃO NA ZONA DE VENDAS	76
TABELA 3.3 - TAXA DE ILUMINAÇÃO DA ZONA DE VENDAS	77
TABELA 3.4 - VALORES DA DENSIDADE DE ILUMINAÇÃO PARA O ARMAZÉM	78
TABELA 3.5 - TAXA DE OCUPAÇÃO	80
TABELA 3.6 - PARÂMETROS RELACIONADOS COM AS PORTAS DOS SUPERMERCADOS	86
TABELA 3.7 - VALORES UTILIZADOS NO CÁLCULO DAS CARGAS TÉRMICAS TOTAIS	87
TABELA 3.8 - CÁLCULO DO CAUDAL DE AR NOVO	90
TABELA 3.9 – PARÂMETROS DAS BATERIAS PARA A LOJA PADRÃO	91
TABELA 3.10 - COMPARAÇÃO DAS NECESSIDADES DOS VÁRIOS CENÁRIOS DE UMA UNIDADE RTU	106
TABELA 3.11 - COMPARAÇÃO DOS CONSUMOS DOS COMPRESSORES NOS VÁRIOS CENÁRIOS DE UMA UNIDADE RTU	107
TABELA 3.12 - TARGETS DEFINIDOS PARA A LOJA PADRÃO	109
TABELA 4.1 - DADOS - LOJA 1	113
TABELA 4.2 - DADOS - LOJA 2	115
TABELA 4.3 - DADOS - LOJA 3	117
TABELA 4.4 – DADOS - LOJA 4	119
TABELA 4.5 - DADOS - LOJA 5	121
TABELA 7.1 - COMPARAÇÃO DO COP E EER NOS VÁRIOS CENÁRIOS	139
TABELA 7.2 - FOLHA DE CALCULO USADA PARA OBTENÇÃO DAS IPHS	148

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 2.1 - CONSUMO ENERGÉTICO HIPERMERCADOS.....	39
GRÁFICO 2.2 - COMPARAÇÃO DE CONSUMOS POR TIPOLOGIAS DE SERVIÇOS [6]	40
GRÁFICO 2.3 - DESAGREGAÇÃO DE CONSUMOS.....	43
GRÁFICO 2.4 - INTERVALOS DE VALORES DA ENVOLVENTE	49
GRÁFICO 2.5 - INTERVALOS DA DENSIDADE DE ILUMINAÇÃO	55
GRÁFICO 2.6 - GASTO ENERGÉTICO POR COMPONENTE DO SISTEMA DE FRIO	62
GRÁFICO 3.1 - PERFIL DE ILUMINAÇÃO DA ZONA DE VENDAS.....	78
GRÁFICO 3.2 - PERFIL DE ILUMINAÇÃO DO ARMAZÉM.....	78
GRÁFICO 3.3 - PERFIL DE OCUPAÇÃO	79
GRÁFICO 3.4 - PERFIL DOS EQUIPAMENTOS A GÁS	81
GRÁFICO 3.5 - PERFIL DOS EQUIPAMENTOS DA PADARIA	82
GRÁFICO 3.6 - PERFIL DOS EQUIPAMENTOS DA PEIXARIA.....	83
GRÁFICO 3.7 - PERFIL DE EQUIPAMENTOS DA CHARCUTARIA.....	83
GRÁFICO 3.8 - PERFIL DOS EQUIPAMENTOS DO TALHO	84
GRÁFICO 4.1 – CONSUMO TOTAL ANUAL DAS LOJAS EM ANÁLISE	112
GRÁFICO 4.2 - COMPARAÇÃO DE CONSUMOS - LOJA 1.....	113
GRÁFICO 4.3 - COMPARAÇÃO DE CONSUMOS - LOJA 2.....	115
GRÁFICO 4.4 - COMPARAÇÃO DE CONSUMOS - LOJA 3.....	117
GRÁFICO 4.5 - COMPARAÇÃO DE CONSUMOS - LOJA 4.....	119
GRÁFICO 4.6 - COMPARAÇÃO DE CONSUMOS - LOJA 5.....	121
GRÁFICO 4.7 - BENCHMARKING OPERACIONAL DAS LOJAS REAIS.....	123
GRÁFICO 7.1 - COMPARAÇÃO GLOBAL DAS 5 LOJAS ANALISADAS	144
GRÁFICO 7.2 - CURVA DE DESEMPENHO DA UNIDADE RTU	149

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	Enquadramento do projeto e motivação.....	29
1.2	Apresentação da empresa	30
1.3	Objetivos e Metodologia.....	31
1.4	Estrutura da tese.....	32
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
2.1	Enquadramento teórico	35
2.2	Supermercados e Hipermercados.....	37
2.3	Ferramentas de análise.....	40
2.3.1	<i>Benchmarking</i>	40
2.3.2	<i>Integrated Environmental Solution – Virtual Enviroment (IES-VE)</i>	41
2.3.3	Sistema de Certificação Energética de Edifícios	42
2.4	Desagregação dos consumos	43
2.5	Qualidade do Ar Interior (QAI).....	43
2.5.1	Métodos para determinar a quantidade de ar novo adequados à QAI	44
2.5.1.1	Método prescritivo do RECS	45
2.5.1.2	Método prescritivo da ASHRAE 62.1.....	46
2.6	Caracterização de equipamentos e sistemas nas lojas de retalho alimentar	49
2.6.1	Envolvente de um edifício de retalho alimentar	49
2.6.2	Sistema AVAC e o seu funcionamento numa loja de retalho alimentar	50
2.6.3	Iluminação	54
2.6.3.1	Tipo de lâmpadas.....	57
2.6.3.2	Zonas de iluminação	58
2.6.4	Água quente sanitária	58
2.6.5	Fornos e outros equipamentos	59
2.6.6	Sistema de frio comercial	61
2.6.6.1	Expositores / Móveis.....	62
2.7	Controlo dos principais sistemas	63
2.7.1	Controlo do sistema AVAC aplicado às unidades RTU	63

2.7.2	Controlo dos fornos e outros equipamentos	65
2.7.3	Controlo da iluminação	65
3	DESENVOLVIMENTO	71
3.1	Loja padrão.....	71
3.2	Construção da loja padrão	72
3.2.1	Localização e horário de funcionamento	72
3.2.2	Layout da loja padrão	72
3.2.3	Elementos Construtivos	74
3.2.4	Ganhos internos	76
3.2.4.1	Perfil e densidade de iluminação	76
3.2.4.2	Perfil e densidade de ocupação	79
3.2.4.3	Equipamentos	80
3.2.4.4	Sistema de frio	84
3.2.4.5	IPH (infiltrações por hora).....	85
3.2.5	AVAC.....	88
3.2.5.1	Cenário com unidade RTU básica	89
3.2.5.2	Cenário com uma unidade RTU apenas com <i>free cooling</i>	94
3.2.5.3	Cenário com uma unidade RTU apenas com recuperação de calor	96
3.2.5.4	Cenário com uma unidade RTU apenas com <i>automatic On/Off</i>	97
3.2.5.5	Cenário com uma unidade RTU com variação de caudal (VAV)	100
3.2.5.6	Cenário com uma unidade RTU com todas as funcionalidades	104
3.2.5.7	Cenário com uma unidade RTU com todas as funcionalidades exceto VAV	105
3.2.6	Comparação de cenários e escolha de target	105
3.3	<i>Targets</i> definidos para a loja padrão	109
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	112
4.1	Distribuição das lojas reais analisadas	112
4.2	Loja 1	113
4.3	Loja 2	115
4.4	Loja 3	117
4.5	Loja 4	119
4.6	Loja 5	121
4.7	<i>Benchmarking</i> Operacional.....	122

5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	127
5.1	CONCLUSÕES.....	127
5.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	129
6	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	133
7	ANEXOS.....	139
7.1	ANEXO 1 - Comparação de COP e EER dos vários cenários	139
7.2	ANEXO 2 - Programa de simulação IES.....	140
7.3	ANEXO 3 – Parâmetros interiores do <i>target</i> na loja padrão.....	141
7.4	ANEXO 4 – Total vs Target.....	144
7.5	ANEXO 5 - <i>Specialized Benchmarking Conceptual</i>	145
7.6	ANEXO 6 – Obtenção das IPHs	148
7.7	ANEXO 7 – Curva de desempenho da unidade RTU	149

INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento do projeto e motivação
- 1.2 Apresentação da empresa
- 1.3 Objetivos e Metodologia
- 1.4 Estrutura da tese

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

No atual panorama mundial, tem-se vindo a assistir a um aumento da procura da energia, por esta ser essencial para o desenvolvimento económico e social. No entanto, os recursos energéticos, nomeadamente os combustíveis fósseis, são finitos e as suas reservas estão geograficamente mal distribuídas, criando laços de dependência e problemas económicos, políticos e sociais.

O setor dos edifícios é um dos setores que mais energia consome devido à necessidade de aquecimento, arrefecimento e funcionamento de todos os equipamentos. Tendo esta noção, torna-se imperativo reduzir estes consumos e fomentar o conceito de desenvolvimento sustentável, que é “capacidade de satisfazer as necessidades das gerações atuais sem comprometer as possibilidades das gerações futuras” [1]. Para isso, uma das principais medidas que pode ser implementada é aumentar a eficiência energética dos edifícios.

No caso dos supermercados, estes são edifícios com zonas de grandes dimensões, que funcionam durante muitas horas, com grandes taxas de ocupação e com elevados padrões de exigência a nível de conforto, o que torna estes edifícios casos especiais de estudo. Por essa razão, é essencial que estes edifícios possuam uma adequada gestão de energia. Neste sentido, o presente trabalho é um pequeno contributo para enriquecer as ferramentas de gestão de energia que já existem, desenvolvendo uma ferramenta que permitisse o cálculo expedito e simplificado dos consumos energéticos dos edifícios de retalho alimentar, que nos permita hierarquizá-los em função do seu desempenho energético.

1.2 Apresentação da empresa

O presente trabalho foi realizado em ambiente empresarial, na empresa “Edifícios Saudáveis Consultores”.



Figura 1.1 - Logotipo da empresa

A Edifícios Saudáveis Consultores nasceu no ano de 1996 e é uma empresa vocacionada para as temáticas da sustentabilidade ambiental em edifícios (eficiência energética e hídrica, materiais ecológicos, qualidade do ambiente interior).

Tem uma longa experiência com os sistemas de avaliação de mérito ambiental com maior reconhecimento internacional (LEED e BREEAM), tendo sido a primeira empresa em Portugal a fazer uma Certificação LEED e uma Certificação BREEAM, e a primeira a fazer uma Certificação LEED GOLD na Península Ibérica.

A Edifícios Saudáveis Consultores tem também longa tradição e experiência no estabelecimento de parcerias para a redução de custos energéticos em edifícios, tendo já potenciado economias de energia num conjunto de edifícios que inclui, entre outros, centros comerciais, supermercados e hipermercados, hotéis, casinos, *health clubs*, escritórios e edifícios industriais.

A experiência e *know how* da Edifícios Saudáveis Consultores (ESC) é diversificada e reconhecida internacionalmente, tendo já trabalhado com promotores e gestores de edifícios, empresas multinacionais, agências de energia e empresas industriais em vários países como Portugal, Alemanha, Espanha, Itália, Grécia e Brasil.

1.3 Objetivos e Metodologia

Esta dissertação contribuiu para o desenvolvimento de um sistema de referênciação (*benchmarking*), que será utilizado pela empresa ESC para gerir e acompanhar os consumos energéticos dos seus projetos relacionados com supermercados.

Para a loja padrão foi necessário efetuar um levantamento dos sistemas energéticos relevantes a avaliar, estimar os seus consumos caso fossem operados em condições ótimas e, posteriormente, fazer a comparação destes com os consumos das lojas reais definidas para análise, com o objetivo de detetar aquelas em que poderão não estar a ser bem operadas.

Com este trabalho pretende-se essencialmente:

- Calcular *targets* de desempenho representativos da realidade;
- Apresentar os *targets* de uma forma atrativa e de fácil compreensão e análise;
- Dar uma informação global do desempenho energético do edifício de retalho alimentar;
- Demonstrar a utilidade do *benchmarking* como forma de rapidamente detetar situações de ineficiência, de modo a corrigi-las num curto período;

Para que fosse possível chegar ao objetivo proposto, a metodologia passou por ser um processo rigoroso de obtenção dos *targets* necessários para a loja padrão, para que depois pudéssemos compará-lo com os consumos das lojas reais. Para simplificar este processo metodológico estabeleceu-se um fluxograma representativo das etapas necessárias para chegar ao objetivo proposto.

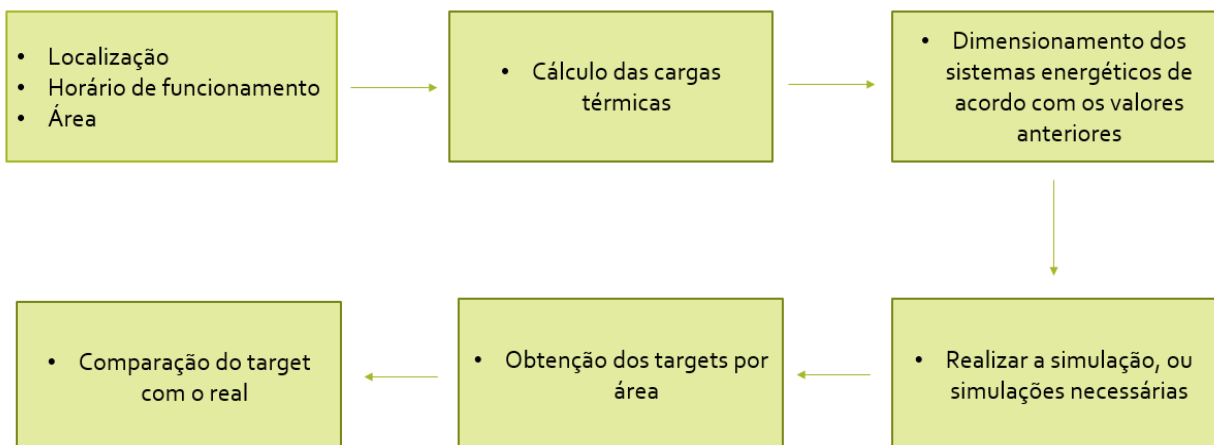


Figura 1.2 - Fluxograma metodológico

1.4 Estrutura da tese

Esta dissertação está organizada em 5 capítulos que se diferenciam da seguinte forma:

O capítulo inicial identifica o contexto do trabalho, caracterizando os principais objetivos desta dissertação e a metodologia utilizada.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica referente à eficiência energética e gestão de energia. É feita uma breve introdução ao tema dos supermercados e aos vários sistemas que os constituem. Para isso, começa-se por definir quais são as diferenças entre um hipermercado e um supermercado, caracterizando depois este tipo de edifícios relativamente ao seu zonamento e aos seus sistemas energéticos mais relevantes. São também apresentadas as ferramentas utilizadas no decorrer do trabalho (programa de simulação IES e *benchmarking*).

No capítulo 3 é implementada a metodologia exposta no capítulo inicial a um caso de estudo concreto, isto é, à loja padrão. Assim, parte-se da caracterização do edifício e dos seus principais sistemas energéticos para serem determinados os consumos teóricos expectáveis que irão ser depois comparados com os consumos reais a fim de se obter o *target* operacional. Desta forma, é possível ter um conhecimento preciso acerca do desempenho energético deste edifício.

No capítulo 4 são efetuadas comparações entre os consumos expectáveis da loja padrão e cinco lojas reais, de forma a poder aferir a praticidade e a utilidade da ferramenta. Neste capítulo também são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões do estudo e propostas para trabalhos futuros.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Enquadramento teórico
- 2.2 Supermercados e Hipermercados
- 2.3 Ferramentas de análise
- 2.4 Desagregação dos consumos
- 2.5 Qualidade do ar interior (QAI)
- 2.6 Caracterização dos equipamentos e sistemas nas lojas de retalho alimentar
- 2.7 Controlo dos principais sistemas

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Enquadramento teórico

O desenvolvimento económico e social que se verifica a nível mundial tem levado a um gradual aumento da procura da energia. No entanto, os recursos energéticos, nomeadamente os combustíveis fósseis, são finitos e estão concentrados numa pequena parte da área geográfica do planeta, o que vem criando graves tensões políticas, económicas e sociais, sendo cada vez mais difícil garantir o equilíbrio de interesses entre países produtores e países consumidores.

Sendo Portugal um país sem acesso a recursos energéticos próprios de origem fóssil, tem mantido uma grande dependência face ao exterior para conseguir garantir o cumprimento das suas necessidades de consumo de energia. Em 2015, o índice de dependência energética do nosso país situava-se nos 78,3%, tendo descido no ano seguinte para 74,8%, valor mais baixo da última década, segundo dados da Direção-Geral de Energia e Geologia [2].

Esta tendência de redução das necessidades energéticas do país tem vindo a estagnar nos últimos dois anos, fixando-se na casa dos 78%, o que vem deixando os vários setores de atividade económica sob pressão constante em resultado da flutuação dos preços da energia. Esta dissertação irá focar-se numa tipologia de edifício que pertence ao setor dos serviços, onde se inserem os edifícios de serviços. Na Figura 2.1 podemos observar o consumo final de energia por setores de atividade. [2]

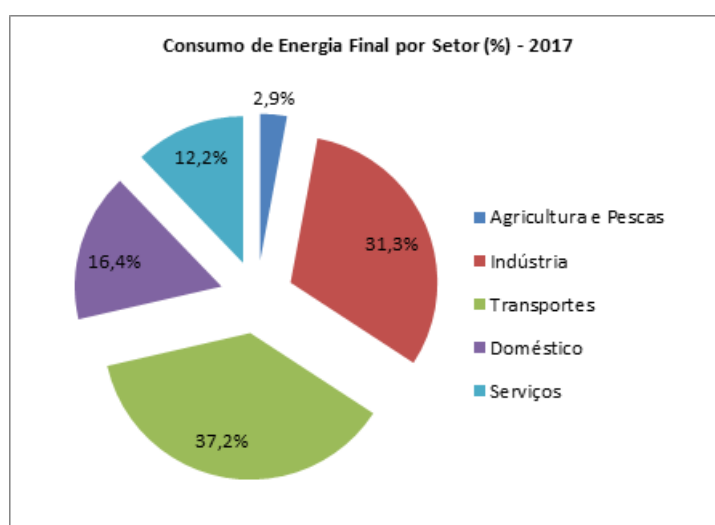


Figura 2.1 – Consumo de energia por setores [1]

Fatores como o conforto e segurança dos utilizadores, a qualidade dos serviços a prestar, as acessibilidades, o aquecimento, o arrefecimento e o funcionamento de todos os equipamentos, pressionam fortemente os níveis de consumo destes edifícios e encarecem a fatura energética que lhes está associada.

Como em todas as áreas em que existe uma constante evolução tecnológica, também na da eficiência energética das superfícies comerciais será necessário uma gradual adaptação e alteração dos equipamentos, dos consumíveis e dos procedimentos.

Se, por um lado, a forte concorrência que existe neste setor, leva a que as empresas promotoras tentem fornecer cada vez maior e melhor quantidade e a mais gente, em cada vez melhores condições de conforto, por outro lado, também vão sendo pressionadas pelo compromisso social que assumem na gestão pública da sua imagem, o que as leva a adotar e promover medidas e procedimentos que reduzam o impacto do ser humano no planeta, preservando a qualidade do ambiente em vivemos.

Nesse sentido, a introdução das classificações energéticas, que passou a atribuir aos edifícios um nível consumo situado de A+ a F, veio pressionar ainda mais para que os mesmos passassem a ser pensados e construídos de forma a alcançarem mais eficientes classificações energéticas, reduzindo o impacto do setor na pegada ecológica. [3]

A partir destas noções, por vezes contraditórias, torna-se imperativo reduzir estes consumos e fomentar o conceito de desenvolvimento sustentável, que consiste na “capacidade de satisfazer as necessidades das gerações atuais sem comprometer a vida e a sustentabilidade das gerações futuras”. [3]

Deste modo, surgiu o desafio para que fosse construída uma ferramenta que permitisse o cálculo expedito e simplificado dos consumos energéticos dos edifícios de retalho alimentar, que nos permita hierarquizá-los em função do seu desempenho energético.

A introdução de indicadores e parâmetros específicos de leituras de consumos irá permitir-nos avaliar se um dado edifício se encontra acima, abaixo ou em conformidade com o valor de consumo padrão e, ainda, identificar quais os utilizadores de energia que podem estar a contribuir, positiva ou negativamente, para o eventual desvio, possibilitando-nos detetar e corrigir situações de ineficiência. [4]

Se alcançarmos o objetivo proposto com a criação deste instrumento de cálculo, estaremos a dar um pequeno contributo para melhorar as ferramentas de gestão de energia que já existem, desenvolvendo uma metodologia de cálculo de consumos energéticos dos edifícios de retalho alimentar que poderá ser muito útil no futuro.

2.2 Supermercados e Hipermercados

Os termos supermercado e hipermercado estão desde sempre relacionados, e só muito raramente, no quotidiano das pessoas, é feita a distinção entre estes dois espaços idênticos, mas que têm algumas diferenças.

Tecnicamente, um supermercado caracteriza-se por ser uma grande superfície comercial de venda a retalho de produtos domésticos, com uma área entre 200 e 2000 m², da qual 50% é reservada à exposição de produtos alimentares. Um hipermercado é caracterizado por ser uma grande superfície comercial de venda a retalho, com parque de estacionamento próprio e com uma área superior a 2000 m², 60% da qual é dedicada à venda de produtos alimentares. [5]



Figura 2.2 - Exemplo de um edifício de retalho alimentar

Uma das diferenças e estratégias a que todos os hipermercados obedecem é a arrumação da loja. Os produtos do dia-a-dia, como o pão, o leite ou a manteiga localizam-se normalmente ao fundo do espaço comercial.

Desta forma, para acederem aos bens de primeira necessidade, os consumidores vão passando por uma infinidade de produtos secundários, como é o caso da roupa, detergentes e produtos de higiene.

A classificação do espaço de retalho alimentar é através da sua área, que se encontra planificado da seguinte maneira [5]:

- Área de venda < 400 m² – minimercado ou pequeno supermercado;
- Área de venda > 400 m² e < 2000 m² – supermercado;
- Área de venda > 2000 m² – hipermercado;

De uma forma geral, o *layout* destas superfícies não varia muito, apresentando sempre como zonas principais a área de vendas, os armazéns, os escritórios e zonas técnicas. De salientar que este *layout* não é uma regra, podendo existir um armazém, ou vários, por exemplo.

Importa referir também que existem duas tipologias que podem afetar o *layout* de um edifício deste género. O facto de ser *standalone* ou *built-in*. As lojas *built in* normalmente encontram-se incluídas num centro comercial, enquanto as *standalone* tratam apenas do uso exclusivo do hipermercado, não estando englobando num complexo maior. Na Figura 2.3 é apresentado um *layout* de uma loja real do tipo *standalone*.

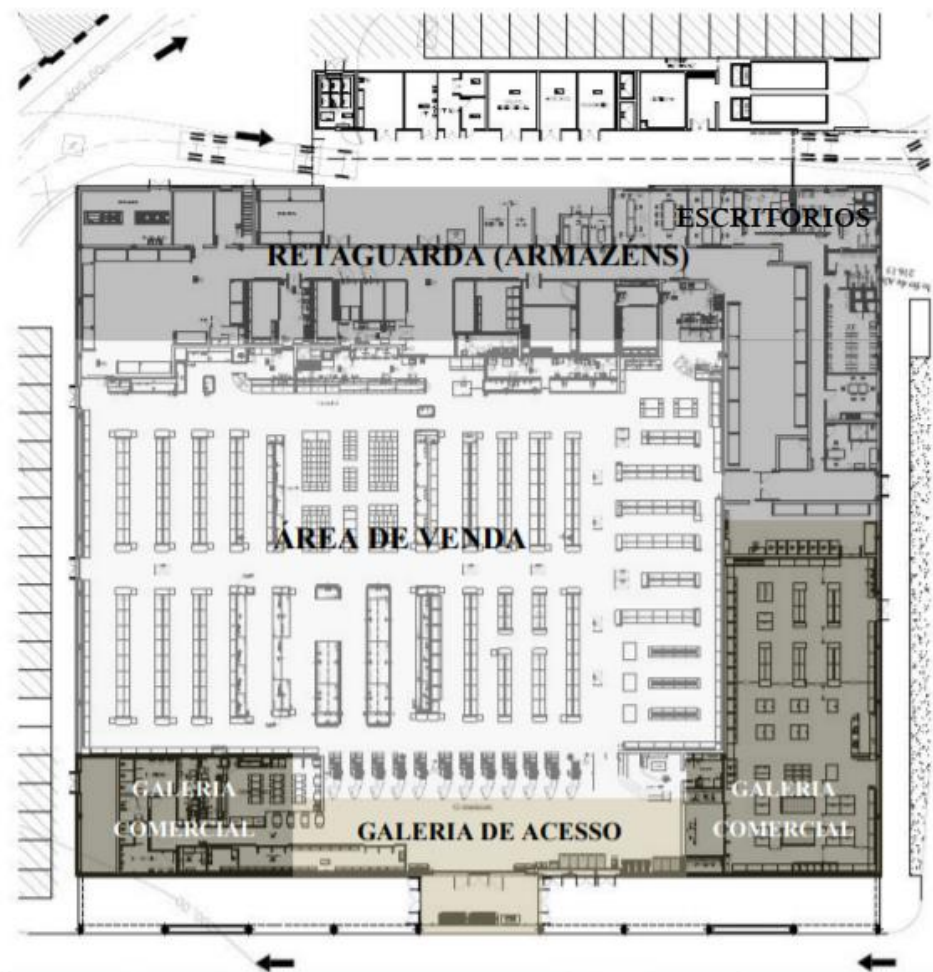


Figura 2.3 - *Layout* loja real

A Figura 2.3 representa os principais espaços de um edifício de retalho alimentar. Geralmente, no meio do espaço encontra-se a área de vendas, sendo que os escritórios e armazéns não têm um local definido para se alojarem. Tanto podem ser colocados na periferia da área de vendas, com acesso direto a partir da mesma, como podem estar localizados num piso superior, dependendo da sua arquitetura.

Os edifícios de retalho alimentar são superfícies que procuram responder às necessidades da população, proporcionando-lhe o acesso rápido e fácil a uma infinidade de produtos e serviços. Se associarmos a necessidade de manter os edifícios em conforto térmico, percebemos que estes locais são responsáveis por um grande consumo de energia.

Neste trabalho, recorrendo à informação recolhida nas auditorias realizadas pela empresa em 29 lojas a operar em Portugal, foi possível construir várias tabelas com dados como o consumo energético, com a intenção de chegar aos valores reais dos mesmos, comparando-os depois entre si de modo a criar uma base de dados com os valores reais. Os valores dos consumos energéticos obtidos, bem como a média das propriedades instaladas em cada uma das lojas auditadas, serão utilizados de forma comparativa nos tópicos apresentados ao longo da revisão bibliográfica.

Foram feitas duas análises:

A primeira, através de diversas fontes [6], [7], mostra o consumo energético de um supermercado por m^2 , apenas na área de vendas, conforme se verifica no Gráfico 2.1:

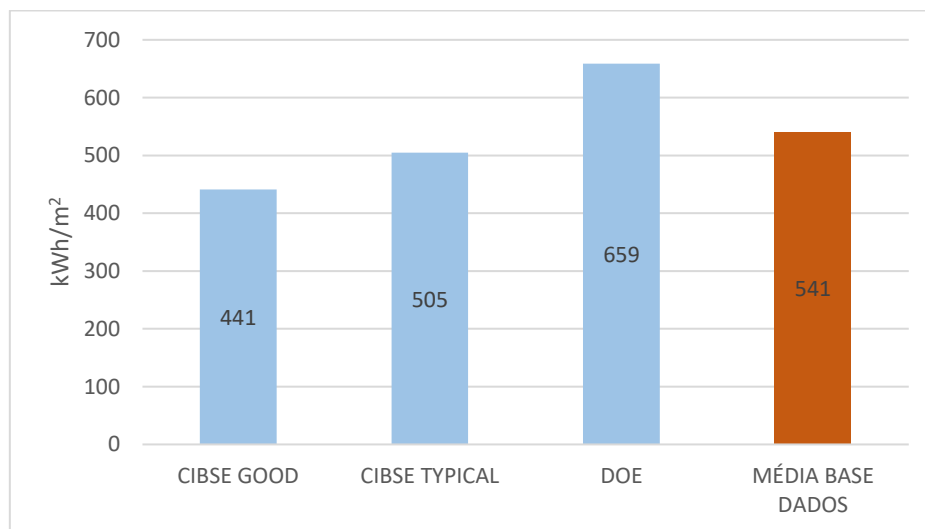


Gráfico 2.1 - Consumo energético hipermercados

A segunda, envolve uma comparação do consumo energético de várias tipologias de serviços, de forma a enquadrar o consumo energético da tipologia em estudo [6]. O consumo médio de um supermercado obteve-se com o recurso a dados auditados e registados em base de dados própria e, os restantes, recorrendo a valores tabelados por parte da CIBSE, possibilitando-nos concluir que um edifício deste tipo, estará sempre na linha da frente no que concerne ao consumo de energia dos edifícios de comércio.

O Gráfico 2.2 é apresentado de seguida:

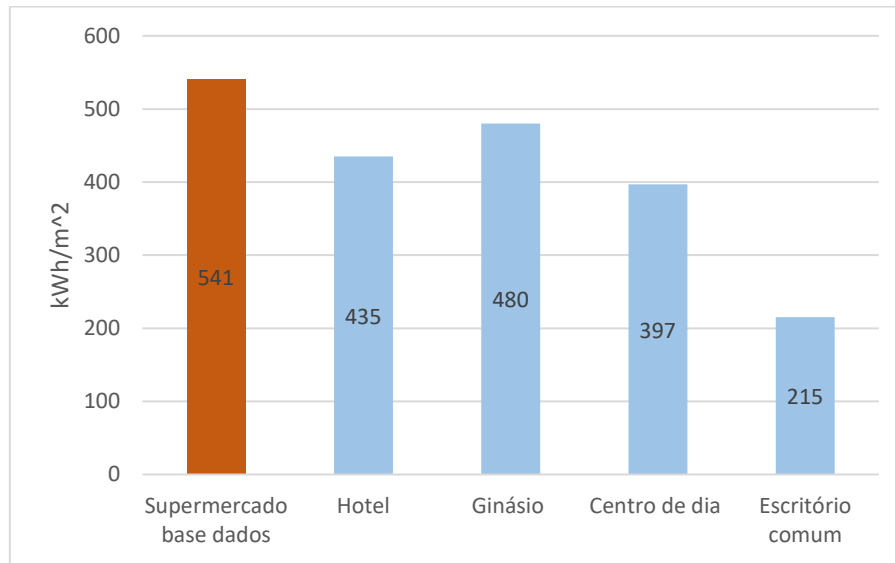


Gráfico 2.2 - Comparação de consumos por tipologias de serviços [6]

Neste, é possível comparar o consumo de um supermercado com outras tipologias, nomeadamente hotéis, ginásios, centros de dia e um escritório comum. É de salientar que estas tipologias apresentam constituições e equipamentos um pouco diferentes de um supermercado.

2.3 Ferramentas de análise

2.3.1 Benchmarking

Benchmarking é uma ferramenta de gestão que avalia o desempenho de uma empresa de forma comparativa e sistemática, tentando identificar e atuar nos fatores de sucesso e corrigir os de insucesso. De acordo com a Comissão Europeia, *benchmarking* é um “processo contínuo e sistemático que permite a comparação das performances das organizações e respetivas funções ou processos face ao que é considerado o melhor nível, visando não apenas a equiparação dos níveis de performance, mas também a sua superação”. [8]

O conceito de *benchmarking* é muito utilizado em ambiente empresarial e funciona através de comparação entre o quociente de um indicador de referência e um indicador real, sendo este último fracionado pelo de referência. Se o valor obtido for superior a 1, então o indicador real encontra-se pior do que o de referência. Se esse valor for inferior a 1, o indicador real estará melhor que o de referência. Quanto mais próximo do valor 1 se encontrar esse quociente, mais próximos se encontram os valores dos indicadores.

Assim, o grande objetivo desta ferramenta é conseguir melhorar os processos de funcionamento de uma empresa analisando, planejando e implementando estratégias para vencer a concorrência [9], [10].

No setor energético, este princípio assume o nome de *Energy Benchmarking*. Tendo em conta que os consumos energéticos não dependem unicamente dos próprios equipamentos mas também da operação dos sistemas, é muito importante dividir a avaliação de um sistema energético em três indicadores: “*Reference Benchmarking*”, “*Operational Benchmarking*” e “*Asset Benchmarking*” [10].

O *Reference Benchmarking* – é o indicador que fornece informação sobre a qualidade do edifício, dos sistemas energéticos nele instalados e sobre a qualidade das escolhas das operações e trata do quociente entre o consumo real determinado e o seu consumo teórico caso estivesse equipado com sistemas energéticos de referência e fosse mantido em condições ótimas de funcionamento.

O *Operational Benchmarking* – é o indicador que avalia a qualidade energética da operação do sistema, analisando o resultado calculado entre o consumo real e o seu consumo teórico, assumindo que este seria mantido em condições ótimas de referência.

O *Asset Benchmarking* – já pouco utilizado, é o indicador que avalia a qualidade energética do ativo, sendo cego à qualidade da sua gestão. Faz a avaliação dos consumos de um sistema energético instalado com o recurso a equipamentos de referência, comparando os consumos de um sistema energético real com a opção de referência.

2.3.2 *Integrated Environmental Solution – Virtual Environment (IES-VE)*

As crescentes preocupações ecológicas e ambientais levam à procura de metodologias que permitam obter edifícios energeticamente eficientes. É essencial utilizar uma ferramenta que permita, na fase de projeto, prever os consumos energéticos reais e, dessa forma, selecionar os tipos de sistemas mais adequados ao edifício, como demonstrado na Figura 2.4.

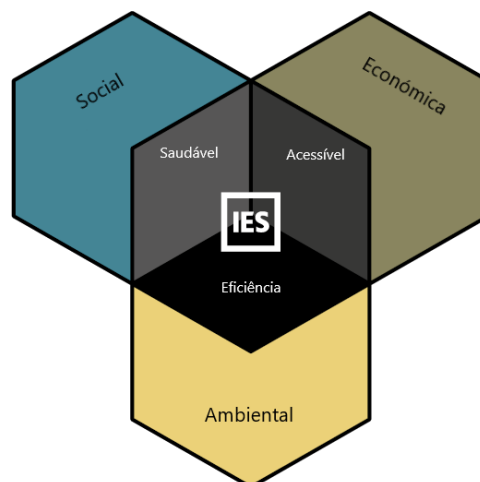


Figura 2.4 - Família IES-VE

O *Integrated Environmental Solution – Virtual Environment (IES-VE)* [11] é um *software* de simulação do desempenho energético de edifícios e da integração de modelos de sustentabilidade, tais como a otimização do uso energético, a minimização de emissões de CO₂ e a incorporação de tecnologia renovável. Este *software* permite efetuar análises térmicas bem como as respetivas simulações energéticas. Porém, é paga e é das aplicações mais caras no universo da simulação dinâmica. Esta ferramenta funciona com base num sistema modular constituído por:

- *ModellIT* - construções 3D de edifícios;
- *Suncast* – análise solar térmica;
- *Radiance* – estratégias de iluminação natural;
- *ApacheLoads* – cálculo de cargas térmicas;
- *ApacheHVAC* – modelação de sistema AVAC;
- *ApacheSim* – simulação dinâmica;

2.3.3 Sistema de Certificação Energética de Edifícios

O Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE) tem como objetivo disponibilizar ao consumidor informação sobre o desempenho energético dos edifícios e inclui a redução de custos com a utilização da energia, a melhoria do conforto térmico e o acesso a financiamento e benefícios fiscais [12].

A classe energética foi criada de forma a conseguir informar os compradores, ou os consumidores, sobre qual a eficiência de um imóvel. Desde o dia 1 de janeiro de 2009, todos os edifícios necessitam de possuir um certificado de eficiência energética [3]. Esta classificação energética dos edifícios é atribuída tendo em conta o seu consumo energético e pode ser dividida em 8 classes energéticas: A+; A; B; B-; C; D; E; F, sendo A+ a mais eficiente e F a menos.

A classe de eficiência energética atribuída aos edifícios é um indicador muito importante para se perceber o quão “amigo” do ambiente é o edifício, qual o seu nível de consumo de energia e qual a margem de manobra que existe para melhorar a classificação.

Para que se tenha uma noção, para as lojas de retalho alimentar, a classe energética obtida em todas as lojas auditadas pela empresa até ao momento situa-se, em média, na classe B de eficiência energética.

A eficiência energética acaba por ser um objetivo primordial desta dissertação de maneira a construir um ranking de lojas, ordenando-as das que são menos eficientes (consumos reais muito superiores aos *targets*) para as que são mais eficientes (consumos reais mais próximos dos *targets*).

2.4 Desagregação dos consumos

Os edifícios de retalho alimentar são superfícies com um grande consumo energético, destacando-se a rede de frio com um consumo de cerca de 40% e a iluminação com 22%.

No desenvolvimento desta dissertação frisa-se que, o sistema de frio será considerado apenas para a construção de uma loja padrão, utilizando os dados recolhidos através de auditorias e medições reais em 29 lojas de retalho alimentar. Tal acontece, porque a complexidade de funcionamento deste sistema exige um estudo individual. No Gráfico 2.3 é apresentada a desagregação de consumos obtida através da análise do portfólio de lojas.

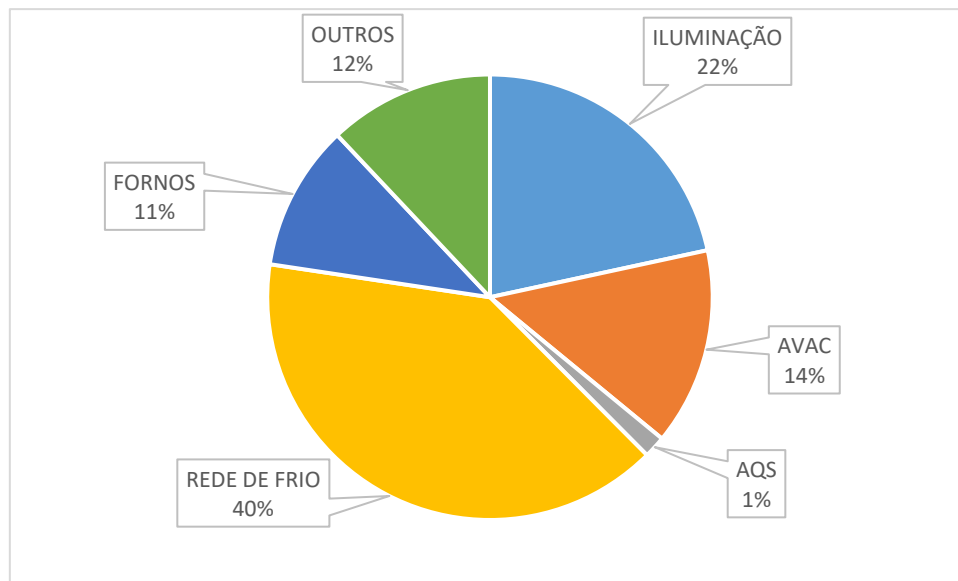


Gráfico 2.3 - Desagregação de consumos

2.5 Qualidade do Ar Interior (QAI)

A ASHRAE Standard 62.1 [13] define como aceitável a Qualidade de Ar Interior (QAI) que resulta da presença de ar ambiente onde não existem contaminantes conhecidos em concentrações perigosas, e onde a maioria (80% ou mais) dos ocupantes expostos não expressem insatisfação pela qualidade do mesmo.

A QAI depende essencialmente de três fatores:

- Emissão de poluentes no interior dos edifícios;
- Infiltração de poluentes do ar exterior;
- Acumulação de poluentes no interior dos edifícios devido a ventilação deficiente e baixa renovação de ar;

Uma adequada QAI confere conforto aos ocupantes do edifício, proporcionando-lhes um ar ambiente livre de odores e de níveis perigosos de contaminantes. Para se conseguir esta qualidade é necessário dar especial atenção à manutenção constante e eficaz dos equipamentos de renovação do ar interior e à eliminação/mitigação dos focos emissores de poluentes e da sua infiltração para o espaço interno dos edifícios.

Nos principais contaminantes do ar interior em edifícios estão incluídos:

- Dióxido de carbono (CO₂);
- Monóxido de carbono (CO);
- Compostos orgânicos voláteis (COV's);
- Vírus e alergogéneos;

O RECS (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de comércio e Serviços, Decreto-Lei n.º 118/13 de 20 de agosto e Portaria n.º 353- A/2013 de 4 de dezembro) estabelece limiares máximos à concentração de poluentes no ar interior [14], conforme representação na Figura 2.5.

Poluente	Límiar de proteção	Margem de tolerância (%)
Partículas suspensas no ar (PM10)	50 µg/m ³	100
Partículas suspensas no ar (PM2,5)	25 µg/m ³	100
Dióxido de carbono (CO ₂)	2250 mg/m ³ (1250 ppmv)	30
Monóxido de carbono (CO)	10 mg/m ³ (9 ppmv)	---
Ozono (O ₃)	0,2 mg/m ³	---
Formaldeído (CH ₂ O)	100 µg/m ³ (0,08 ppmv)	---
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	600 µg/m ³	100
Bactérias	< exterior + 350 UFC/m ³	---
Fungos	< exterior	---
Legionella	100 UFC/l na água; 1000 UFC/l (TA); 0 UFC (ar)	---
Radon	400 Bq/m ³	---

Figura 2.5 - Limiares máximos à concentração de poluentes no ar interior

2.5.1 Métodos para determinar a quantidade de ar novo adequados à QAI

Como forma de garantir a quantidade e a qualidade de ar novo adequado a uma boa QAI estão previstos diferentes métodos em várias normas e regulamentos. O foco irá incidir sobre o método prescritivo do RECS e da ASHRAE 62.1, sendo que o método prescritivo do RECS se baseia na obtenção do caudal de ar novo através da diluição da carga poluente devido aos ocupantes e ao edifício. Já o método prescritivo da ASHRAE 62.1 baseia-se na obtenção do caudal de ar novo através da determinação da categoria

do espaço, bem como da taxa de fluxo de ar externo exigida por unidade de área e da taxa de fluxo de ar externo exigida por pessoa

2.5.1.1 Método prescritivo do RECS

O método prescritivo do RECS baseia-se na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga poluente devido:

- Aos ocupantes do espaço e em função do tipo de atividade física;
- Ao próprio edifício e em função do tipo de materiais usados;

O caudal de ar novo mínimo necessário à diluição de poluentes devido à ocupação é dado pela Figura 2.6 [15]:

tipo de atividade	Taxa metabólica [Met]	Exemplos de tipo de espaços	Caudal de ar novo [$m^3/(h \cdot ocup)$]
sono	0,8	quartos, dormitórios e similares	16
descanso	1	salas de repouso, salas de espera, salas de conferências, auditórios e similares, bibliotecas	20
sedentária	1,2	escritórios, gabinetes, secretarias, salas de aula, cinemas, salas de espetáculo, salas de refeições, lojas e similares, museus e galerias, salas de convívio, salas de atividades de estabelecimentos de geriatria e similares	24
		salas de jardim de infância e pré-escolar e salas de creche	28
moderada	1,75 (1,4 a 2,0)	laboratórios, ateliers, salas de desenho e trabalhos oficinais, cafés, bares, salas de jogos e similares	35
ligeiramente alta	2,5 (2,0 a 3,0)	pistas de dança, salas em ginásios, salas de ballet e similares	49
alta	5 (3,0 a 9,0)	salas de musculação, salas em ginásios e pavilhões desportivos e similares	98

Figura 2.6 - Caudal mínimo de ar novo necessário à diluição de poluentes devido à ocupação

O caudal de ar novo mínimo necessário à diluição de poluentes devido ao edifício é dado pela Figura 2.7 [15]:

Caraterização do edifício	Caudal de ar novo [$m^3/(h \cdot m^2)$]
predominância (superior a 75%) de materiais de revestimento interior de baixa emissão de poluentes	2
sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	3
com atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	5
piscinas (em função da área de plano de água)	20

Figura 2.7 - Caudal mínimo de ar novo necessário à diluição de poluentes devido ao edifício

Incluem-se na definição de atividades que envolvem a emissão de poluentes específicos os seguintes locais: lavandarias, perfumarias, farmácias, salões de beleza, lojas de animais, salas de aula de artes e laboratórios de escolas [15].

No cálculo do caudal mínimo de ar novo deve-se considerar sempre o valor mais crítico, adotando soluções de ventilação adequadas ao tipo de edifício/espaco e à atividade desenvolvida, quer por meios naturais, quer por meios mecânicos, quer pela combinação de ambos.

2.5.1.2 Método prescritivo da ASHRAE 62.1

O método prescritivo da ASHRAE 62.1 define caudais mínimos de ar novo por ocupante e por área, definindo os níveis de qualidade do ar. As classes de qualidade do ar interior estabelecidas na ASHRAE 62.1 são apresentadas de seguida:

Classe 1	Ar com baixa concentração de contaminantes, de baixa intensidade sensorial (irritação) e odor inofensivo.
Classe 2	Ar com concentração moderada de contaminantes, de leve intensidade sensorial (irritação) ou com odores levemente ofensivos. A Classe 2 também inclui ar que não é necessariamente prejudicial ou desagradável, mas que não é apropriado para a transferência ou recirculação para os espaços utilizados para fins diferentes.
Classe 3	Ar com significativa concentração de contaminantes, de significativa intensidade sensorial (irritação) ou odor ofensivo.
Classe 4	Ar com vapores altamente desagradáveis ou gases ou com partículas potencialmente perigosas, bioaerossóis, ou gases em concentrações suficientemente altas para ser considerado nocivo.

Figura 2.8 - Classes de qualidade do ar interior

É necessário obter as variáveis R_a e R_p , sendo R_a a taxa de fluxo de ar externo exigida por unidade de área e R_p a taxa de fluxo de ar externo exigida por pessoa. Estas são definidas de acordo com a categoria do espaço que está a ser ocupado. Na Figura 2.9 é apresentada uma tabela com as várias categorias de ocupação. Para efeitos desta dissertação é utilizada a categoria de “*Supermarket*” (Supermercado). Salienta-se que apenas uma folha da tabela está demonstrada na Figura 2.9.

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate R_p		Area Outdoor Air Rate R_a		Notes	Default Values			Air Class
						Occupant Density (see Note 4)	Combined Outdoor Air Rate (see Note 5)		
	cfm/person	L/s/person	cfm/ft ²	L/s/m ²		#/1000 ft ² or #/100 m ²	cfm/person	L/s/person	
Office Buildings									
Office space	5	2.5	0.06	0.3		5	17	8.5	1
Reception areas	5	2.5	0.06	0.3		30	7	3.5	1
Telephone/data entry	5	2.5	0.06	0.3		60	6	3.0	1
Main entry lobbies	5	2.5	0.06	0.3		10	11	5.5	1
Miscellaneous Spaces									
Bank vaults/safe deposit	5	2.5	0.06	0.3		5	17	8.5	2
Computer (not printing)	5	2.5	0.06	0.3		4	20	10.0	1
Pharmacy (prep. area)	5	2.5	0.18	0.9		10	23	11.5	2
Photo studios	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	1
Shipping/receiving	-	-	0.12	0.6	B	-			1
Transportation waiting	7.5	3.8	0.06	0.3		100	8	4.1	1
Warehouses	-	-	0.06	0.3	B	-			2
Public Assembly Spaces									
Auditorium seating area	5	2.5	0.06	0.3		150	5	2.7	1
Places of religious work-shop	5	2.5	0.06	0.3		120	6	2.8	1
Courtrooms	5	2.5	0.06	0.3		70	6	2.9	1
Legislative chambers	5	2.5	0.06	0.3		50	6	3.1	1
Libraries	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	1
Lobbies	5	2.5	0.06	0.3		150	5	2.7	1
Museums (children's)	7.5	3.8	0.12	0.6		40	11	5.3	1
Museums/galleries	7.5	3.8	0.06	0.3		40	9	4.6	1
Retail									
Sales (except as below)	7.5	3.8	0.12	0.6		15	16	7.8	2
Mall common areas	7.5	3.8	0.06	0.3		40	9	4.6	1
Barber shop	7.5	3.8	0.06	0.3		25	10	5.0	2
Beauty and nail salons	20	10	0.12	0.6		25	25	12.4	2
Pet shops (animal areas)	7.5	3.8	0.18	0.9		10	26	12.8	2
Supermarket	7.5	3.8	0.06	0.3		8	15	7.6	1
Coin-operated laundries	7.5	3.8	0.06	0.3		20	11	5.3	2

Figura 2.9 - Valores mínimos de ar novo de acordo com a ASHRAE 62.1

A eficácia de ventilação (E_z) é uma medida da avaliação da forma de remoção dos poluentes num espaço, dependendo também do tipo e localização das fontes de poluição no interior do espaço tratado [13]. Os valores da eficácia de remoção de poluentes do sistema de ventilação, para os diferentes métodos de distribuição de ar nos locais, são função, essencialmente, do método de ventilação e da diferença de temperatura entre o ar insuflado e o ar na zona ocupada do espaço, podendo assumir-se para o efeito os valores previstos no RECS [13].

Para obter a variável E_z recorre-se à Figura 2.10 na qual são apresentados diferentes valores previstos no RECS para a eficácia de ventilação.

Configuração da distribuição de ar na zona	ϵ_v
Insuflação pelo teto, ar frio	1
Insuflação pelo teto e extração junto ao pavimento, ar quente	1
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 3°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,8
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 3°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto, desde que o jato de ar de insuflação, tenha velocidade superior a 0,8m/s e alcance até 1,4m do pavimento (nota: para velocidades mais baixas, $\epsilon_v = 0,8$)	1
Insuflação de ar frio junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, desde que o jato de ar de insuflação com uma velocidade de 0,8m/s, tenha um alcance de 1,4m ou mais, em relação ao pavimento.	1
Insuflação de ar frio a baixa velocidade junto ao pavimento e extração junto ao teto, numa estratégia de ventilação do tipo deslocamento, proporcione um fluxo unidirecional e estratificação térmica	1,2
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração junto ao pavimento, no lado oposto do compartimento	1
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto	0,7
Admissão natural de ar no lado oposto do compartimento em relação ao ponto de extração/retorno mecânica	0,8
Admissão natural de ar junto ao ponto de extração/retorno mecânica	0,5
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, no mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5
Insuflação de ar frio junto ao teto e extração/retorno junto ao pavimento, do mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5

Notas:

1. "Ar frio": Ar insuflado a uma temperatura inferior ao ar do compartimento
2. "Ar quente": ar insuflado a uma temperatura superior ao ar do compartimento
3. "Junto ao", ou, "pelo teto": inclui qualquer ponto acima da zona de respiração
4. "Junto ao", ou, "no pavimento": inclui qualquer ponto abaixo da zona de respiração

Figura 2.10 - Valores de eficácia para diferentes métodos de ventilação

2.6 Caracterização de equipamentos e sistemas nas lojas de retalho alimentar

Sendo as lojas de retalho alimentar muito abrangentes nos serviços e produtos que fornecem, requerem o correto dimensionamento e utilização de equipamentos e sistemas de refrigeração, de iluminação, de fornos, AVAC e outros. Nos próximos subcapítulos serão abordados os principais sistemas energéticos e, posteriormente, os equipamentos com uma breve noção do seu papel e funcionamento. O sistema de frio não será abordado, apenas será feita uma breve introdução.

2.6.1 Envoltente de um edifício de retalho alimentar

Quando se analisa um edifício é necessário considerar sempre a sua envolvente, pois é através deste parâmetro que é possível conhecer as perdas e os ganhos térmicos, com o intuito de aumentar a fiabilidade dos métodos de previsão das necessidades de energia de climatização.

Recorrendo à base de dados das 29 lojas auditadas, após a recolha de valores do coeficiente de transmissão térmica, é possível expor no Gráfico 2.4 os valores médios, mínimos e máximos da constituição das mesmas.

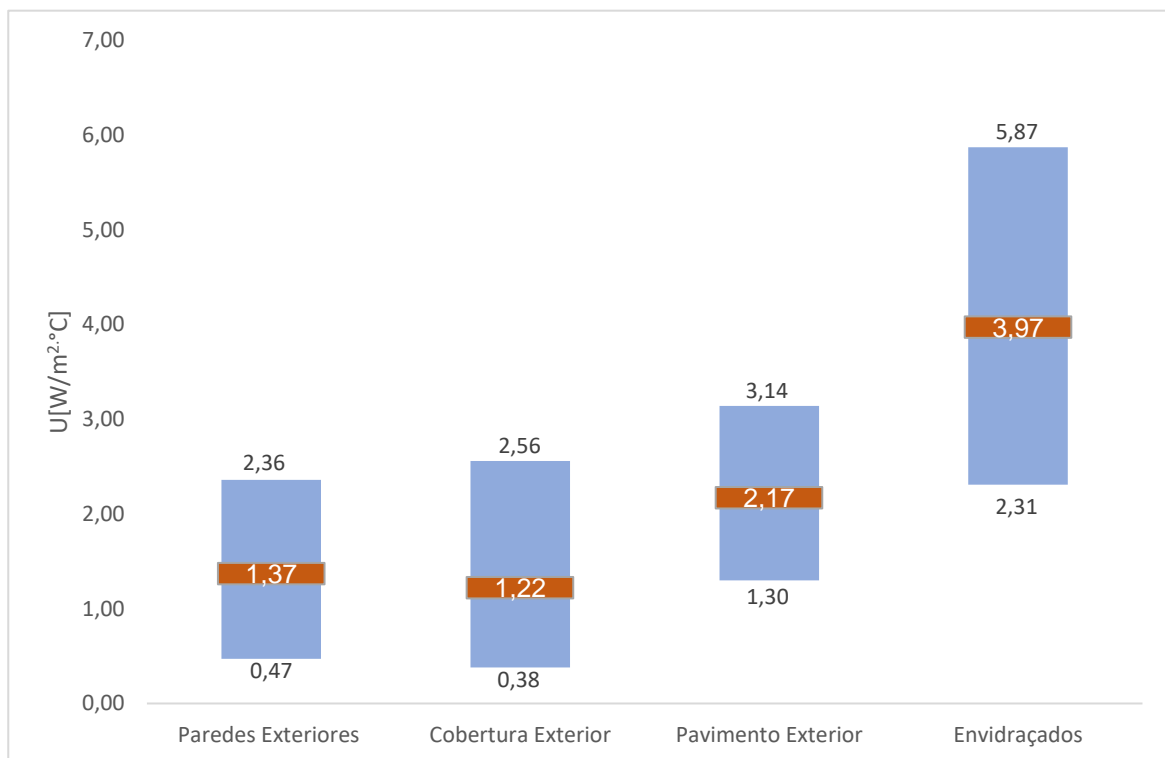


Gráfico 2.4 - Intervalos de valores da envolvente

2.6.2 Sistema AVAC e o seu funcionamento numa loja de retalho alimentar

O sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) deve ser devidamente dimensionado para o controlo das condições ambientais no interior dos edifícios e deve ser operacionalizado de forma correta para garantir um desempenho eficiente. Este sistema é responsável por remover a carga térmica de um espaço de forma a satisfazer as necessidades de conforto dos ocupantes. No entanto, um sistema de climatização não tem apenas como função remover a carga térmica, mas também garantir a qualidade do ar interior (QAI) [16] e [17]. Salienta-se que no seguimento do desenvolvimento desta dissertação apenas será estudado e analisado o sistema referente à área de vendas. Após análise das 29 lojas, foi possível concluir que 90% das lojas auditadas pela empresa utiliza, para o sistema de AVAC na zona de vendas, uma unidade *rooftop* (RTU) e as restantes 10% utilizam um sistema *chiller-caldeira*. Deste modo, o estudo do sistema de AVAC recairá sob a opção da unidade RTU.

No retalho alimentar o sistema de AVAC representa entre 13% e 20% do consumo elétrico total do edifício, pelo que se percebe a necessidade de se alcançarem abordagens técnicas mais eficientes para uma melhor otimização destes consumos. Fatores como a localização geográfica do edifício e o conseqüente tipo de clima a que estará sujeito, têm um considerável impacto no funcionamento dos sistemas AVAC. Meses mais quentes exigem necessidades de arrefecimento maior e meses tendencialmente mais frios impõem necessidades de aquecimento maior. [17]

Nestes edifícios será necessário considerar modelos de operação diferentes, devendo ser implementados e otimizados aqueles que são mais adequados em cada um dos casos, de forma a permitir a climatização do edifício conforme os regulamentos previstos [18].

No retalho alimentar são usados maioritariamente os seguintes modelos de operação: *Regular, Peak Shaving, Mainly Summer, Mainly Winter*. [17]

Para análise das 29 lojas auditadas foi construída uma tabela com as médias de áreas, potência térmica instalada, caudal de ar, potência instalada dos ventiladores e EER para a zona de vendas, utilizando dados recolhidos nas medições reais.

Tabela 2.1 - Média das medições AVAC

Média Zona de Vendas	A	B	C	D	E	F	G
Lojas (1-29)	110	92	5,8	19,6	33	2,7	2,4

Legenda da Tabela 2.1 de forma a facilitar a sua leitura:

- A = Potência térmica instalada de arrefecimento por área [W/m^2];
- B = Potência térmica instalada de aquecimento por área [W/m^2];
- C = Caudal de ar exterior por área [$(\text{m}^3/\text{h}) / \text{m}^2$];
- D = Caudal de ar total insuflado por área [$(\text{m}^3/\text{h}) / \text{m}^2$];
- E = Potência instalada ventiladores [kW];
- F = EER;
- G = COP;

As unidades *rooftops* (RTU) são máquinas que têm a particularidade de ter o sistema energético de expansão direta integrado e de serem concebidas para a instalação nas coberturas/telhados dos edifícios. Isto acontece porque este tipo de equipamento é adaptado para ser instalado em superfícies planas, pois apresentam as saídas (insuflação)/entrada (retorno) de ar pela sua face inferior. O mesmo edifício pode usar uma ou mais unidades de RTU, dependendo do seu tamanho, características e função [19]. As unidades RTU servem vários espaços verificados individualmente através de uma unidade de controlo que varia a quantidade de ar fornecida para manter a temperatura desejada em cada uma das zonas do edifício [20]. Na Figura 2.11 é possível observar um exemplo de uma unidade RTU, bem como observar que, quer a insuflação, quer a extração, são feitas pela face inferior da unidade. [21].

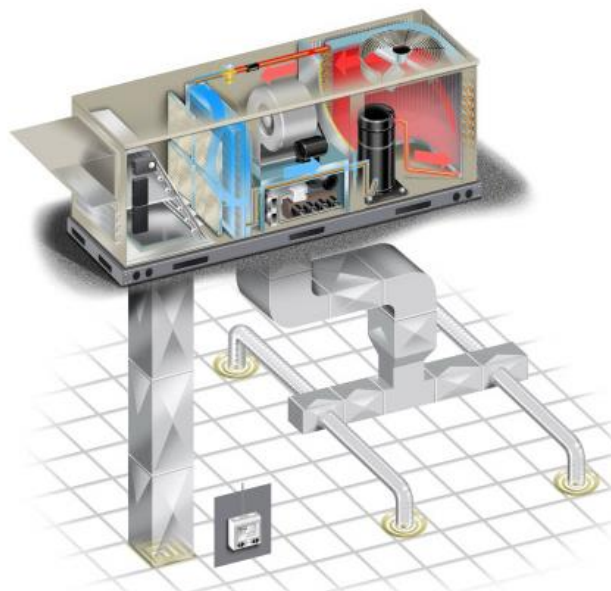


Figura 2.11 - Exemplo de uma unidade RTU

Na Figura 2.12 é possível observar um exemplo de uma representação de uma unidade RTU em corte.

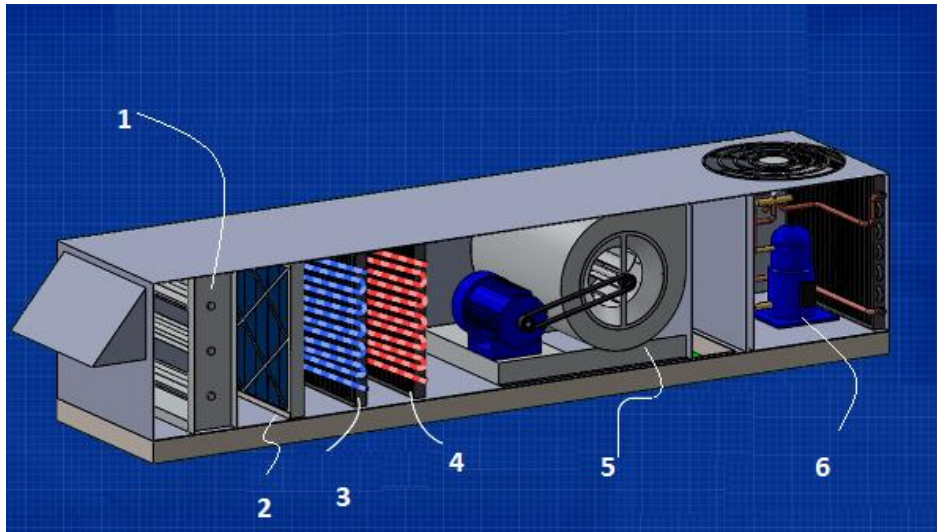


Figura 2.12 - Vista em corte de uma unidade RTU

Os constituintes de uma RTU são:

- Registo de ar;
- Filtro;
- Bateria de arrefecimento;
- Bateria de aquecimento;
- Ventilador;
- Compressor;
- Condensador;

Uma RTU dependendo do local e clima onde se encontra instalada pode possuir uma bateria de arrefecimento e outra de aquecimento para situações onde necessita de arrefecer ou aquecer respetivamente, sendo que em determinados climas apenas é instalada uma bateria, pois apenas se justifica o aquecimento ou arrefecimento.

A RTU aproveita o caudal de ar de recirculação que advém do espaço que está a ser climatizado, e dependendo das necessidades, recircula 100% deste ou permite a adição de caudal de ar novo. Estes dois caudais misturam-se, e à medida que avançam na RTU, percorrem os diversos componentes da unidade, como filtros, baterias de arrefecimento e/ou aquecimento, acabando assim por ser circulado para o espaço [20].

Nas unidades RTU podem existir funcionalidades distintas como, o *free cooling*, a recuperação de calor, o *Automatic On/Off* e o Volume de ar variável (VAV), que têm como premissa a redução dos consumos energéticos sem pôr em causa o conforto térmico no espaço. No capítulo do desenvolvimento serão abordadas as várias funcionalidades individualmente.

Apesar de as unidades possuírem este tipo de características, muitas das vezes não são operados da melhor maneira, ou acabam mesmo por estar desligados.

O valor do rácio da eficiência energética de uma unidade RTU é calculada pelo razão entre a capacidade de arrefecimento e a potência elétrica instalada. Esta relação pode ser observada na equação 1. [20], [22]

$$EER = \frac{CAP_{arr}}{P_e} \quad (1)$$

Em que:

- EER é o valor do rácio de eficiência energética
- CAP_{arr} é a capacidade de arrefecimento da unidade RTU, [kW]
- P_e é o valor da potência elétrica instalada, [kW]

Já o coeficiente de desempenho (COP) de uma RTU é obtido através do rácio entre a capacidade de aquecimento e a potência elétrica instalada, sendo que esta relação pode ser observada na equação 2 [20], [22].

$$COP = \frac{CAP_{aque}}{P_e} \quad (2)$$

Em que:

- COP é o valor do coeficiente de desempenho
- CAP_{aque} é a capacidade de aquecimento da unidade RTU, [kW]
- P_e é o valor da potência elétrica instalada, [kW]

Como em todos os sistemas, também na utilização da RTU há vantagens e desvantagens a registar.

Vantagens destes sistemas:

- Localização da unidade no telhado maximiza o espaço no edifício;
- Mais eficiente a nível energético quando comparado com sistemas *chiller caldeira*;
- Mais fácil de fazer diagnósticos e consequentemente fazer a respetiva reparação se necessário devido ao facto de toda a unidade estar no telhado do edifício;

Desvantagens:

- É necessário espaço para ser colocado no telhado;
- Se a unidade for demasiado grande é necessário que exista apoio da mesma, o que pode pôr em causa a estética do edifício;
- A sua colocação no telhado pode levar a uma maior negligência na sua adequada manutenção que exige vistorias e reparações em devido tempo;

2.6.3 Iluminação

A tecnologia de iluminação tem vindo a sofrer mudanças ao longo dos anos, com o propósito de melhorar a sua qualidade, a sua fiabilidade e a sua eficiência de consumo energético. A iluminação tem um papel fundamental para o bom funcionamento das atividades comerciais, interferindo diretamente no bem estar emocional dos seres humanos [23].

Para existir a luz, além de energia é necessário que haja uma fonte emissora. No tocante aos edifícios de retalho alimentar, os sistemas de iluminação representam um consumo entre os 20% e os 30% do total dos consumos energéticos do edifício, dependendo do tipo de iluminação usada.

As lâmpadas fluorescentes começaram por ser as fontes de iluminação mais usadas nas primeiras instalações destinadas aos serviços. Como veremos mais à frente, os avanços tecnológicos nesta área fizeram com que as fluorescentes fossem substituídas por lâmpadas LED, o que permitiu reduzir consideravelmente os consumos de energia.

Esta redução de consumos de energia fez com que todo o tipo de superfícies de retalho alimentar comesse a privilegiar esta solução (LED), levando a que esteja em curso a substituição generalizada de lâmpadas.

Mesmo aquelas que se foram mostrando mais resistentes a processar esta alteração vão procedendo à substituição de alguns setores dentro do espaço comercial, utilizando uma iluminação mista. Tendencialmente serão cada vez menos as superfícies dotadas unicamente de iluminação fluorescente.

A correta utilização da luz através de processos de controlo da qualidade e da quantidade da mesma, é uma prioridade cada vez mais considerada, pelo que para as 29 lojas em apreço foi construída uma tabela resumida com as médias de áreas, potências instaladas e densidades de iluminação para as zonas de vendas, utilizando valores obtidos das medições reais.

Tabela 2.2 - Média medições Iluminação

Médias Zona de Vendas	Área [m ²]	Potência Instalada [W]	Densidade de iluminação [W/m ²]
Lojas (1-29)	4961,3	82352,2	16,61

Considerando também a iluminação nos armazéns e nos escritórios é possível construir o Gráfico 2.5 com os valores médios, máximos e mínimos, baseados nos dados reais.

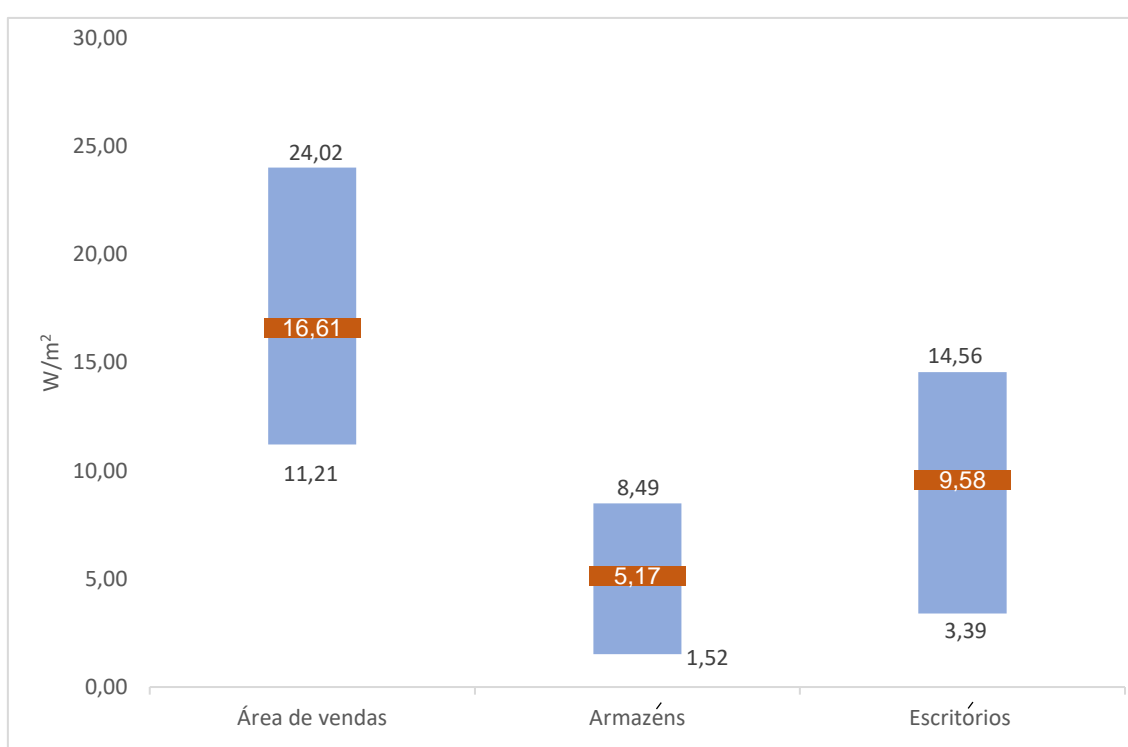


Gráfico 2.5 - Intervalos da densidade de iluminação

Quando falamos de iluminação, as principais grandezas são:

- Fluxo luminoso;
- Intensidade luminosa;
- Iluminação ou iluminância;
- Luminância;

Através destes parâmetros é possível caracterizar a instalação de iluminação de um edifício e consequentemente determinar os seus consumos.

- O fluxo luminoso (Φ) é a quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte luminosa durante um segundo, devendo ser medido após as primeiras 100 horas de serviço, pois é quando se regista o valor de funcionamento estável. A unidade usada é o lúmen (lm);
- A intensidade luminosa (I) é o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. Deste maneira, é necessário conhecer a intensidade luminosa em cada direção. A unidade usada é a candela (cd);
- A iluminação ou iluminância (E) é a quantidade de luz dentro de um ambiente, e pode ser medida com o auxílio de uma ferramenta designada o luxímetro. A unidade usada é o lux. Com base em estudos já realizados há níveis de iluminância recomendados [6], [24] para diferentes locais;
- A luminância (L) é a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície existente e deve ser considerada como um complemento à determinação das iluminâncias (lux) do ambiente, a fim de evitar o encadeamento.

Percebendo estas grandezas é possível conhecer as características da fonte luminosa, como é o caso do índice de reprodução de cor, a temperatura da cor e a sua vida útil.

- Índice de reprodução de cor (IRC), é uma forma de quantificar e verificar as cores que são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz, que vem compreendido num número entre 0 e 100. É recomendado sempre o maior IRC possível;
- Temperatura da cor mostra a aparência da cor da luz emitida pela fonte de luz, sendo que é medida em Kelvin (K). Quanto mais alta for a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade da cor, isto é, uma luz com uma aparência de cor acima dos 5000K tende a ser mais fria e mais revigorante. Enquanto que uma luz com aparência de cor abaixo dos 4000K tende a ser mais quente e aconchegante. Entre os 4000K e 5000K encontra-se uma aparência de cor neutra;
- A vida útil de uma lâmpada é o tempo de horas até que se verifique uma redução de cerca de 25% do seu fluxo luminoso. Depende da sua tipologia, mas também do uso a que está sujeita, isto é, do número de vezes que é desligada e ligada, à presença de vibrações, entre outros fatores. Esta característica é fundamental na escolha de uma lâmpada.

2.6.3.1 Tipo de lâmpadas

Atualmente é possível encontrar todo o tipo de lâmpadas, mas cada vez mais os edifícios de retalho alimentar adotam estratégias de poupança recorrendo a lâmpadas com tecnologia LED (*Lighting Emitting Diode*). Dos vários tipos disponíveis, as lâmpadas mais usadas nos espaços em estudo, agrupam-se nas seguintes categorias [23]:

- Incandescentes
- Descarga
- Indução
- LED

Lâmpadas incandescentes - foram as lâmpadas mais usadas em todo o mundo, constituindo uma das principais fontes de desperdício de energia por só transformem em luz cerca de 5% da energia consumida, enquanto o restante era puro desperdício. Devido ao seu alto consumo, baixa vida útil e fundamentalmente ao avanço da tecnologia de iluminação passou a cair em desuso. O princípio de funcionamento destas lâmpadas consiste na passagem de corrente por um filamento que é aquecido até ao ponto de incandescência, emitindo assim uma luz visível e calor. Este filamento está contido numa ampola feita de vidro, onde se encontra um gás inerte.

Lâmpadas de descarga - alguns tipos de lâmpadas de descarga acabam por ser exteriormente idênticos às incandescentes, mas o seu princípio de funcionamento varia substancialmente. Em vez de um filamento, existe um gás dentro do vidro da lâmpada que assim que é transposto por uma alta descarga elétrica que passa entre os elétrodos ioniza, fazendo com que a corrente elétrica ao passar por esta gás ionizado emita luz. Este tipo de lâmpadas necessita de um balastro de forma a limitar a corrente e a adequar as tensões.

Lâmpadas de indução - como o próprio nome indica têm indução eletromagnética para a geração de corrente. Esta geração é realizada através de um campo magnético externo. Não possui elétrodos. A lâmpada é completamente fechada e selada, eliminando a possibilidade de contaminação devido a problemas de isolamento. É comumente usada em locais de difícil acesso como é o caso dos tetos altos muito e em aplicações industriais.

LED (*Light Emitting Diode*) - este tipo de tecnologia emissora de luz tem vindo a crescer nos últimos anos, com uma capacidade ótima de emissão de luz e um consumo reduzido de energia. Este tipo de lâmpada tem sido muito utilizada não só na área de retalho alimentar, mas também nos restantes setores. O LED é um dispositivo eletro-ótico onde o componente mais importante é o chip semiconductor que emite luz quando lhe é aplicada uma corrente elétrica. Este tipo de fonte luminosa emite luz visível,

teoricamente sem dissipação de calor, tendo uma boa resistência ao choque e à vibração, e uma vida útil longa. É uma tecnologia cada vez mais emergente com um potencial muito grande para substituir completamente as tecnologias convencionais. [2]

2.6.3.2 Zonas de iluminação

Com a invenção da lâmpada e o posterior desenvolvimento tecnológico na área da eletricidade e com o aumento das necessidades que resultaram da melhoria das condições de vida das pessoas, a iluminação artificial passou a ser cada mais imprescindível nos edifícios. Nas superfícies de retalho alimentar, a iluminação desempenha um papel fundamental seja na iluminação do espaço para o ser-humano bem como a correta iluminação e exposição dos produtos, de forma a serem mais atraentes para o consumidor.

Apesar da regulamentação de iluminação em superfícies de retalho alimentar não ser muito específica, de acordo com a norma EN 12464-1 [24], conseguimos identificar o número de 300 *lux's* como sendo o fluxo de luz necessário na área de vendas para que os consumidores consigam circular na zona de vendas e visualizar os produtos.

Como não existe um número máximo, e com a sofisticação tecnológica das lâmpadas, é normal em auditorias verificar valores de 1000 *lux's* numa área de vendas, de maneira a que os produtos que ali são disponibilizados sejam mais atrativos para potenciar as vendas.

As zonas de iluminação podem ser distribuídas por três grandes zonas e podem utilizar apenas uma tipologia ou a conjugação de várias. Estas zonas poderão ser divididas da seguinte forma:

A zona comercial, que abrange toda a parte do espaço de vendas, exposição de produtos, linha de caixas e corredores.

A zona dos armazéns, que inclui todos os espaços que sejam considerados de armazenamento de produtos e outras divisões que eventualmente já foram utilizados como escritórios.

Na zona dos escritórios, estão inseridos os gabinetes administrativos, salas de reuniões, escritórios e gabinetes médicos.

2.6.4 Água quente sanitária

O sistema de água quente sanitária (AQS) não tem muito impacto no consumo energético total e quando comparado com o sistema de frio ou o sistema de iluminação, representando, em média, uma pequena parcela da fatura total (< 3%).

No entanto, importa que exista o sistema (AQS) em bom funcionamento num edifício de retalho alimentar. Em divisões como os balneários, sanitários, seções de lavagens da

peixaria e de talho, é necessário ter água quente sanitária de forma a serem cumpridos os requisitos técnicos desses setores.

Este sistema recorre usualmente a termoacumuladores elétricos ou a caldeiras a gás natural. Estas duas soluções são as mais usadas devido à facilidade de instalação e de uso em simultâneo com o sistema de AVAC.

Quando se operam ou instalam equipamentos para um sistema AQS, é essencial que se seja garantida uma temperatura adequada a prevenir o aparecimento da *legionella pneumophila*, que é uma bactéria que vive naturalmente em reservatórios de água doce e locais onde se libertam aerossóis sem manutenção adequada dos aparelhos.

Esta bactéria desenvolve-se exponencialmente entre os 25°C e os 42°C, não sendo capaz de suportar temperaturas superiores a 50°C [25]. De forma a evitar a instalação de colónias desta bactéria e a sua propagação, é aconselhável que com uma periodicidade mínima semanal, seja realizado nestes edifícios um choque térmico, que consiste na subida da temperatura da água a temperaturas acima dos 50°C, baixando-as depois de forma brusca para menos dos 20°C. Este processo normalmente é realizado durante a noite, de maneira a não existir perigo para os clientes e para os funcionários e por ser a fase do dia em que as tarifas energéticas são mais baixas.

Importa ainda ter em atenção que nos edifícios de retalho é necessário que exista sempre um controlo rigoroso em relação às temperaturas da água quente sanitária disponibilizadas para utilização, garantindo o seu bem-estar e segurança.

Para as 29 lojas foi feita a Tabela 2.3 com as médias da potência elétrica e capacidade de acumulação dos equipamentos.

Tabela 2.3 - Média medições AQS

Média	Potência elétrica [kW]	Capacidade de acumulação [L]
Loja (1-29)	14	1270,5

2.6.5 Fornos e outros equipamentos

Para além dos sistemas principais descritos anteriormente, existem outras fontes de consumo energético, como é o caso dos fornos, tanto os da padaria como os da preparação das carnes assadas, das máquinas de produção de gelo para as bancadas de peixe, das máquinas de corte automático de pão, das máquinas de corte da seção da charcutaria e da iluminação decorativa, entre outros. Destes equipamentos, os fornos são os que representam uma fatia de consumo energético mais elevado.

Os fornos usados nos edifícios de retalho alimentar podem ser classificados de acordo com o tipo de aquecimento seja direto ou indireto. Nos fornos diretos o calor é transferido através de uma fonte de combustível ou eletricidade, ao contrário dos indiretos, onde o ar dentro da câmara do forno que aquece através das paredes do forno ou resistências elétricas. Podem também ser classificados consoante a sua característica de funcionamento [26].

Existem fornos de tubos anelares, fornos de lar fixo, fornos modulares, fornos rotativos e fornos de convecção, sendo de salientar que nos edifícios de retalho alimentar são maioritariamente usados fornos de lar fixo e fornos rotativos.



Figura 2.13 - Forno lar fixo



Figura 2.14 - Forno rotativo

Os fornos são maioritariamente usados para o fabrico de pão e pastelaria em geral, mas também para confeccionar vários tipos de carnes (frangos e entrecosto, por exemplo), salientado que o tipo de fornos difere entre si como já vimos anteriormente.

Este tipo de equipamento, dependendo do seu horário de funcionamento, que normalmente varia entre a manhã e o início da tarde, pode representar entre 6% e 12% no consumo final de energia, como se pode verificar neste trabalho no tópico de “desagregação de consumos”, na fatia de “outros”.

Dentro de todos os sistemas de um edifício de retalho alimentar, existem grupos de componentes que operam como um só e são classificados dessa maneira, como por exemplo o sistema AVAC e há equipamentos *standalone* que representam um consumo elevado de energia, mas que, normalmente, nas auditorias energéticas não são o principal alvo de estudo, por não possuírem uma margem de melhoria relevante.

2.6.6 Sistema de frio comercial

Este sistema trabalha na base do ciclo frigorífico, sendo este baseado no ciclo de Carnot. O ciclo de Carnot é um ciclo teórico, de tal forma, os processos que ocorrem são isotérmicos e adiabáticos. Ao contrário desse, nos sistemas de frio comerciais é usado o ciclo de Carnot inverso, no qual se retira calor de um ambiente e se transfere para outro, através da aplicação de trabalho [22], [27]. Este tipo de ciclos são muito utilizados em climatização de espaços para o conforto dos ocupantes bem como para a conservação de alimentos a temperaturas inferiores a -40°C . [22] Na Figura 2.15 é apresentado um exemplo simplificado de um ciclo frigorífico.

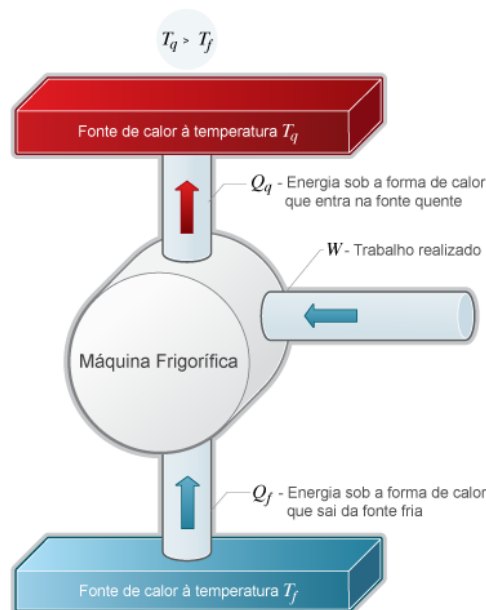


Figura 2.15 - Esquema do funcionamento de um ciclo frigorífico [29]

O sistema de frio representa 44% do consumo de um edifício de retalho alimentar, pois estes apresentam uma elevada concentração de equipamentos de refrigeração, tais como câmaras frigoríficas, bancadas frigoríficas, expositores positivos e expositores negativos. Para além da forte concentração de equipamentos, estes necessitam de estar em funcionamento contínuo durante todo o dia, de modo a manter os produtos frescos ou congelados, consoante a necessidade de conservação de cada produto.

O sistema de frio é composto pelos principais equipamentos:

- Compressor;
- Condensador;
- Dispositivos de expansão;
- Evaporadores;
- Fluido frigorígeno;

Os principais componentes do sistema de frio têm um consumo variado de energia. Dos componentes presentes neste sistema, são os expositores presentes na área de vendas que representam uma carga térmica para o espaço.

Como foi visto na desagregação de consumos de um edifício de retalho alimentar, cerca de 50% do consumo total é referente ao sistema de frio. De forma a isolar este sistema, no Gráfico 2.6 apenas é feita a desagregação do consumo energético dos componentes do sistema de frio, sendo que o seu somatório resultará nos 50% de consumo do sistema de frio [28].

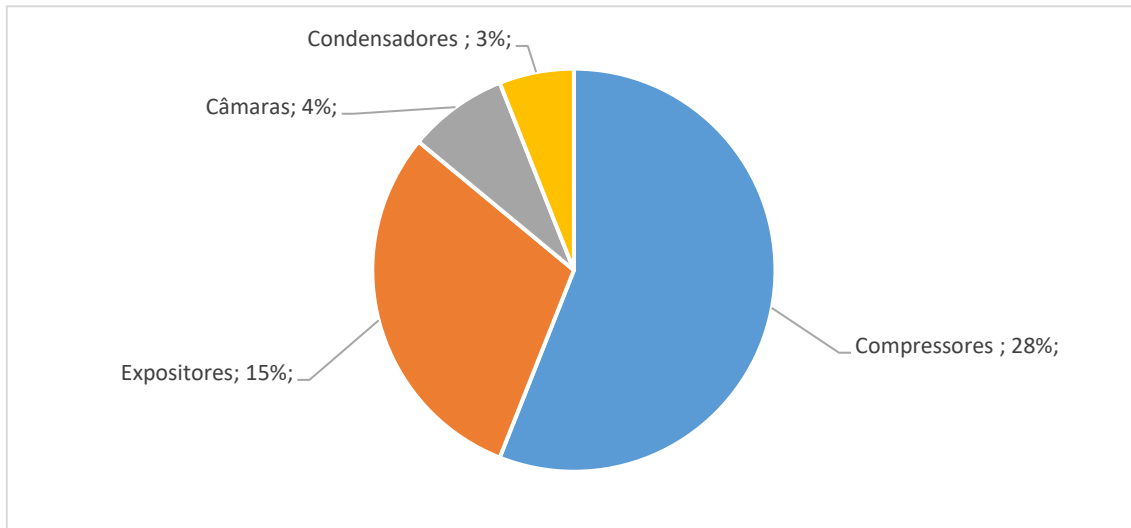


Gráfico 2.6 - Gasto energético por componente do sistema de frio

O sistema de frio é dividido em duas centrais, uma positiva, utilizada para refrigeração, e outra negativa, utilizada para congelamento. Cada uma destas centrais tem um circuito de refrigeração independente. Deste modo, é possível manter em espaços distintos e em adequadas condições de conservação, quer os produtos frescos quer os congelados. A central positiva, que refrigera os produtos alimentares disponibiliza temperaturas entre os 0°C e os 4°C. A central negativa, utilizada para manter os produtos congelados por longos períodos disponibiliza temperaturas de frio que se situam entre os -20°C e os -18°C [28].

2.6.6.1 Expositores / Móveis

Os móveis frigoríficos podem ter várias formas e composições, sendo que as mais comuns são horizontais ou verticais, com ou sem porta. Existe ainda a junção dos dois designado por combinados (COMBI), normalmente com porta. Dependendo do tipo de produto a ser conservado, é utilizado um móvel frigorífico positivo ou um móvel frigorífico negativo. Este tipo de equipamento é dos produtores de frio com mais consumo, permitindo-nos fazer alterações nos modelos de funcionamento para que se possa atingir consumos mais reduzidos de energia.

2.7 Controlo dos principais sistemas

2.7.1 Controlo do sistema AVAC aplicado às unidades RTU

Uma das variáveis que tem mais impacto no modo de funcionamento do sistema AVAC nas lojas de retalho alimentar é a localização do edifício e, conseqüentemente, o clima a que está sujeito. Climas mais quentes exigem maiores necessidades de arrefecimento, principalmente nos meses de maior calor (verão). Nos climas mais frios, as necessidades de aquecimento sobrepõem-se às de arrefecimento na maior parte do ano. Assim, para cada clima existe um modo mais adequado de funcionamento do sistema AVAC para garantir a climatização eficaz do edifício, quer ao nível das temperaturas de conforto disponibilizadas quer ao nível dos consumos energéticos.

Os modos de operação do sistema AVAC mais utilizados em lojas de retalho alimentar são:

- *Regular*: ocorre funcionamento contínuo dos ventiladores durante o horário de abertura ao público, sendo que as baterias de arrefecimento e aquecimento só trabalham quando a temperatura no interior do edifício ultrapassa os *setpoints* definidos;
- *Peak Shaving*: os ventiladores entram em funcionamento apenas quando são ultrapassados os *setpoints* de arrefecimento ou de aquecimento. Este modo de operação caracteriza-se por operar apenas em extremos climáticos (*Peak*) de temperatura interior, ou seja, os *setpoints* de temperatura são definidos para valores muito superiores aos normais quer no caso do arrefecimento, quer no caso do aquecimento, levando a um funcionamento muito limitado do sistema AVAC. Trata-se de um modo de operação que permite poupanças energéticas, mas não confere elevados níveis de conforto no interior do edifício;
- *Mainly Summer* (Maioritariamente Verão): o sistema AVAC está ligado somente nos meses de maior calor. Para além da temperatura interior, também a temperatura do ar exterior ao edifício condiciona o funcionamento do sistema AVAC, visto que temperaturas exteriores mais elevadas obrigam a uma operação mais exigente do sistema de modo a tornar o espaço mais confortável para os ocupantes. Este modo de funcionamento é característico de zonas climáticas quentes que não requerem necessidades de aquecimento nos meses mais frios;

- *Mainly Winter* (Maioritariamente Inverno): de modo análogo ao modo de operação *Mainly Summer*, no *Mainly Winter* o sistema AVAC está ligado apenas nos meses mais frios. O seu funcionamento é condicionado também pelas temperaturas interiores e exteriores do edifício, uma vez que temperaturas exteriores baixas geram maiores necessidades de aquecimento do edifício por forma a tornar o espaço mais confortável. É um modo de funcionamento comum em zonas climáticas frias nas quais não há necessidade de arrefecimento nos meses quentes.

Os sistemas de controlo no AVAC são quase sempre autónomos devido ao uso das unidades RTU. Estas unidades podem ser controladas através de locais de gestão técnica centralizada, onde num só sítio é possível controlar todos os componentes de todos os sistemas. Aliado ao controlo do sistema de AVAC é possível implementar funcionalidades com a vantagem de reduzir os consumos energéticos e melhorar a QAI. Todas estas funcionalidades dependem de controladores e sensores para garantir o seu correto funcionamento.

As funcionalidades a que se alude anteriormente são:

- *Free cooling* – É uma funcionalidade que opera no sistema de AVAC, essencialmente através de um controlador. Tem como objetivo diminuir a temperatura do ar interior num determinado espaço usando ar naturalmente fresco, recorrendo ao ar exterior, ao invés do arrefecimento mecânico [10], [29]. Este processo é caracterizado pela utilização de 100% de ar novo. Sempre que seja possível um arrefecimento sensível mais significativo para o espaço a arrefecer, através de um controlador, o registo de ar da unidade RTU abre, de forma a ser insuflado 100% ar novo;
- Recuperação de calor - É uma funcionalidade que necessita de um equipamento de permuta de calor, ao contrário do *free-cooling* que essencialmente opera através de um controlador. Permite recuperar o calor do interior do espaço de forma a maximizar o conforto e a eficiência energética [30]. Na recuperação de calor de ar feita pela unidade RTU podem ser usados recuperadores de calor de roda térmica ou recuperadores de calor de permutadores de placas. Usualmente, neste tipo de máquinas instaladas em superfícies de retalho alimentar, são usados recuperadores de calor de roda térmica. O princípio de funcionamento consiste numa matriz de metal fino, em rotação lenta, que opera os fluxos de ar. O calor é absorvido à medida que o ar de exaustão atravessa a matriz, durante a primeira meia rotação, e libertado para o ar de insuflação durante a segunda meia rotação, tudo isto num processo contínuo;

- *Automatic On/Off* – É uma funcionalidade utilizada em cenários onde o *setpoint* definido pode sofrer uma variação constante. Sempre que o valor da variável controlada se encontra abaixo ou acima do *setpoint* definido, o sistema é acionado. O valor da variável controlada é introduzido por controladores de diversos parâmetros, como é exemplo o controlo da temperatura no espaço a climatizar. Tem como principal objetivo garantir que a unidade RTU está otimizada para as diversas situações, garantido o conforto e a eficiência energética [31];
- Volume de ar variável (VAV – *Variable Air Volume*) – é uma funcionalidade que permite reduzir os consumos de ventilação das unidades RTU, na medida em que o caudal de ar total insuflado é apenas o estritamente necessário para remover a carga térmica do espaço, ou para garantir os níveis de qualidade interior [20], [32].

No sistema AVAC é possível ter controlos de parâmetros proporcionais e integrais. No caso aplicado às unidades RTU, os controladores usam *loops* de controlo PI (Proporcional-Integral) para otimizar o sistema AVAC e oferecer uma variedade de funções como o pré-aquecimento, aquecimento matinal, controlo do nível de CO₂ e controlo de pressão estática [33].

2.7.2 Controlo dos fornos e outros equipamentos

Os fornos são controlados por sistemas de gestão centralizados. Neste tipo de sistema é possível definir parâmetros de funcionamento, potência, temperatura, entre outros. Existe sempre a hipótese de o sistema ser controlado manualmente, gerando uma forte probabilidade de existirem desperdícios energéticos. Os restantes equipamentos presentes numa loja de retalho alimentar, essencialmente na área de vendas, incluem-se também no mesmo sistema de gestão centralizado ou, dependendo do equipamento, num controlo manual.

2.7.3 Controlo da iluminação

Os sistemas de iluminação dos edifícios de retalho alimentar estão pensados e executados para poderem suprir as necessidades de um grande número de utilizadores daqueles espaços, quer sejam os que ali trabalham quer sejam aqueles que ali se dirigem para obter os produtos e serviços disponibilizados. Todos requerem diferentes exigências de iluminação, pelo que é de extrema importância dar cada vez mais atenção ao aproveitamento da iluminação natural, utilizando-a da forma mais eficiente possível. Para se reduzirem os consumos de energia recorre-se a sistemas de controlo de iluminação, que segundo normas internacionais de eficiência energética, como a ASHRAE 90.1-2016 [34], propõe várias estratégias para que se adotem controlos

automatizados dos circuitos de iluminação, reduzindo assim o impacto nos consumos dos descuidos dos utilizadores que se traduzem sempre em consequentemente desperdícios de energia.

Estas estratégias têm como objetivos criar pontos centrais, conseguindo assim que estes sistemas sejam desligados nas horas de não funcionamento, mas também o controlo individualizado de cada espaço que seja ocupado. Isto é possível com auxílio de sistemas de controlo como reguladores de fluxo, sensores de luminosidade e sensor de presença e a referida anteriormente, gestão técnica centralizada. Na Figura 2.16 é apresentado um exemplo didático de um sensor de luz e do seu funcionamento.

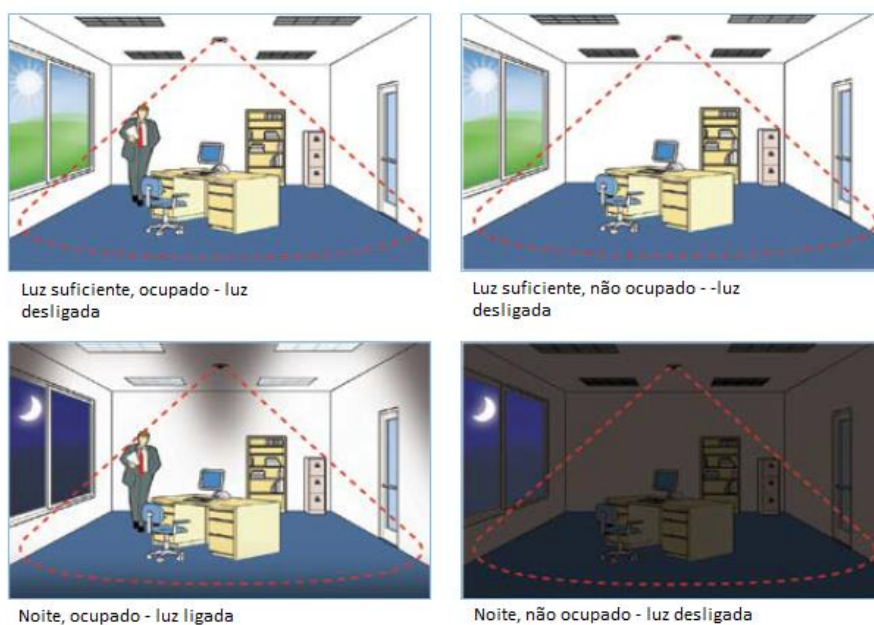


Figura 2.16 - Exemplo de uma aplicação de um sensor de luz

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Loja padrão
- 3.2 Construção da loja padrão
- 3.3 *Targets* definidos para a loja padrão

3 Desenvolvimento

As necessidades energéticas e consumos dos vários sistemas de uma loja de retalho alimentar estão relacionados com vários fatores inerentes à loja e aos seus constituintes. Entre eles estão:

- Localização do edifício e conseqüente condições de temperatura;
- Fator de forma do edifício;
- Área;
- Elementos construtivos;
- Ocupação;
- Iluminação;
- *Setpoints* do sistema AVAC;
- Equipamentos instalados;
- Controlo dos diversos equipamentos;

De modo a minimizar e otimizar os consumos energéticos e chegar aos targets finais torna-se importante conhecer o impacto destes fatores no edifício de retalho alimentar.

3.1 Loja padrão

A loja padrão representa um modelo geométrico computacional. A ideia de ter uma ferramenta capaz de facilitar a deteção de falhas na operação das lojas a serem auditadas pela empresa, deu origem à criação de uma loja padrão que fosse de encontro às características das 29 lojas abordadas no capítulo 2. Através da análise das áreas, layout do espaço, medição do fator de forma, características da envolvente e quantidade de zonas técnicas presentes nestas lojas, foi possível compilar uma base de dados de todas as características presentes. Apesar das dimensões das diferentes zonas estarem definidas para a loja padrão em função de uma análise média das 29 lojas estudadas, este facto não limita a sua utilização como ferramenta de cálculo. Caso as lojas reais que possam vir a ser analisadas apresentem dimensões diferentes, é feito um ajuste do indicador em função da área da loja.

A simulação detalhada dos consumos energéticos para a loja padrão foi feita no *software* IES-VE onde todos os parâmetros, bem como os sistemas energéticos têm de ser definidos criteriosamente. Ao longo deste capítulo será feita uma descrição detalhada de todos os critérios escolhidos e posteriormente colocados no IES-VE.

3.2 Construção da loja padrão

3.2.1 Localização e horário de funcionamento

Os primeiros parâmetros a ter em consideração foram a localização da loja padrão e o seu horário de funcionamento. A localização da loja padrão tem a característica de poder corresponder à localização da loja real que esteja a ser alvo de avaliação. O mesmo acontece com o horário de abertura ao público. Este processo virtual de simulação tem a vantagem de a loja padrão conseguir ser adaptada para qualquer local e com qualquer horário de funcionamento. Com o aconselhamento dos engenheiros da Edifícios Saudáveis definiu-se os primeiros parâmetros para a simulação, coincidente com a primeira loja que futuramente será analisada, de forma a simplificar o número de simulações.

3.2.2 Layout da loja padrão

Este edifício tem o propósito de representar uma loja com a maior similitude possível com uma loja real do ponto de vista geométrico. Para tal, foram novamente analisadas as 29 lojas mencionadas anteriormente, sendo que desta vez o alvo de análise a relação das áreas e proporções dos diferentes tipos de espaços, como a zona de vendas, armazéns refrigerados, câmaras frigoríficas e laboratórios de preparação.

Logo de início, no universo das lojas analisadas, foi necessário diferenciar o facto de a loja ser *standalone* ou *built-in*. A diferença entre estas duas tipologias foi abordada no Capítulo 2. Após análise dos dados obtidos decidiu-se construir um supermercado *standalone* uma vez que esta tipologia representava a maioria das lojas analisadas.

Para ser possível chegar a um valor das áreas das zonas de vendas e de armazém foi necessário fazer uma relação entre o comprimento e a largura das lojas analisadas. Desta maneira foi possível obter uma relação de comprimento/largura de 1,7. Com isto selecionou-se uma área de zona de vendas de 5000 m² como ponto de referência para a criação da loja padrão virtualmente, sendo que este é um bom compromisso pois encontra-se na média da área de zona de vendas das lojas reais.

De salientar que, para o armazém seguiu-se o mesmo princípio, mas tendo o cuidado de medir nas plantas reais das lojas em análise alguns aspetos importantes. A constituição do armazém é mais complexa que a da zona de vendas. É lá que se encontram as câmaras positivas e negativas, laboratórios de preparação e também corredores climatizados. Estas dimensões eram necessárias para acrescentar à base de dados das 29 lojas analisadas para que fosse possível construir algo semelhante dentro dos mesmos parâmetros, incorporando-o depois no armazém do *layout* criado. De maneira a criar um cenário o mais semelhante possível com a realidade, acrescentou-se ao *layout*

uma loja externa e a zona correspondente à frente da zona de vendas denominada como galeria comercial.

O *layout* foi construído com o auxílio do *software AutoCad* para depois ser importado para o programa de simulação IES-VE. Neste passo de importação de geometrias foi necessário fornecer *inputs* de pé direito para garantir que fosse extrudidos pelo *software* com as medidas pretendidas. De seguida, na Figura 3.1 e 3.2 são apresentados os *layouts* em 2D e 3D, respetivamente.

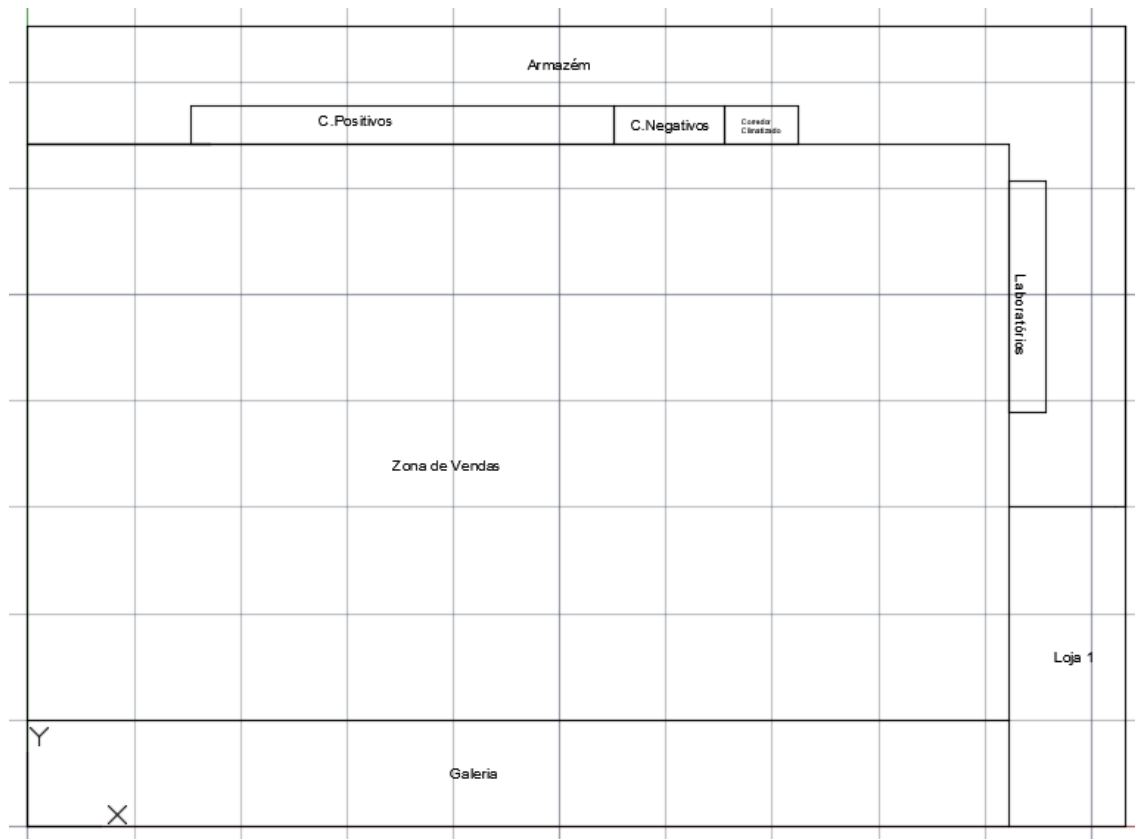


Figura 3.1 - Planta da loja padrão

Para além dos espaços como a zona de vendas e o armazém foi necessário acrescentar ao *layout* dois espaços. Estes dois espaços, a galeria e a loja 1 foram introduzidos na planta, visto a loja padrão ser *standalone* e desta forma aproximar o *layout* à realidade.



Figura 3.2 - Layout 3D da loja padrão

A vista 3D foi inserida na dissertação de forma a salientar aspetos como as claraboias, que de outra forma não seriam possíveis visualizar.

3.2.3 Elementos Construtivos

Para a constituição construtiva da loja padrão estudaram-se todos os elementos presentes no universo das 29 lojas já conhecidas. Para tal, recorreu-se aos certificados energéticos das auditorias feitas pela empresa ESC de forma a compilar os materiais mais usados nestas lojas. Após esta recolha selecionou-se o melhor cenário para cada elemento. Na Tabela 3.1 são apresentadas as várias divisões existentes na loja padrão, e a constituição escolhida para cada uma delas.

Tabela 3.1 - Elementos construtivos

Divisória	Constituição	U [W/m²*K]
Parede Exterior	Parede constituída do exterior para o interior por revestimento reboco tradicional de 2 cm, bloco de betão normal de 15 cm, isolamento térmico EPS de 4 cm, bloco de betão normal de 10 cm	0,60
Parede Interior	Parede constituída por bloco de betão normal de 20 cm	2,13
Cobertura	Cobertura constituída do exterior para o interior por revestimento em PVC com 3 cm, isolamento térmico em lã de rocha com 4 cm e betão armado com 40 cm	0,60
Pavimento	Pavimento constituído por revestimento em material cerâmico com 0,5 cm, camada de forma em betonilha de 5 cm e betão armado com 50 cm	1,68
Parede Câmara Negativa	Constituída por revestimento em alumínio 1 cm, 10 cm de XPS e novamente uma folha de alumínio de 1 cm	0,16
Parede Câmara Positiva	Constituída por revestimento em alumínio 1 cm, 6 cm de XPS e novamente uma folha de alumínio de 1 cm	0,28
Parede Laboratórios	Constituída por revestimento em alumínio 1 cm, 6 cm de XPS e novamente uma folha de alumínio de 1 cm	0,28
Parede Corredor Climatizado	Constituída por revestimento em alumínio 1 cm, 6 cm de XPS e novamente uma folha de alumínio de 1 cm	0,28
Claraboia (vãos envidraçados horizontais)	Constituído por vidro simples fosco com caixilharia metálica	4,1 com FS de 0,82

Ao analisar o universo das lojas é possível perceber que o elemento dos vãos envidraçados verticais quase não existe (< 1%), pelo que foi desconsiderado. Já o elemento dos vãos envidraçados horizontais (claraboias) existe em cerca de 50% das lojas. Tendo em conta este dado, foi calculado um rácio entre o valor da área das claraboias e o valor da área da zona de vendas. Concluiu-se então que 5% dessa área correspondia à área de claraboias. Com este valor aplicou-se o rácio obtido à área de zona de vendas do modelo, obtendo como resultado 250 m².

Esta definição dos vários elementos construtivos foi necessária porque, apesar da loja padrão ser apenas uma ferramenta virtual para o auxílio no cálculo dos consumos, necessita que seja o mais rigorosa possível na sua construção e otimização, para que quando forem feitas as comparações com as lojas reais seja possível representar todos os parâmetros com exatidão.

3.2.4 Ganhos internos

Após ter sido construído virtualmente com a definição das áreas e dos elementos construtivos, o procedimento da simulação no *software* IES passou pela concretização de um modelo energético para a loja padrão.

Para o efeito, foram atribuídos valores padrão a parâmetros que influenciam as condições interiores da loja tais como, o perfil de ocupação, o perfil de iluminação, o perfil dos equipamentos e as renovações de ar por hora.

Procurou-se definir os *targets* de cada parâmetro para os inserir posteriormente no IES juntamente com os perfis indicados.

3.2.4.1 Perfil e densidade de iluminação

O perfil de iluminação da loja padrão foi definido a partir dos dados obtidos através de auditorias energéticas efetuadas pela empresa ESC e da potência de iluminação instalada na área de vendas das lojas.

Uma vez que a potência elétrica da iluminação fluorescente é bastante superior à da iluminação LED, e tendo em conta que no universo de lojas auditadas existem lojas com iluminação totalmente em LED (*full* LED) e iluminação mista (fluorescente + LED), foi necessário dividir as lojas por categorias de iluminação. Não foi possível recolher dados de lojas que recorram somente a iluminação fluorescente visto que a sua utilização está a cair em desuso.

Depois de conhecidos os valores, foram determinadas, a partir das plantas destas lojas, as áreas da zona de vendas das mesmas e, posteriormente, calculados os valores da densidade de iluminação LED e mista em W/m^2 . Os valores padrão da densidade de iluminação resultam da média das 29 lojas analisadas para cada tipo de iluminação, representando-se na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Valores da densidade de iluminação na zona de vendas

Iluminação	Valor [W/m^2]
LED	13,6
Mista (fluorescente + LED)	17,5

Em função da tecnologia usada na loja em análise, os targets são obtidos em função da tecnologia usada.

Para a obtenção do perfil de iluminação (taxa de iluminação diária) começou-se por ter em foco o horário de funcionamento definido para a loja padrão. Concomitantemente, tiveram de ser considerados horários de reposição da loja e de limpezas, tendo sido concluído, através de levantamentos de dados relativos às 29 lojas analisadas, que os períodos seriam considerados das 6:00h às 8:30h e das 23:15h às 24:00h. Na Tabela 3.3, é apresentada a taxa de iluminação da zona de vendas.

Tabela 3.3 - Taxa de iluminação da zona de vendas

Iluminação A.Vendas			
Horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	5%	5%	5%
1h as 2h	5%	5%	5%
2h as 3h	5%	5%	5%
3h as 4h	5%	5%	5%
4h as 5h	5%	5%	5%
5h as 6h	5%	5%	5%
6h as 7h	30%	30%	30%
7h as 8:30h	30%	30%	30%
8:30h as 9h	100%	100%	100%
9h as 10h	100%	100%	100%
10h as 11h	100%	100%	100%
11h as 12h	100%	100%	100%
12h as 13h	100%	100%	100%
13h as 14h	100%	100%	100%
14h as 15h	100%	100%	100%
15h as 16h	100%	100%	100%
16h as 17h	100%	100%	100%
17h as 18h	100%	100%	100%
18h as 19h	100%	100%	100%
19h as 20h	100%	100%	100%
20h as 21h	100%	100%	100%
21h as 22h	100%	100%	100%
22h as 23:15h	100%	100%	100%
23:15h as 24h	30%	30%	30%

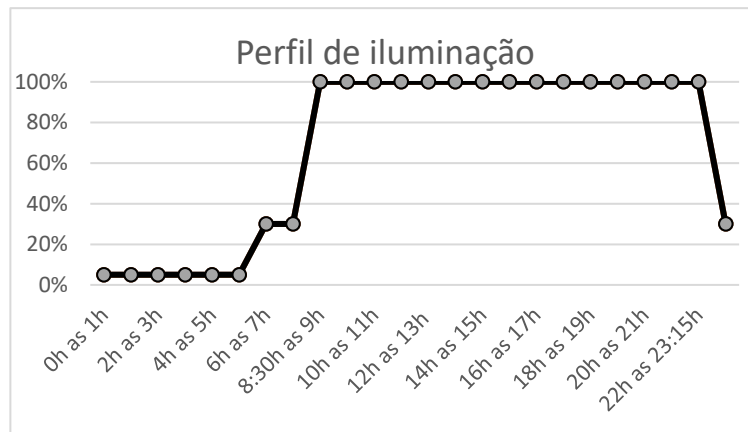


Gráfico 3.1 - Perfil de iluminação da zona de vendas

Como se pode verificar pela análise da Tabela 3.3 e do Gráfico 3.1 dela resultante, as taxas de iluminação em cada hora são iguais para todos os dias da semana, o que dá origem a um perfil único da variação diária.

Para além da iluminação da zona de vendas foi necessário considerar e definir um perfil de iluminação para o armazém. Analisando as 29 lojas foi mais uma vez possível definir os valores padrões de iluminação da média das lojas analisadas como se pode observar na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Valores da densidade de iluminação para o armazém

Iluminação	Valor [W/m^2]
LED	3,6
Mista (fluorescente + LED)	5,4

Para a obtenção do perfil de iluminação do armazém, considerou-se que o seu horário de funcionamento seria igual ao da zona de vendas, alterando apenas a taxa de iluminação de 30% para 50% nas horas de reposição, resultando no perfil demonstrado no Gráfico 3.2.

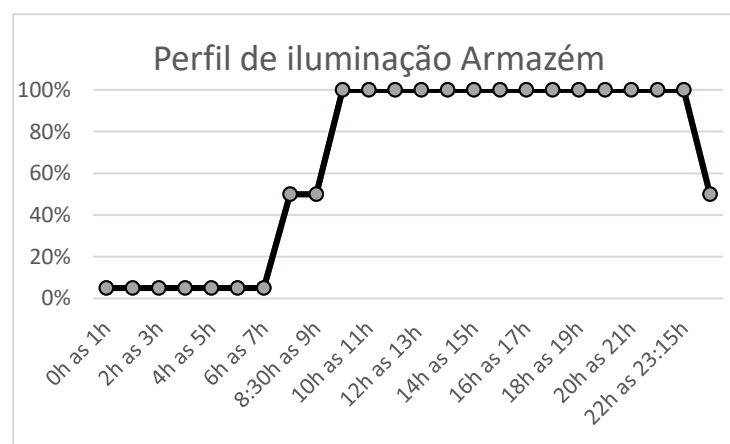


Gráfico 3.2 - Perfil de iluminação do armazém

3.2.4.2 Perfil e densidade de ocupação

A densidade de ocupação está relacionada com o espaço de uma sala onde pode ocorrer ocupação humana [35]. Devido à inexistência e à dificuldade de obter os dados reais provenientes de auditorias referentes à densidade real de ocupação das lojas de retalho alimentar devido a dificuldade de monitorização contínua da quantidade de pessoas dentro da loja em cada instante, optou-se por considerar inicialmente os 5 m²/ocupante definidos pelo RSECE [35]. Este valor representa o valor normalmente utilizado na fase de projeto, na qual se escolhem os valores sobredimensionados de modo a representar os cenários mais críticos. No entanto, este valor nunca se atinge. Como se procurou representar todos os fatores o mais aproximados possível dos de uma loja real de retalho alimentar, alterou-se a densidade de ocupação para um *target* de 12,5 m³/ocupante, por se considerar um valor que reflete melhor a realidade e está mais próximo das densidades de ocupação praticadas nas lojas reais. Importa ainda referir que a área de ocupação da zona de vendas representa tanto o espaço livre como o espaço ocupado com expositores de produtos sendo que, somente o espaço livre, é passível de ser ocupado pelos clientes.

Para a escolha do perfil de ocupação foi consultado o RSECE que evidenciou apresentar valores para as taxas de ocupação demasiado otimistas, tendencialmente afastados dos valores das taxas de ocupação reais. Deste modo, foi consultada uma base dados criada e utilizada pelos engenheiros da empresa designada *COMNET*, na qual estão definidas taxas de ocupação para vários tipos de edifícios de comércio e serviços. Sendo que ao contrário da iluminação, a ocupação varia consoante os dias úteis da semana, os sábados e os domingos e feriados, variando também conforme as horas do dia.

Com esta informação, criou-se um perfil que fosse de encontro à realidade das lojas de retalho alimentar. De seguida é apresentado o Gráfico 3.3 e a Tabela 3.5 com a taxa de ocupação para os vários dias da semana.

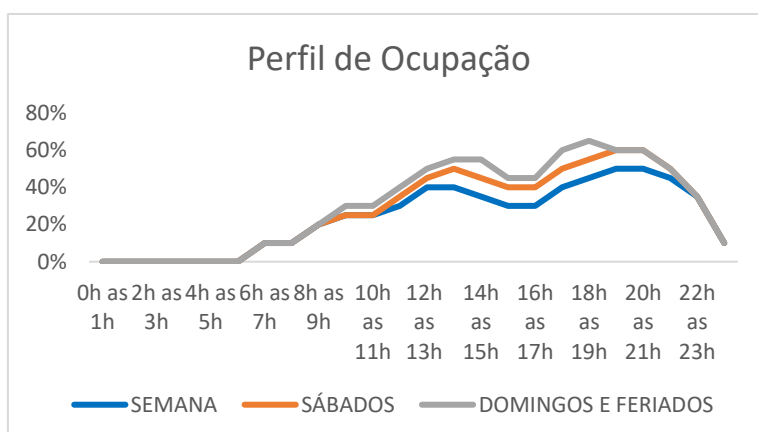


Gráfico 3.3 - Perfil de ocupação

Tabela 3.5 - Taxa de ocupação

Taxa de Ocupação [%]			
Horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	0%	0%	0%
1h as 2h	0%	0%	0%
2h as 3h	0%	0%	0%
3h as 4h	0%	0%	0%
4h as 5h	0%	0%	0%
5h as 6h	0%	0%	0%
6h as 7h	10%	10%	10%
7h as 8h	10%	10%	10%
8h as 9h	20%	20%	20%
9h as 10h	25%	25%	30%
10h as 11h	25%	25%	30%
11h as 12h	30%	35%	40%
12h as 13h	40%	45%	50%
13h as 14h	40%	50%	55%
14h as 15h	35%	45%	55%
15h as 16h	30%	40%	45%
16h as 17h	30%	40%	45%
17h as 18h	40%	50%	60%
18h as 19h	45%	55%	65%
19h as 20h	50%	60%	60%
20h as 21h	50%	60%	60%
21h as 22h	45%	50%	50%
22h as 23h	35%	35%	35%
23h as 24h	10%	10%	10%

3.2.4.3 Equipamentos

Relativamente aos equipamentos era necessário fazer a distinção dos vários grupos que podem existir. Por terem características diferentes, é interessante conseguir um perfil de funcionamento ajustado a cada secção de uma loja de retalho alimentar como é o caso do talho, da padaria, da peixaria e da charcutaria.

Para conseguir esses perfis de funcionamento, foi necessário voltar a recorrer ao universo de lojas analisadas e recolher dados sobre o tipo de equipamento, a gás ou elétrico, função a que se destina e também a potência utilizada. Durante este processo foi notório que poucas lojas continham esta informação disponibilizada nas plantas dos edifícios.

Aproveitando os dados que algumas lojas possuíam e tendo em conta os perfis de funcionamento, foram criados os seguintes grupos para os equipamentos existentes:

- Equipamentos a gás – Os equipamentos a gás são os fornos da padaria, que como já vimos representam uma parte considerável do consumo, salientando que nem todas as lojas optam por utilizar fornos a gás. Todos os restantes grupos apresentam equipamentos elétricos.
- Equipamentos da padaria – Neste grupo estão os restantes equipamentos da padaria como máquinas de embalar, cortadoras, máquinas de fermentação, etc.
- Equipamentos da peixaria – Aqui encontram-se equipamentos como cozedoras de marisco, serras de peixe, escamadoras etc.
- Equipamentos da charcutaria – Neste grupo podemos encontrar o grelhador rotativo de frangos, grelhadores de carnes, lâminas cortadoras etc.
- Equipamentos do talho – No talho encontram-se as máquinas cortadoras de carne, máquinas depeladoras, máquinas trituradoras etc.

Após esta divisão de equipamentos estar definida, faltava criar os perfis de forma a que representassem a realidade. Para tal usou-se uma ferramenta designada de *CheckWatts*, que nada mais é que uma base de dados de todos os consumos a gás e elétricos presentes nas lojas de retalho alimentar com as quais a empresa ESC trabalha ou já trabalhou. Vários contadores com Wi-Fi recolhem dados dos vários parâmetros e são capazes de os apresentar graficamente em tempo real, por hora, minuto ou ano. Cada loja apresenta contadores por grupos de equipamentos, daí a divisão dos equipamentos ser necessária.

Através desta ferramenta foi possível analisar as 29 lojas reais e criar os perfis e definir os targets necessários para o supermercado padrão. Tal como a ocupação, os equipamentos têm um perfil de funcionamento consoante o dia da semana. De seguida serão apresentados os perfis de funcionamento dos vários grupos de equipamentos.

Equipamentos a gás:

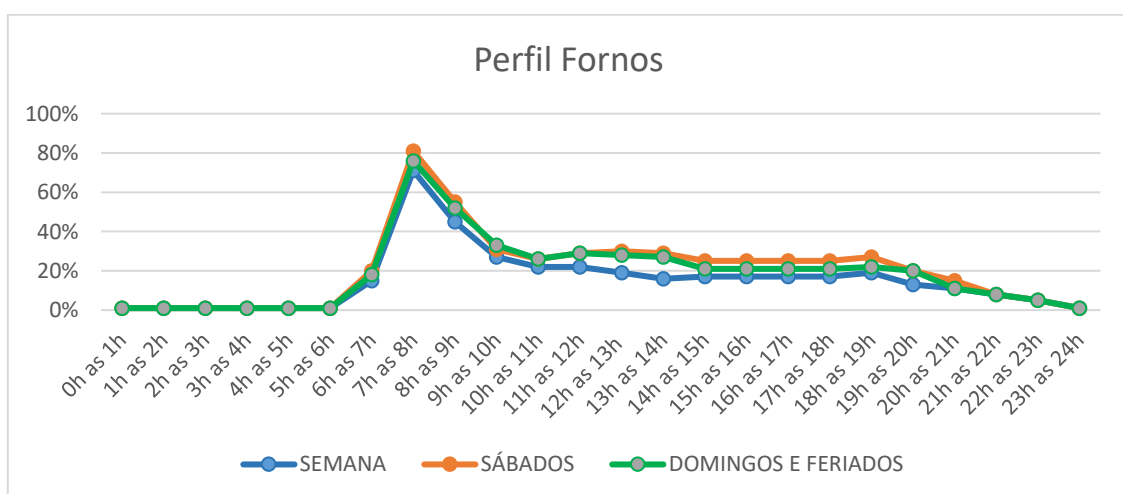


Gráfico 3.4 - Perfil dos equipamentos a gás

Este perfil é importante para podermos fazer a distinção do funcionamento entre os equipamentos da padaria que funcionam a gás ou a eletricidade. Sabendo que os fornos da padaria são equipamentos com consideráveis consumos energéticos, é importante conhecer os períodos de maior funcionamento, registar os seus picos e, se necessário, detetar possíveis desperdícios. Como se pode observar no Gráfico 3.4 os fornos da padaria são ligados por volta das 7h:00 e atingem o pico de funcionamento por volta das 8h:45, sendo que isto pode sofrer pequenos desvios ao longo do dia e consoante os dias da semana. A partir das 9h:00, os fornos vão gradualmente diminuindo a sua temperatura até às 12h:00, sensivelmente. Fora dos picos de utilização, as necessidades de utilização dos fornos da padaria podem variar, não se esperando consumos superiores a 30% da potência total dos fornos. Note-se que o *target* dos fornos da padaria foi de 22,6 kWh/m² ano, valor calculado fazendo a média do consumo específico das várias lojas que tinham estes equipamentos.

Equipamentos da padaria:

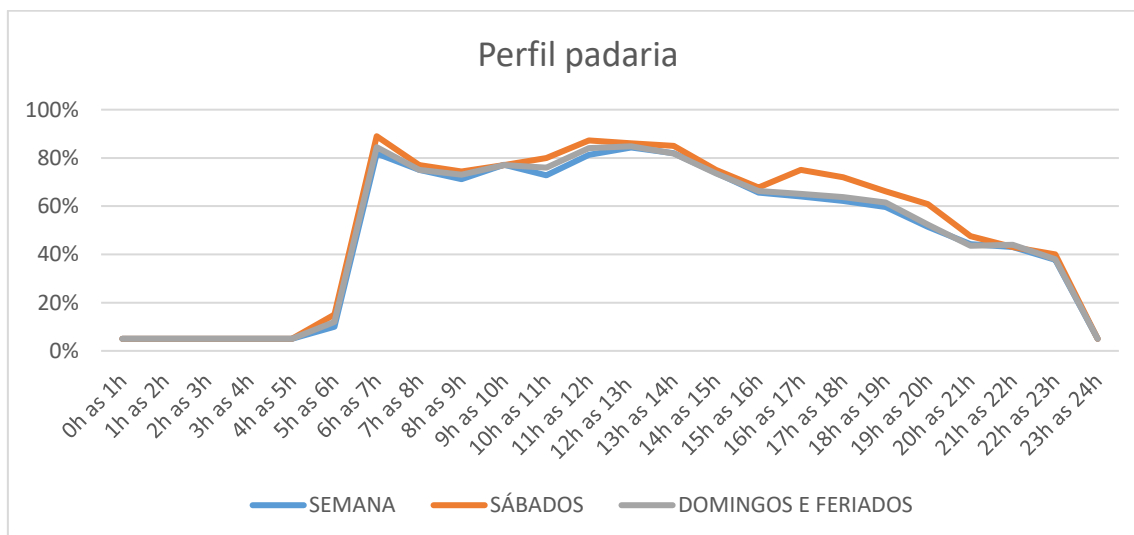


Gráfico 3.5 - Perfil dos equipamentos da padaria

No perfil de funcionamento da padaria encontram-se os restantes equipamentos que operam neste local. Durante o horário de abertura da loja, estes equipamentos apresentam, tal como os fornos, um pico de consumo por volta das 7h:00, sendo que, apesar de apresentar poucas variações, vai decrescendo até ao encerramento da loja. O *target* da padaria obtido foi de 3,4 kWh/m² ano.

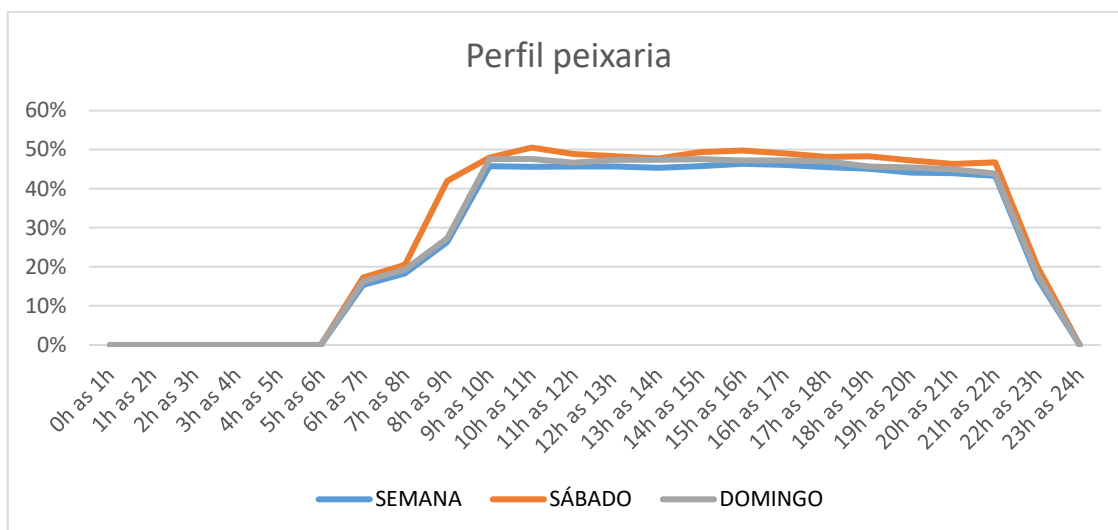
Equipamentos da peixaria:

Gráfico 3.6 - Perfil dos equipamentos da peixaria

Na peixaria, ao contrário da padaria, o pico mais elevado de consumo ocorre aos sábados por volta das 12h:00, diferindo dos restantes dias da semana que registam esse máximo de consumo por volta das 11:00. No resto do dia, o consumo mantém-se praticamente constante até à hora do encerramento. O *target* da peixaria obtido foi igual ao da padaria, 3,4 kWh/m² ano.

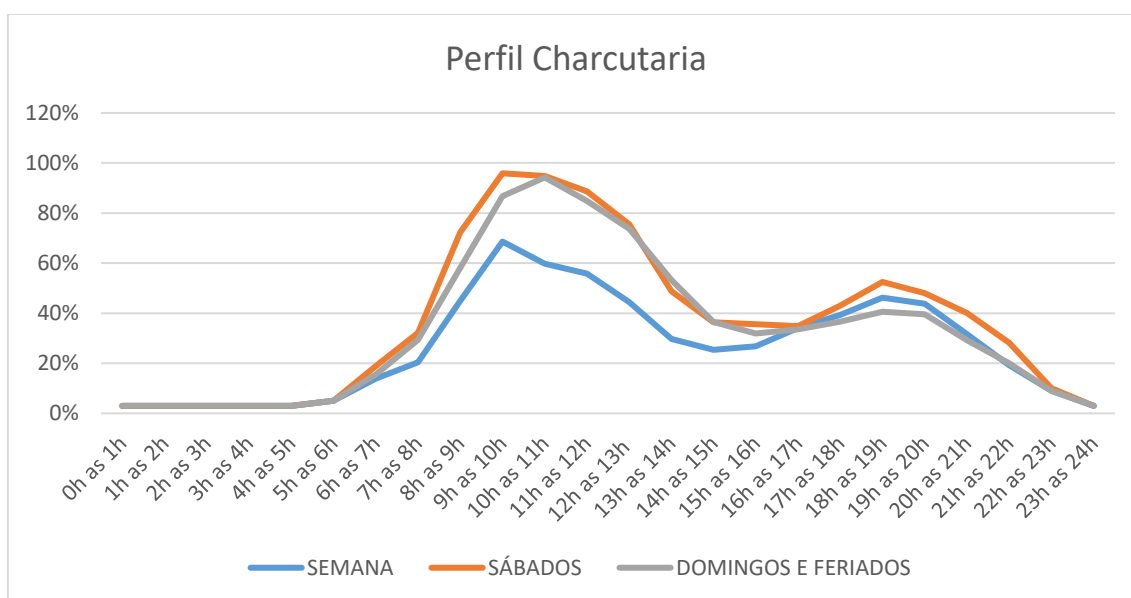
Equipamentos da charcutaria:

Gráfico 3.7 - Perfil de equipamentos da charcutaria

Na charcutaria é possível identificar dois picos distintos. O primeiro acontece por volta das 11h:00 e o segundo, apesar de menor, por volta das 19h:00. A charcutaria tem a particularidade de ser dos vários grupos aquele que atinge valores de consumo perto do limite máximo. O *target* da charcutaria foi de 16,6 kWh/m² ano.

Equipamentos do talho:

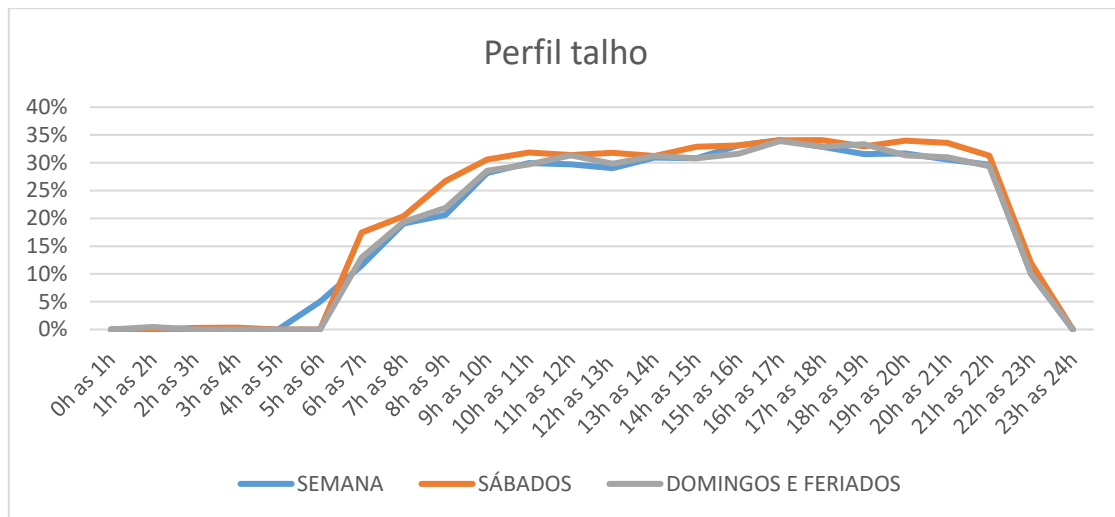


Gráfico 3.8 - Perfil dos equipamentos do talho

Neste perfil da loja padrão, o consumo máximo previsto nunca ultrapassou 35% do consumo total. Existem poucas variações ao longo do período em que está aberta ao público. O *target* definido para o talho foi de 5,1 kWh/m² ano.

3.2.4.4 Sistema de frio

Apesar de se definir que o sistema de frio não seria abordado nesta dissertação, foi necessário considerá-lo para os ganhos internos, de forma a representar o mais próximo possível a realidade. Para tal, foi essencial criar um sistema de frio virtual para que se pudesse realizar a simulação dinâmica da loja padrão. Com isto, o objetivo seria replicar situações de mudança de temperatura influenciadas pelos móveis e murais na zona de vendas.

A modelação da rede de frio no *software IES* teve como base a obtenção, para as condições de temperatura e humidade interiores da loja, das necessidades térmicas geradas por essas mesmas condições. Para tal foi necessário dividir a rede de frio em dois circuitos independentes, o circuito de positivos e o circuito de negativos, com equipamentos com diferentes capacidades e diferentes caudais de fluido frigorigéneo nos circuitos. Na Figura 3.3 é apresentado o sistema de frio representado no *software IES-VE*.

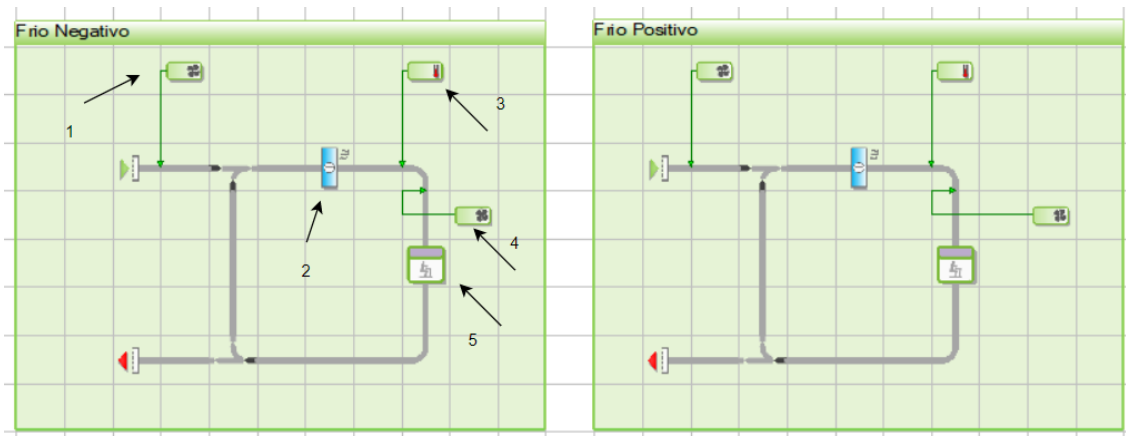


Figura 3.3 - Sistema de frio representado no *software IES-VE*

O controlador 1 regula o caudal de fluido refrigerante que é admitido na rede de frio. Como as redes de frio operam com um caudal de fluido refrigerante constante, este controlador tem como função anular a entrada de fluido para a rede, que funcionará com a recirculação total de fluido. O controlador 4 permite definir o caudal de fluido que circula em cada circuito. O sensor 3 diz respeito à temperatura a que se pretende refrigerar os expositores. Para o circuito de móveis positivos foi escolhida uma temperatura de -2°C , enquanto que para o circuito de expositores negativos selecionou-se uma temperatura de -20°C . A serpentina de arrefecimento 2 permite regular a capacidade de refrigeração. Por último, o número 5 simboliza o espaço (móveis) a refrigerar, que por sua vez representam carga térmica para o espaço.

3.2.4.5 IPH (infiltrações por hora)

As diferenças de pressão e de temperatura que se criam entre o exterior e o interior nas superfícies das faces da envolvente da loja, levam a que existam trocas de ar entre o ambiente interior e o exterior não controláveis, podendo levar a infiltrações ou a exfiltrações. A abertura/fecho das portas de comunicação com o exterior e com os armazéns, que, tipicamente, têm portões abertos para cargas/descargas, bem como frinchas, são os principais meios de trocas de ar não controláveis. Estes fluxos de ar são designados de infiltrações, e levam a renovações do ar não controladas que estão associadas à introdução de carga térmica na loja [28].

As IPH dizem, por isso, respeito ao ar exterior que é introduzido na loja. A determinação do valor das IPH está associada à contabilização dos fluxos de ar que são introduzidos segundo as normas da ASHRAE, e é dada pela equação 3 [28].

A obtenção do valor das IPH é um processo complexo, muitas vezes inconclusivo, que inclui o conhecimento de certas características da loja, como o número (N) e área (A) das portas, o tempo de abertura e o fecho das mesmas (θ_p), o tempo que permanecem

abertas (θ_0), o número de passagens (P), a eficiência do dispositivo de proteção das portas (E) e o número de horas diárias que a loja está em funcionamento (θ_d).

$$q_t = qD_t D_f (1 - E) \quad (3)$$

O fator de abertura das portas, D_t , representa a porção decimal do tempo que a porta está aberta. Para um uso constante, irregular e cíclico das portas, o D_t pode ser calculado segundo [28]:

$$D_t = \frac{P \theta_p + 60 \theta_0}{3600 \theta_d} \quad (4)$$

As dimensões das portas foram calculadas a partir das plantas das 29 lojas estudadas, sendo que os valores finais resultam da média destas lojas. Tanto os tempos de abertura e o fecho das portas foram valores aconselhados pelos engenheiros da empresa. Quer a abertura quer o fecho das portas têm a mesma duração - cinco segundos - sendo que o total do tempo de abertura e de fecho é o resultado da sua soma (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Parâmetros relacionados com as portas dos supermercados

Parâmetros	Valor
θ_p (segundos)	10
θ_0 (segundos)	7
θ_d (h)	18

O fator do escoamento na porta, D_f , corresponde à taxa de ar que é trocado para atingir um escoamento completamente estabelecido. Um fluxo completamente estabelecido ocorre em casos pouco habituais nos quais uma porta é deixada aberta para um espaço largo ou para o exterior, sem que o ar frio exterior seja impedido de entrar por obstáculos. O valor recomendado pela ASHRAE para uma porta com aberturas cíclicas que opera entre diferenças de temperaturas exteriores e interiores inferiores a 11°C é de 1,1. Nesta análise, devido ao desconhecimento dos dados relativos à eficiência dos dispositivos de proteção das portas, foi admitido que estas não estavam equipadas com os mesmos. Assim, E toma um valor nulo.

Por sua vez, as cargas térmicas totais (sensíveis e latentes) estão relacionadas com as massas volúmicas e entalpias do ar exterior proveniente das infiltrações (ρ_i e h_i) e do ar interior climatizado (ρ_r e h_r), e o seu valor é dado por [28]:

$$q = 0,221A(h_i - h_r)\rho_r \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{0,5} (gH)^{0,5} F_m \quad (5)$$

As entalpias e massas volúmicas quer do ar exterior, quer do ar interior, foram aproximadas para as situações em que se obtinham as maiores cargas térmicas. Admitindo que os casos extremos de diferenças de entalpias e massas volúmicas entre o exterior e o interior acontecem para as maiores diferenças de temperatura e humidade exteriores e interiores, que ocorrem normalmente no Verão, considerou-se uma temperatura e humidade relativa exterior de 30°C e 40% e uma temperatura e humidade relativa interior de 22°C e 60%, respetivamente. Conhecendo estas variáveis, foram obtidos pelo diagrama psicrométrico os valores da entalpia e massa volúmica. A Tabela 3.7 mostra todos os valores utilizados nesta análise.

Tabela 3.7 - Valores utilizados no cálculo das cargas térmicas totais

Condições	Temperatura [°C]	Humidade relativa [%]	Entalpia [kJ/kg]	Massa volúmica [kg/m ³]
Interior	22	60	47,27	1,18
Exterior	30	40	57,3	1,15

O fator de densidade, F_m , está relacionado somente com as massas volúmicas do ar que entra e do ar interior, e é dado por [28]:

$$F_m = \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{\frac{1}{3}}} \right]^{1,5} \quad (6)$$

Depois de conhecidos todos os valores das variáveis que dizem respeito às cargas térmicas por infiltrações, foi calculado o valor para cada porta. Aqui foi considerado que todas as portas tinham as dimensões que permite aos clientes o acesso a loja. Foram

negligenciadas propositadamente as dimensões das portas de emergência e de acesso ao armazém devido à inexistência de dados que permitissem calcular o valor destas variáveis. Embora as suas dimensões não tenham sido contabilizadas, estas portas foram tidas em conta no cálculo do número total de portas na área de vendas da loja padrão. Com o valor de 10 portas, seguiu-se o cálculo da carga térmica total, q , distribuída pelas 10 portas, com um resultado de 7,14 kWh por dia.

Estimado o valor da carga térmica trocada entre o exterior e o interior da loja, seguiu-se o cálculo do caudal volumétrico/fluxo em m^3/h , do ar que entra por infiltrações. Uma vez que para a situação adotada o aquecimento do ar interior acontece apenas por carga sensível, tornou-se necessário adotar um fator, S (em %), de modo a considerar apenas a componente sensível da carga térmica. O fator S foi obtido recorrendo ao diagrama psicrométrico, que devolveia, para as temperaturas e humidades relativas que serviram o cálculo da carga térmica, o calor sensível da carga total. Depois de conhecidas todas estas variáveis, pela equação 7 o caudal volumétrico do ar toma o valor de $2197 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$V = \frac{q S}{c_p \Delta t} \cdot \frac{3600}{\rho_r} \quad (7)$$

Finalmente, as renovações por hora (IPH) são obtidas pelo caudal de ar que entra no volume total da área de vendas. Este volume foi estimado recorrendo novamente às plantas das lojas, tomando o valor correspondente ao valor médio do total das lojas estudadas, igual a 12844 m^3 . Com isto, chegou-se às 0,17 infiltrações por hora tendo-se majorado superiormente para 0,2.

3.2.5 AVAC

O sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) permite o controlo das condições de humidade e temperatura no interior da loja, operando segundo *setpoints* mínimos e máximos de temperatura aceitáveis e definidos para loja padrão. Para a criação da ferramenta no IES e posteriormente a simulação, foi necessário definir as condições de funcionamento do sistema AVAC. Das 29 lojas analisadas 90% utiliza unidades RTU como sistema principal, pelo que foi o sistema utilizado para a loja padrão.

Nas lojas de retalho alimentar reais são normalmente utilizadas unidades RTU com funcionalidades de *free cooling*, recuperação de calor e *automatic start and stop*. Apesar de, nas lojas analisadas ser encontrada em poucas lojas (cerca de 8%), pode existir a funcionalidade de volume de ar varável. Devido a situações de má gestão de operação das unidades RTU existem casos de máquinas onde as funcionalidades não estão a ser bem aproveitadas ou encontram-se desligadas. Casos de unidades com todas as

funcionalidades mais o acréscimo do volume de ar variável. E por último, casos com máquinas a funcionar apenas com uma das funcionalidades. Salienta-se a possibilidade de uma loja possuir uma máquina com todas as funcionalidades, mas não ser operada corretamente, o que anula algumas das potencialidades do sistema. Assim, optou-se por criar vários cenários de utilização das unidades RTU, nos quais possam ser comparadas possíveis diferenças de consumo energético das várias funcionalidades.

Foi considerado que o sistema de AVAC tinha o mesmo horário de funcionamento que foi definido para a loja, ou seja, das 8h:30 até as 23h:00. No entanto, foi necessário definir os *setpoints* de temperatura interior que acionavam as baterias de aquecimento e arrefecimento. Para isso, foram escolhidos os *setpoints* de 19°C e 25°C no retorno, em todos os cenários mencionados anteriormente. Os valores escolhidos resultam de auditorias feitas pela empresa.

3.2.5.1 Cenário com unidade RTU básica

Este cenário ajuda a abranger casos de lojas onde as unidades RTU não têm nenhuma das funcionalidades ativa, trabalhando assim como unidade básica.

Na Figura 3.4, representado com o número 1, temos o ventilador que insufla o caudal de ar que circula no sistema AVAC. O ventilador representado pelo número 2 é responsável pela extração do ar do espaço. A regulação do ar no circuito é configurada no controlador 4, no qual se define o horário de funcionamento do ventilador bem como o caudal de ar total que circula em l/s. O número 3 é o controlador de ar novo da unidade que, à semelhança do controlador 4, implica a definição do caudal de ar novo e do horário de funcionamento. As baterias de arrefecimento e de aquecimento estão representadas com os números 5 e 6, respetivamente, permitem definir o tipo de serpentina que se pretende usar e as respetivas capacidades de arrefecimento e aquecimento. Os controladores representados com os números 7 e 8 permitem definir, respetivamente, os *setpoints* de arrefecimento e aquecimento, regulando assim o intervalo de temperaturas aceitáveis na área de vendas, esta última representada com o número 9.

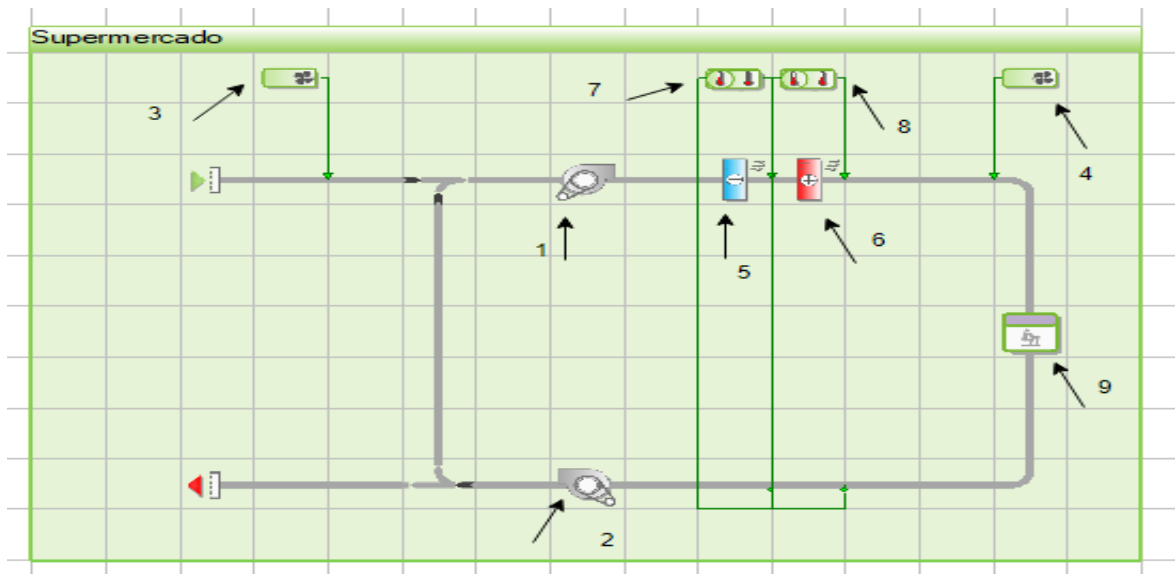


Figura 3.4 - Unidade RTU básica representada no software IES

Os parâmetros de funcionamento dos diferentes equipamentos selecionados e configurados na unidade RTU para este cenário foram dimensionados para o pior cenário possível, de forma a garantir que em qualquer situação cumprirá com todos os requisitos.

Para o cálculo do ar novo em l/s, foram utilizados dois métodos baseados na ocupação e nos poluentes com origem no edifício. O primeiro, o método descrito na ASHRAE 62.1 [13] onde as variáveis R_a [L/s·m²], R_p [L/s·pessoa] e E_z são definidas de acordo com a categoria do espaço que está a ser ocupado. Já no método prescritivo do RECS é necessário obter os caudais de ocupação, bem como o de poluentes para obter o caudal de ar novo, de tal forma que, o que fornecesse maior caudal, seria o caso mais crítico e seria o utilizado. Na Tabela 3.8 são apresentados os seguintes dados.

Tabela 3.8 - Cálculo do caudal de ar novo

Divisão	Área	Nº de pessoas	Método prescritivo ASHRAE 62.1				Método prescritivo RECS				$Q_{\text{selecionado}}$ (l/s)	
			R_a	R_p	E_z	Q (l/s)	$Q(\text{ocup})$	$Q(\text{pol})$	$Q(\text{m}^3/\text{h})$	E_z		$Q_f(\text{l/s})$
Zona de vendas	5000	1000	0,3	3,8	0,8	6625,0	24000	15000	24000	0,8	8333,3	8333,3

Para determinar o caudal total de ar na unidade RTU foi necessário calcular a carga térmica correspondente à zona de vendas recorrendo a uma simulação dinâmica intermédia no software IES-VE. Após este passo e com auxílio da equação 8, obteve-se o valor de 40952 l/s. Foi utilizado o valor para o ΔT de 10 K porque é o mais corrente para o tipo de equipamento que está a ser utilizado.

$$CT = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (8)$$

Onde:

- CT = Carga térmica [kW];
- \dot{m} = Caudal de ar novo [kg/s]
- c_p = Calor específico do ar [kJ/kg·K];
- ΔT = Diferença de temperaturas de insuflação [K];

Para o dimensionamento das potências das baterias recorre-se à carga térmica do edifício. Com as temperaturas de projeto definidas foi possível calcular as cargas térmicas de verão e de inverno, e de seguida, através de uma nova simulação intermédia, obter os valores das potências das baterias. Na Tabela 3.9 são apresentados os valores das potências obtidos.

Tabela 3.9 – Parâmetros das baterias para a loja padrão

Equipamento	Valor
Bateria de arrefecimento	Potência = 580 kW
Bateria de aquecimento	Potência = 290 kW

Relativamente ao controlo do *setpoint* de arrefecimento no ponto 7, foi definido para os 25°C um controlo proporcional e uma banda de operação de 0,5K. Isto significa que a bateria de arrefecimento tem uma gama de funcionamento de 0,5K, sendo que o centro da banda é representado pelos 24,75°C, trabalhando, assim, numa gama de valores entre os 24,50°C e os 25°C. Uma vez atingida uma temperatura de 25,25°C no interior da loja, a bateria de arrefecimento entra em funcionamento e o sistema AVAC começa a insuflar ar a 15°C para interior da loja. Quando a temperatura interior atingir os 24,50°C, a bateria desliga até que volte a ser necessário repetir o processo para nivelar as condições de temperatura. Estas condições de funcionamento estão expostas na Figura 3.5.

The screenshot shows the 'Controller' configuration window for a cooling battery. The window is divided into several sections:

- Reference:** -
- Controlled variable:** Dry-bulb Temperature
- Controlled value at max sensed value:** Constant
- Dry-bulb Temperature (°C) at Max sensed DB Temp (°C):** 15.00
- Time Switch Profile:** on continuously
- On/Off Control:**
 - Active
 - Setpoint Variation:** Constant
 - Setpoint - sensed variable (°C):** 25.00
 - Deadband (K):** 1.00
 - Action with High Sensor Input:** ON
- Proportional Control:**
 - Active
 - Midband Variation:** Constant
 - Midband - sensed variable (°C):** 24.75
 - Proportional Bandwidth (K):** 0.50
 - Max. Change per Time Step:** 0.2
 - Controlled value at min sensed value:** Constant
 - Dry-bulb Temperature (°C) at Min sensed DB Temp (°C):** 25.00

Two graphs illustrate the control logic:

- Top Graph:** Shows the ON/OFF control. The y-axis is 'Var. controlled: DB Temp' (ON/OFF) and the x-axis is 'Var. sensed: DB Temp (°C)'. The setpoint is at 25.00°C. The deadband is 1.00K, meaning the system is ON from 24.00°C to 26.00°C.
- Bottom Graph:** Shows the proportional control. The y-axis is 'Var. controlled: DB Temp' (15.00 to 25.00) and the x-axis is 'Var. sensed: DB Temp (°C)'. The midband is at 24.75°C. The bandwidth is 0.50K, meaning the system is active from 24.25°C to 25.25°C.

Figura 3.5- Controlador da bateria de arrefecimento

A bateria de aquecimento segue o mesmo princípio de operação. Desta vez, no ponto 8 com um *setpoint* definido para os 19°C, com controlo proporcional e uma largura de banda de 0,5K. Sempre que seja medida uma temperatura de 19°C no interior da loja, a bateria liga e o sistema começa a insuflar ar a 29°C. Assim que se atingem os 19,75°C, a bateria desliga até voltar a ser necessário repetir o processo. Estas condições de funcionamento estão expostas na Figura 3.6.

Controller

Reference: -

Controlled variable: Dry-bulb Temperature

Controlled value at max sensed value: Constant


Dry-bulb Temperature (°C) at Max sensed DB Temp (°C): 12.00

Sensor

Sensed variable: Dry-bulb Temperature

Radiant Fraction: 0.00

Time Switch Profile

on continuously  Select

AND/OR Connections

AND: 0 OR: 0 Edit

Allow OR inputs to override time switch?

On/Off Control

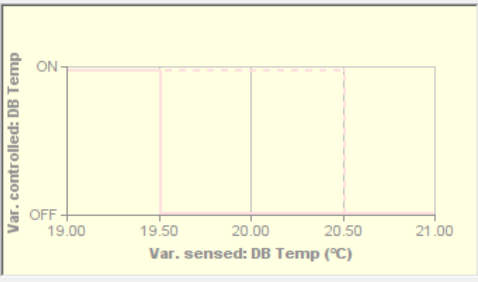
Active

Setpoint Variation: Constant

Setpoint - sensed variable (°C): 20.00

Deadband (K): 1.00

Action with High Sensor Input: OFF



Proportional Control

Active

Midband Variation: Constant

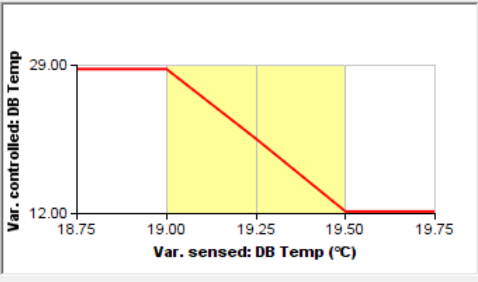
Midband - sensed variable (°C): 19.25


Proportional Bandwidth (K): 0.50

Max. Change per Time Step: 0.2

Controlled value at min sensed value: Constant

Dry-bulb Temperature (°C) at Min sensed DB Temp (°C): 29.00



Multiple Edit 

OK Cancel

Figura 3.6 - Controlador da bateria de aquecimento

Tanto o controlador da bateria de arrefecimento como o da bateria de aquecimento, serão iguais ao longo dos vários cenários apresentados, sendo que não voltarão a ser mencionados.

3.2.5.2 Cenário com uma unidade RTU apenas com *free cooling*

Free cooling numa unidade RTU consiste numa técnica de aproveitamento da entalpia do ar exterior para colmatar as cargas térmicas. Passa pelo objetivo de diminuir a temperatura do ar interior num determinado espaço usando ar naturalmente fresco, recorrendo ao ar exterior que não é termicamente tratado, ao invés do arrefecimento mecânico. Isto quer dizer que, não existe consumo energético no processo de tratamento térmico do ar, as baterias ficam desligadas e apenas os ventiladores operam [29].

A criação de cenários com funcionalidades independentes como o caso de *free cooling*, ajuda a perceber a importância e a diferença que pode fazer nos consumos energéticos de uma loja de retalho alimentar. Na Figura 3.7 é demonstrado o sistema apenas com *free cooling*.

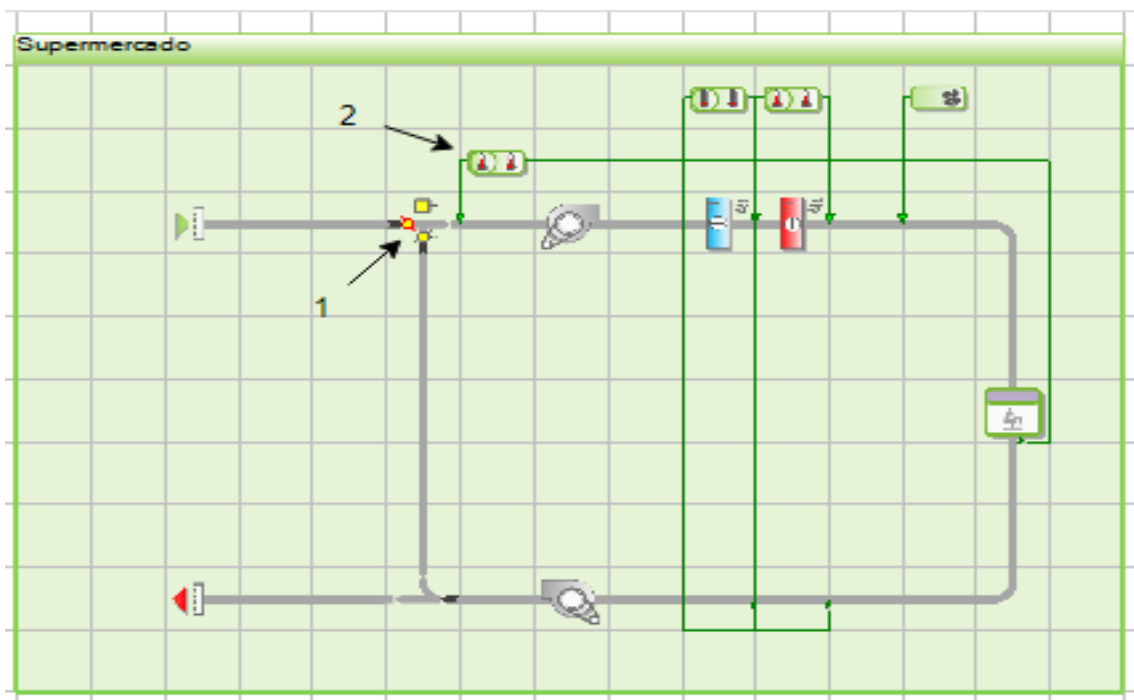


Figura 3.7 - Unidade RTU apenas com *free cooling* representada no software IES

Em termos de componentes na unidade RTU é introduzido um controlador da funcionalidade de *free cooling*, representado pelo número 2, e um ponto de registo, representado pelo número 1.

O *free cooling* funciona através da constante medição e regulação do caudal de ar exterior. Sempre que seja possível um arrefecimento sensível mais significativo para o espaço a arrefecer, o registo no ponto 1 varia a posição de abertura consoante a necessidade de insuflação de ar exterior para esse espaço. Para que esta funcionalidade

consiga operar, para além do registo, é necessário um controlador. Este com o número 2, através de um sensor no espaço a ser climatizado, mede a temperatura ambiente interior. Devido aos ganhos internos e às condições atmosféricas, quando a temperatura do ar interior for maior que a temperatura do ar exterior, as baterias de arrefecimento desligam-se e o ar exterior é insuflado para o espaço a arrefecer.

O centro da banda deste controlador é definido para os 24°C com uma gama de funcionamento de 1K. Ou seja, quando a temperatura no interior da loja exceder os 24°C o caudal é regulado para que a temperatura da combinação do caudal de ar do retorno e do caudal de ar novo seja de 15°C. Os parâmetros deste controlador de *free cooling* estão expostas na Figura 3.8.

The screenshot shows the 'Controller' configuration window with the following settings:

- Reference:** -
- Controlled variable:** Dry-bulb Temperature
- Controlled value at max sensed value:** Constant
- Dry-bulb Temperature (°C) at Max sensed DB Temp (°C):** 15.00
- Sensor:** Dry-bulb Temperature
- Sensed variable:** Dry-bulb Temperature
- Radiant Fraction:** 0.00
- Time Switch Profile:** on continuously
- AND/OR Connections:** AND: 0, OR: 0, Allow OR inputs to override time switch? (checked)
- On/Off Control:**
 - Active:
 - Setpoint Variation: Constant
 - Setpoint - sensed variable (°C): 25.00
 - Deadband (K): 1.00
 - Action with High Sensor Input: ON
- Proportional Control:**
 - Active:
 - Midband Variation: Constant
 - Midband - sensed variable (°C): 24.00
 - Proportional Bandwidth (K): 1.00
 - Max. Change per Time Step: 0.2
 - Controlled value at min sensed value: Constant
 - Dry-bulb Temperature (°C) at Min sensed DB Temp (°C): 21.00

Figura 3.8 - Controlador do *free cooling*

Com esta funcionalidade é esperada uma melhoria dos gastos energéticos associados ao arrefecimento de cerca de 38%. Consultar Tabela 3.10.

3.2.5.3 Cenário com uma unidade RTU apenas com recuperação de calor

A recuperação de calor do ar associado à unidade RTU é um método cada vez mais utilizado para reduzir as necessidades de aquecimento e arrefecimento de lojas ou edifícios. É uma funcionalidade que permite recuperar calor de forma a maximizar o conforto e a eficiência [30].

No caso deste cenário, foi necessário acrescentar ao sistema base um recuperador de calor bem como o respetivo controlador. Na Figura 3.9 é apresentado o cenário apenas com recuperação de calor.

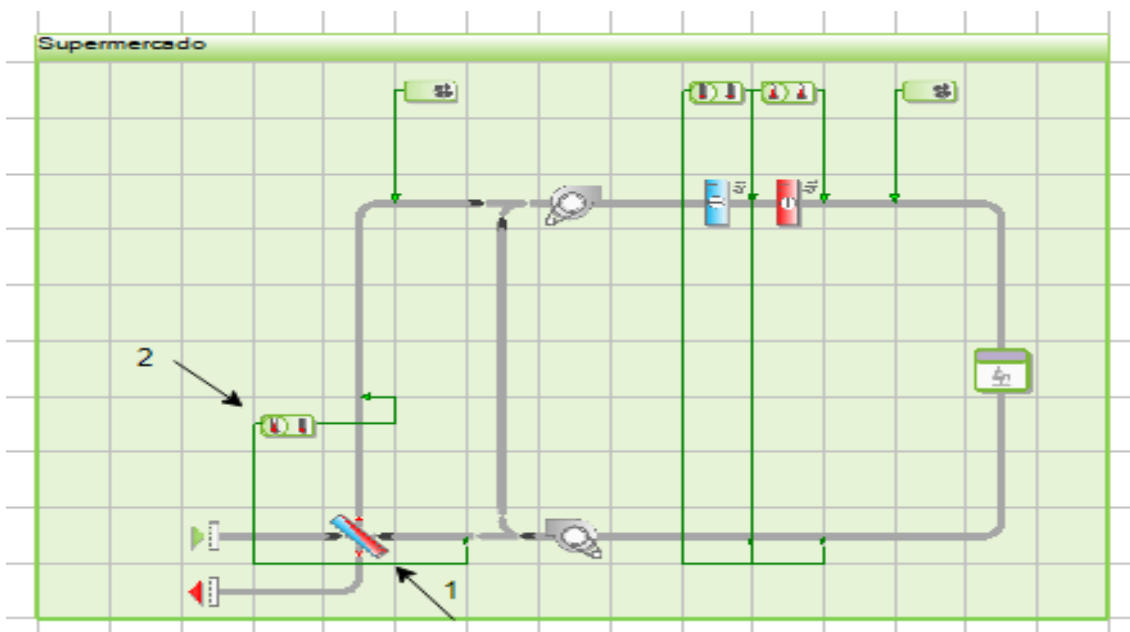


Figura 3.9 - Unidade RTU apenas com recuperação de calor exibida no *software IES*

Tende como base o cenário de uma unidade RTU básica, foi introduzido, representado pelo número 1 e número 2, um recuperador de calor e o controlador, respetivamente.

O princípio de funcionamento passa pela troca de calor entre o ar exterior (ar novo) admitido no espaço a climatizar e o ar de exaustão. Desta forma, é possível a redução de consumos energéticos, especialmente de aquecimento, na medida em que o ar admitido nas unidades é pré-aquecido pelo ar de exaustão, chegando à bateria de aquecimento a uma temperatura superior à do ar exterior e reduzindo, portanto, o salto térmico que esta terá de garantir. A eficiência do recuperador de calor no ponto 1 foi deixada por defeito nos 60%, sendo que este valor é considerado com base em fichas técnicas de unidades RTU. Já no controlador no ponto 2, foi utilizado um controlo *On/Off*.

Assim, a recuperação de calor ocorre quando a temperatura ambiente interior descer dos 19,5°C. O ar proveniente da extração do espaço segue para a exaustão e automaticamente para o exterior. Na figura 3.10 é apresentado o controlador em causa.

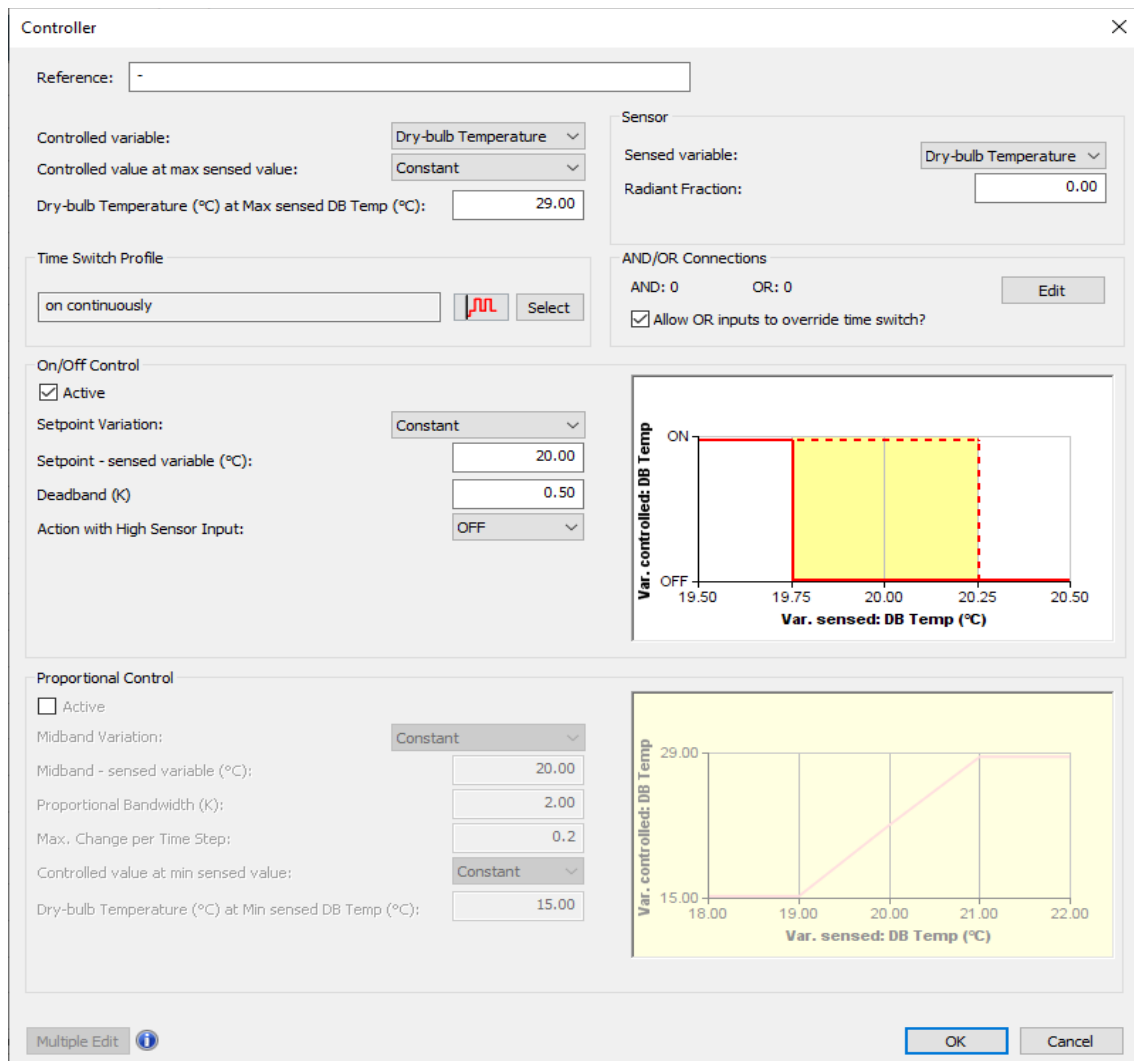


Figura 3.10 - Controlador do recuperador de calor

Com esta funcionalidade é esperada uma melhoria nos gastos energéticos associados ao aquecimento de cerca de 41%. Consultar Tabela 3.10.

3.2.5.4 Cenário com uma unidade RTU apenas com *automatic On/Off*

A funcionalidade *Automatic On/Off* tem como objetivo garantir que o espaço a climatizar se mantenha nas condições definidas nos *setpoints*, isto é, não permitir que o espaço a climatizar esteja muito quente nem muito frio. Para além disto, tem de garantir que o ar no espaço não tenha poluentes respeitando a QAI [13]. É utilizada em cenários onde o *setpoint* definido pode sofrer uma variação constante. Sempre que o valor da variável controlada se encontra abaixo ou acima do *setpoint* definido, o sistema é acionado. No caso deste cenário, são tomados para valores da variável controlada a

concentração de CO₂ no espaço, o *setpoint* de aquecimento e o *setpoint* de arrefecimento.

A implementação deste sistema diminui o consumo energético da unidade RTU e melhora a QAI [13]. De seguida é apresentada na Figura 3.11 o sistema em causa.

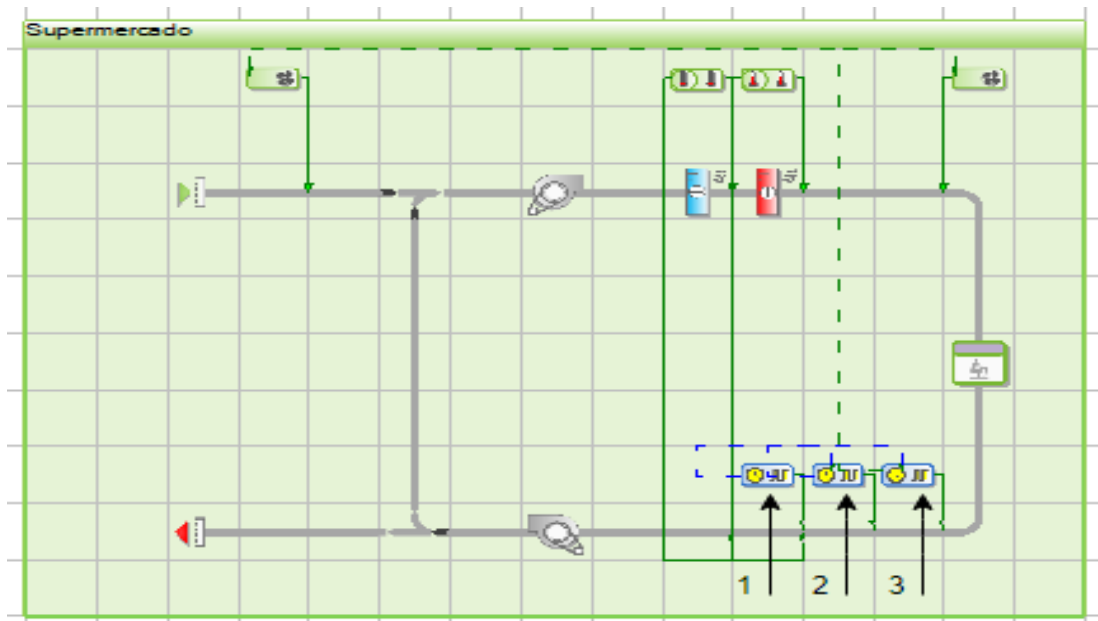


Figura 3.11 - Unidade de RTU com *automatic On/Off* representada no *software IES*

Neste cenário é usado o cenário base como modelo, sendo que é feito o acréscimo do controlador 1, 2 e 3. A unidade RTU funciona com o controlo dos parâmetros de temperatura e de CO₂, podendo desligar/ligar sempre que detetar, através de sensores de temperatura e de CO₂ na área de vendas, que um dos parâmetros não está a ser cumprido. Com o número 1 temos o controlador de CO₂ do espaço, com o número 2 o controlador de temperatura para o aquecimento e, por último, com o número 3, o controlador de temperatura, mas neste caso para o arrefecimento. Os três controladores funcionam através de medições registadas pelos sensores no interior da loja. Se for detetado que uma das variáveis mencionadas anteriormente não está a respeitar os parâmetros definidos nos *setpoints*, é suficiente efetuar ajustes no funcionamento da unidade RTU. Esta funcionalidade traz vantagens na redução dos consumos energéticos, pois não é necessário que a máquina esteja sempre *On*.

Os controladores presentes nesta funcionalidade possuem um perfil de funcionamento coincidente com o horário de abertura ao público, o que poderá levar a uma poupança dos gastos energéticos associados à ventilação de cerca de 17%. Consultar Tabela 3.10.

O controlador de CO₂, representado na Figura 3.12 funciona com a premissa que, caso o valor de CO₂ ultrapasse os 1000 ppm, medido na zona de vendas, é necessário que seja introduzido ar novo no espaço e, conseqüentemente, que a ventilação seja ajustada. Foi definido no controlador o valor de 1000 ppm de forma a respeitar o limiar de proteção de poluentes e garantir uma margem de segurança para esse mesmo limiar.

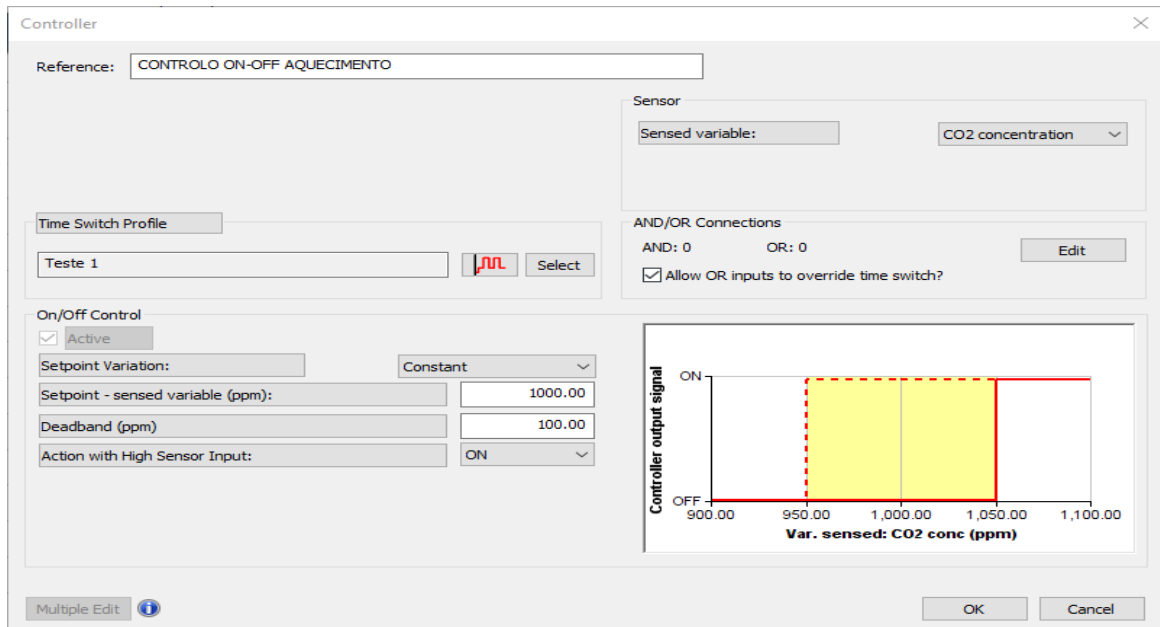


Figura 3.12 - Controlador de CO₂

Relativamente aos controladores de temperaturas de aquecimento e de arrefecimento, representados na Figura 3.13 e 3.14, respetivamente, funcionam com o mesmo princípio, sendo que neste caso os parâmetros a serem controlados no espaço são as temperaturas de aquecimento e de arrefecimento. No aquecimento, sempre que o sensor verificar uma temperatura inferior a 19°C, a unidade RTU ajusta o parâmetro da temperatura introduzindo ar termicamente tratado no espaço com o objetivo de aumentar a temperatura para o *setpoint* definido. Já no arrefecimento, isto acontece quando a temperatura ultrapassa os 25°C.

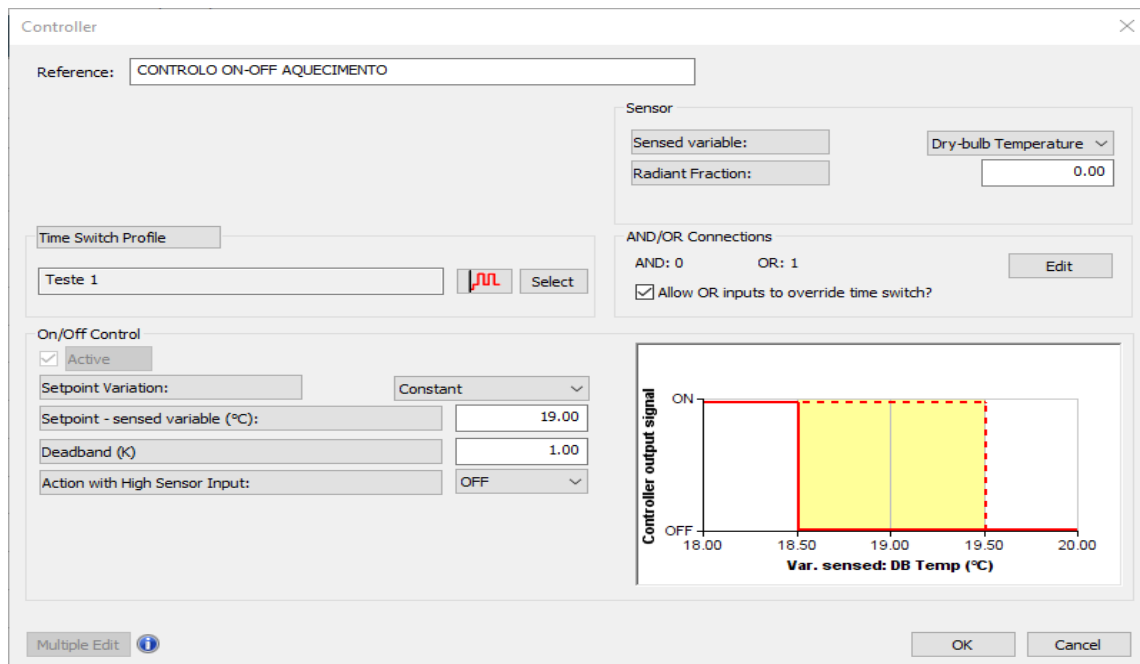


Figura 3.13 - Controlador de aquecimento

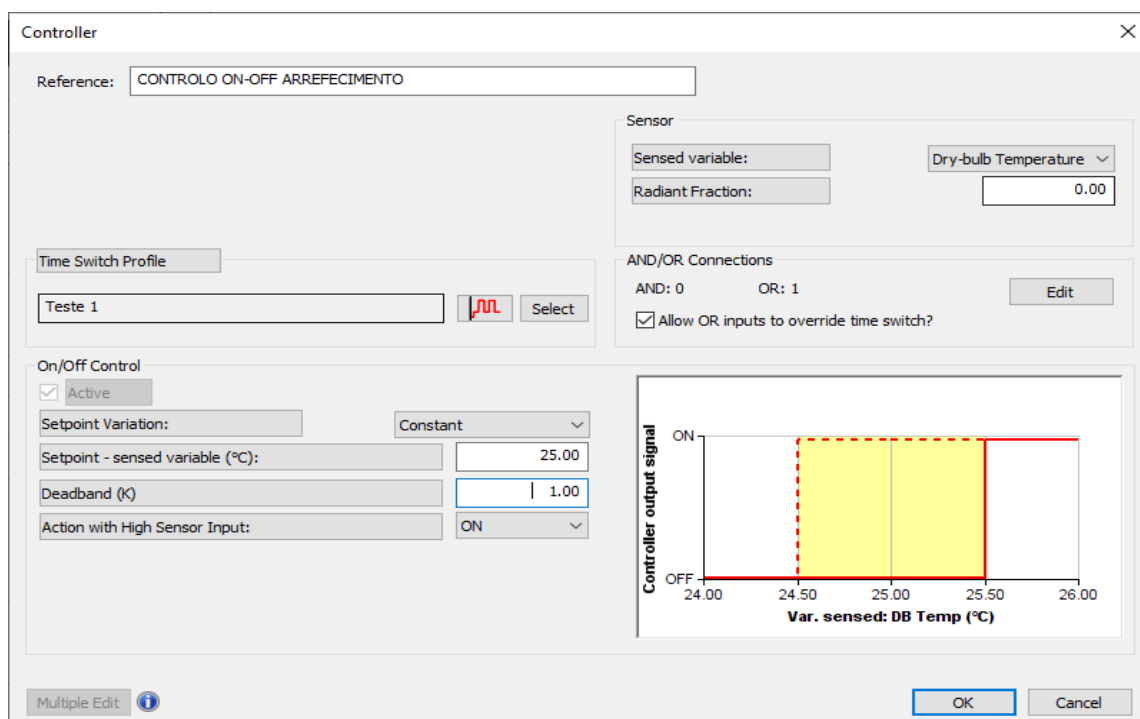


Figura 3.14 - Controlador de arrefecimento

3.2.5.5 Cenário com uma unidade RTU com variação de caudal (VAV)

O último cenário com uma funcionalidade independente é o caso de uma unidade com Volume de ar variável (VAV). O princípio de funcionamento do VAV passa pelo ajuste da velocidade com que os ventiladores operam, afinando assim o caudal total insuflado em função das necessidades do espaço. Isto é, o ventilador é dimensionado para o dia mais

crítico do ano, mas na realidade em poucos dias do ano será necessário que o ventilador trabalhe a 100%. Desta forma, com a funcionalidade de VAV é possível regular, para cada momento, a potência com que o ventilador opera, reduzindo assim os consumos energéticos maioritariamente de ventilação. Apesar de no universo das 29 lojas analisadas, apenas 8% possuir unidades RTU com esta funcionalidade, criou-se um *target* para se comparar os efeitos no consumo de energia. Na Figura 3.15 é apresentado o sistema representado no *software IES*.

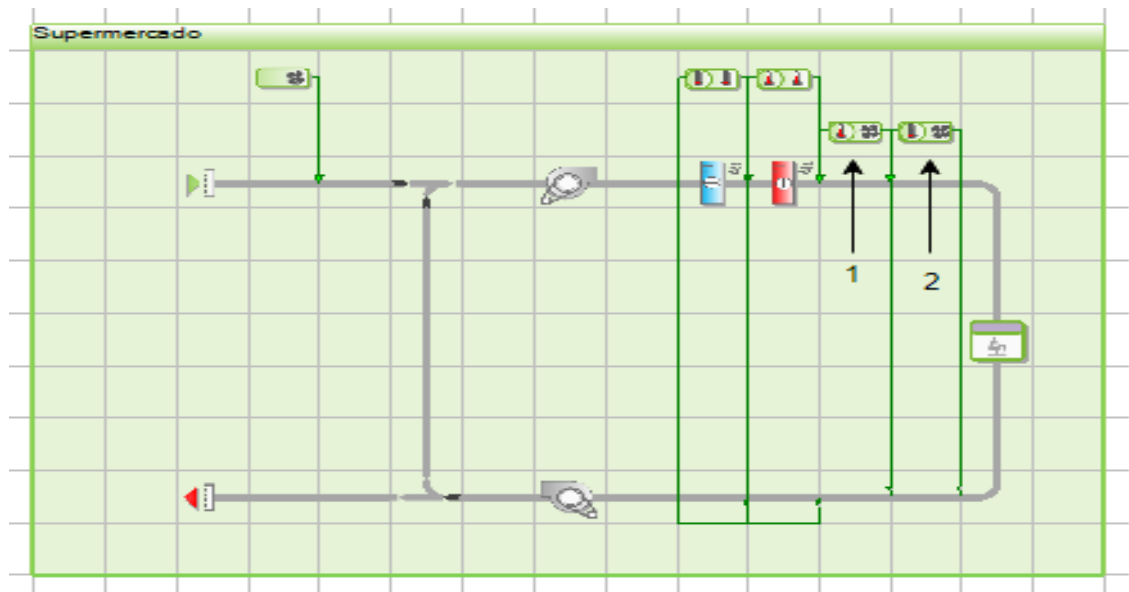


Figura 3.15 - Unidade RTU apenas com VAV representada no *software IES*

Representado pelo número 1 está o controlador VAV de aquecimento e pelo número 2 o controlador VAV de arrefecimento. Os sensores de temperatura no espaço a ser climatizado, aliados a controladores de caudal, são usados como meio de variação da potência dos ventiladores, de forma a cumprir com as necessidades do espaço.

Esta variação funciona através de *setpoints* definidos nos controladores do aquecimento e de arrefecimento. Caso a temperatura ambiente na loja seja inferior a 19°C, ou superior a 25°C, o ventilador opera com a carga máxima e com o caudal total. Caso se verifiquem estes valores, trabalha com carga variável e caudal total reduzido para metade, ajustando assim o caudal de ar novo necessário. Na Figura 3.16 e 3.17 estão expostos os controlos mencionados.

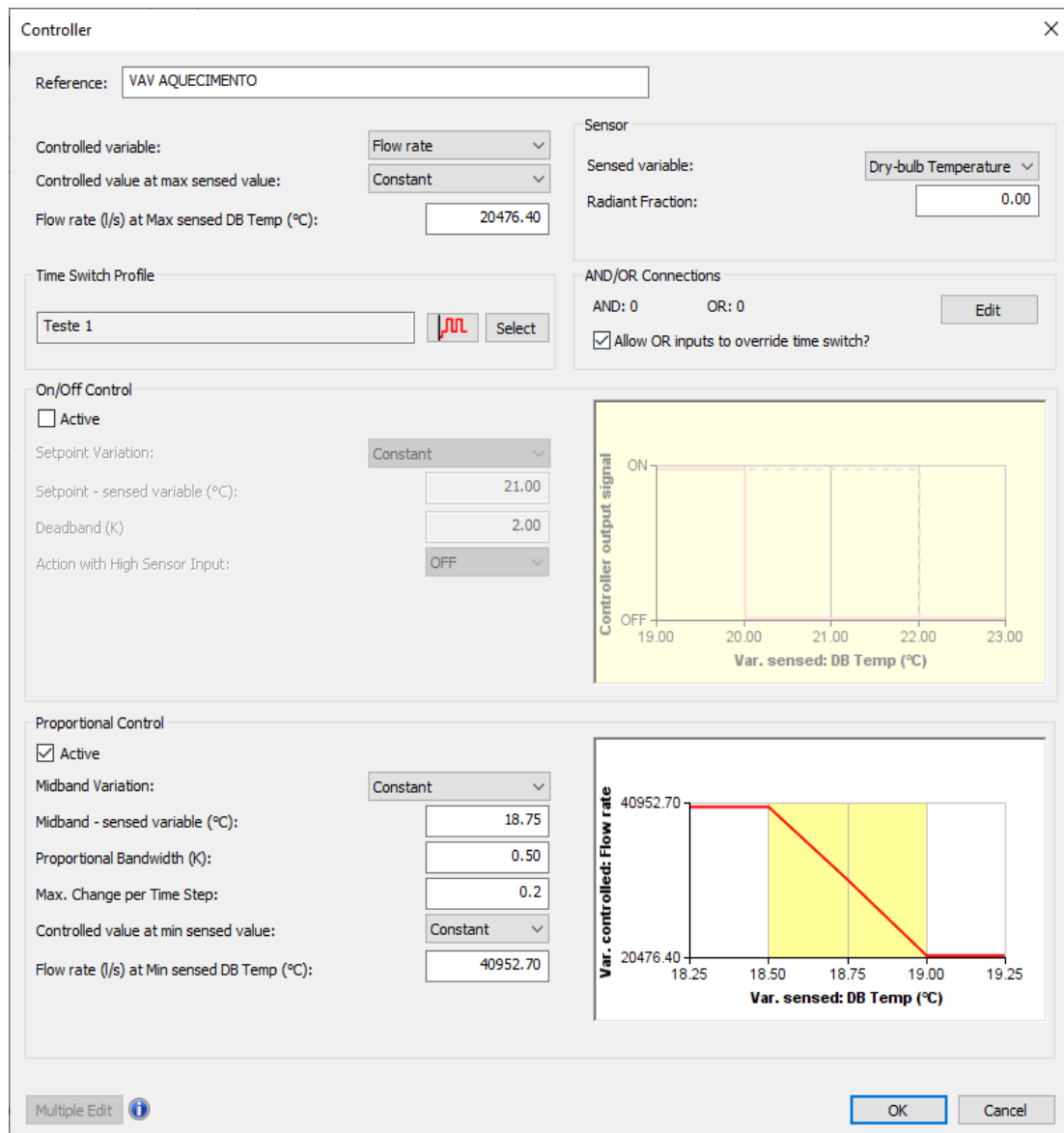


Figura 3.16 - Controlador VAV de aquecimento

Controller
✕

Reference:

Controlled variable:

Controlled value at max sensed value:

Flow rate (l/s) at Max sensed DB Temp (°C):

Sensor

Sensed variable:

Radiant Fraction:

Time Switch Profile

AND/OR Connections

AND: 0 OR: 0

Allow OR inputs to override time switch?

On/Off Control

Active

Setpoint Variation:

Setpoint - sensed variable (°C):

Deadband (K):

Action with High Sensor Input:

Proportional Control

Active

Midband Variation:

Midband - sensed variable (°C):

Proportional Bandwidth (K):

Max. Change per Time Step:

Controlled value at min sensed value:

Flow rate (l/s) at Min sensed DB Temp (°C):

ⓘ

Figura 3.17 - Controlador VAV de arrefecimento

Com esta funcionalidade, pode ser esperada uma melhoria dos gastos energéticos associados ao arrefecimento de cerca de 45%. Nos gastos energéticos associados à ventilação, a melhoria pode ser de cerca de 3 vezes inferior ao praticado no cenário mais básico. Consultar Tabela 3.10.

3.2.5.6 Cenário com uma unidade RTU com todas as funcionalidades

Este cenário apresenta todas as funcionalidades num só sistema que funcionam em conjunto com os *setpoints* e controladores definidos anteriormente com a premissa de aumentar a poupança da unidade RTU, bem como o conforto térmico do espaço. Como é possível observar na Figura 3.18, o cenário apresenta todas as funcionalidades numa só unidade.

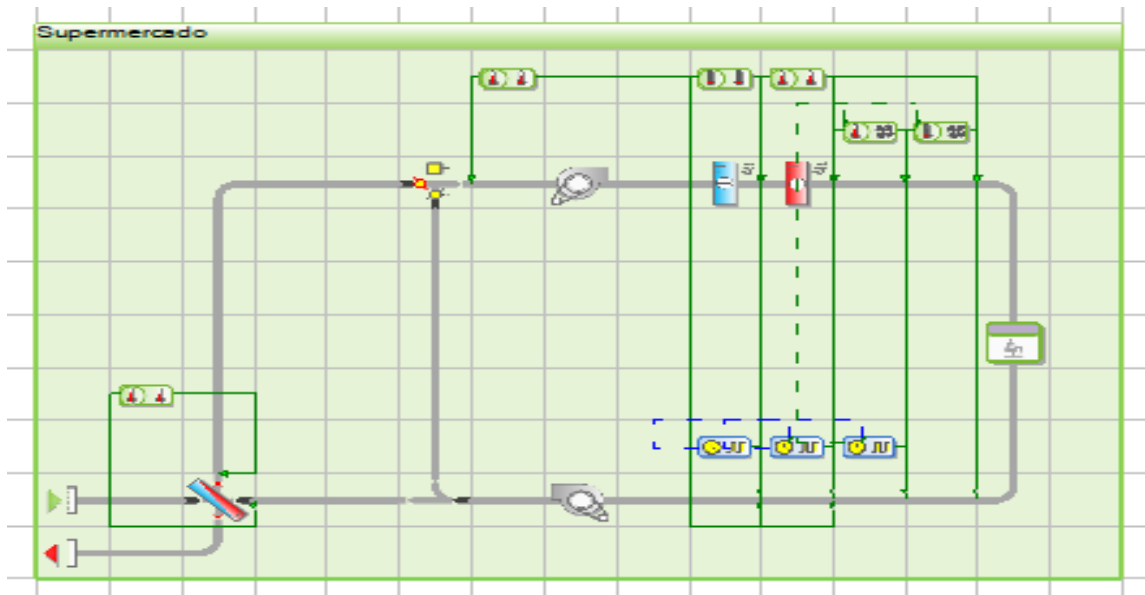


Figura 3.18 - Unidade de RTU com todas as funcionalidades, exibida no *software IES*

Neste cenário, a operação das funcionalidades é ajustada consoante as necessidades verificadas no espaço a climatizar. Sensores aliados aos controladores já anteriormente caracterizados, determinam qual a melhor solução para otimizar a eficiência energética da unidade RTU e garantir que a qualidade do ar interior se mantém. Neste tipo de cenário pode ser esperada uma melhoria significativa nas necessidades de ventilação e de arrefecimento, cerca de 3,6 vezes inferior no primeiro e 54% no segundo, isto em comparação com o cenário básico. Consultar Tabela 3.10.

3.2.5.7 Cenário com uma unidade RTU com todas as funcionalidades exceto VAV

Das 29 lojas analisadas, 92% contêm unidades com as funcionalidades todas à exceção do VAV. Optou-se por criar um cenário onde a maioria das lojas se encaixasse e fosse possível fazer uma comparação ajustada à realidade. Na Figura 3.19 é apresentado o cenário em causa.

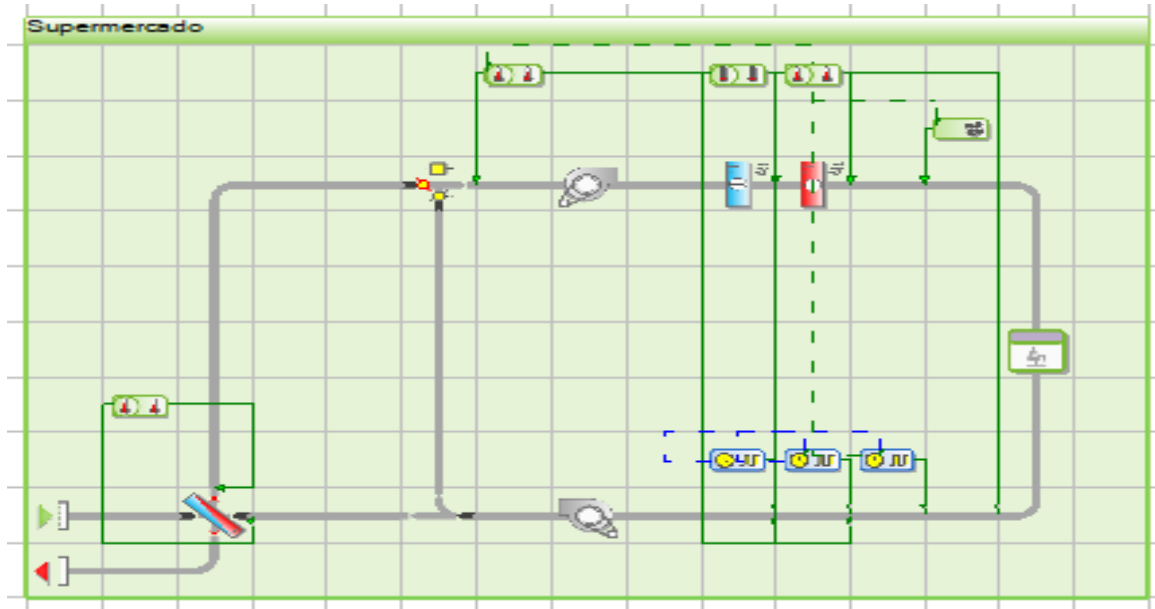


Figura 3.19 - Unidade RTU com todas as funcionalidades exceto VAV, representada no *software IES*

Este cenário é em todo idêntico ao definido no ponto anterior (cenário com todas as funcionalidades), sendo que agora a funcionalidade de VAV não se encontra presente. A operação também é ajustada consoante as necessidades verificadas no espaço a climatizar.

Pode-se esperar uma diminuição de 39% nos gastos energéticos associados ao arrefecimento e de 41% nos gastos energéticos associados ao aquecimento. Já nos gastos energéticos associados à ventilação pode ser esperada uma diminuição de 27% em comparação com o cenário mais básico. Consultar Tabela 3.10.

3.2.6 Comparação de cenários e escolha de target

Após a criação dos vários cenários possíveis, foi possível comparar os consumos que cada um destes implicava e definir o cenário *target* para futuramente ser utilizado na comparação com os consumos reais das lojas. A comparação dos vários cenários na unidade RTU revelou-se uma questão importante para perceber a diferença do consumo energético de funcionalidade para funcionalidade. Muitas vezes, uma máquina apresenta as funcionalidades, mas não é claro o seu peso individual no consumo energético do sistema de AVAC.

De forma a permitir uma maior facilidade e simplicidade na representação dos cenários, o cenário com todas as funcionalidades foi denominado de cenário *all*. O cenário que inclui todas as funcionalidades exceto o VAV foi denominado de cenário *all* exceto VAV.

Todos os resultados foram obtidos para uma loja localizada no Porto, V2 I1 (NUTS 3: Grande Porto) pois foi a zona geográfica onde a primeira loja real foi analisada. Foi estabelecido um horário de funcionamento das 8:30h às 23:00h. Foi também utilizado como *target* para a iluminação, a iluminação LED.

Tabela 3.10 - Comparação das necessidades dos vários cenários de uma unidade RTU

Cenário	Necessidades de Arrefecimento [MWh/ano]	% redução face ao cenário base	Necessidades de Aquecimento [MWh/ano]	% redução face ao cenário base	Necessidades de Ventilação [MWh/ano]	% redução face ao cenário base
Base	211,6	-	121,8	-	422,0	-
<i>Free cooling</i>	130,6	38%	121,8	0%	418,5	1%
Recuperação de calor	210,9	1%	72,8	40%	418,2	1%
<i>Automatic On/Off</i>	210,9	1%	119,5	2%	351,1	17%
VAV	116,4	45%	121,8	0%	139,6	302%
ALL	97,4	54%	121,2	0%	114,9	367%
ALL exceto VAV	130,6	38%	71,3	41%	311,3	26%

Comparando as necessidades dos vários cenários com o cenário base e recorrendo à Tabela 3.10, é possível tirar as seguintes conclusões:

- O *free cooling* tem impacto na redução de 38% nos gastos energéticos associados ao arrefecimento;
- A recuperação de calor favorece uma redução de 40% nos gastos energéticos associados ao aquecimento;
- O cenário de *Automatic On/Off* exibe uma redução de 17%, apenas nos gastos energéticos associados à ventilação;

- O cenário VAV apresenta uma redução de 45% nos gastos energéticos associados ao arrefecimento e uma redução acentuada de 302% nos gastos energéticos associados à ventilação;
- O cenário *all* apresenta uma redução de 54% nos gastos energéticos associados ao arrefecimento e 367% nos gastos energéticos associados à ventilação;
- O cenário *all* exceto VAV apresenta uma redução de 38% nos gastos energéticos associados ao arrefecimento, 41% nos gastos energéticos associados ao aquecimento e 26%% nos gastos energéticos associados à ventilação;

Tabela 3.11 - Comparação dos consumos dos compressores nos vários cenários de uma unidade RTU

Cenário	Compressor Aquecimento [MWh/ano]	% redução face ao cenário base	Compressor Arrefecimento [MWh/ano]	% redução face ao cenário base
Base	42,8	-	51,3	-
<i>Free cooling</i>	42,8	0%	32,6	36%
Recuperação de calor	25,1	41%	51,0	1%
<i>Automatic On/Off</i>	42,8	0%	51,1	0%
VAV	42,8	0%	28,8	44%
ALL	42,8	0%	24,3	53%
ALL exceto VAV	24,8	42%	33,2	35%

Relativamente aos consumos dos compressores, face ao cenário base, verifica-se através da análise da Tabela 3.11:

- No cenário de *free cooling* é esperado uma redução de 36% nos gastos energéticos associados ao compressor de arrefecimento;
- No cenário de recuperação de calor é esperada uma redução de 41% nos gastos energéticos associados ao compressor de aquecimento;
- O cenário de *Automatic On/Off* não apresenta reduções nos consumos dos compressores;

- O cenário VAV apresenta uma redução de 44% nos gastos energéticos associados ao compressor arrefecimento;
- O cenário *all* apresenta uma redução de 53% nos gastos energéticos associados ao compressor arrefecimento;
- Já no cenário *all exceto* VAV é esperada uma redução de 42% nos gastos energéticos associados ao compressor de aquecimento e uma redução de 35% nos gastos energéticos associados ao compressor de arrefecimento;

Quando se combinam estas funcionalidades todas num só sistema, é possível uma redução em quase todos os consumos. Relembrando que o clima e a localização geográfica influenciam diretamente estes valores, visto que loja padrão não é fixa e pode ser adaptada para qualquer localização onde esteja a loja real.

O cenário com todas as funcionalidades (*all*) seria a escolha que possibilitaria uma maior redução nas necessidades e consumos de compressores. Como no universo de lojas analisadas, eram escassas as que dispunham da funcionalidade de VAV (cerca de 8%), optou-se por definir como *target* o cenário de *all exceto* VAV. Desta forma será possível identificar ineficiências e comparar o consumo real de uma forma mais aproximada à realidade.

3.3 *Targets* definidos para a loja padrão

É apresentado na Tabela 3.12 os *targets* definidos para a loja padrão, que de seguida, irão ser usados para a comparação de consumos com as lojas reais.

Tabela 3.12 - *Targets* definidos para a loja padrão

		Targets
Iluminação	Zona de vendas	Tipologia Densidade de iluminação [W/m ²] LED 13,6
	Armazém	Tipologia Densidade de iluminação [W/m ²] LED 3,6
Ocupação		Densidade de ocupação [m ³ /ocupante] 12,5
Equipamentos		Equipamentos a gás [kWh/m ²] * 22,6
		Equipamentos da padaria [kWh/m ²] * 3,4
		Equipamentos da peixaria [kWh/m ²] * 3,4
		Equipamentos da charcutaria [kWh/m ²] * 16,6
	Equipamentos do talho [kWh/m ²] * 5,1	
Infiltrações por hora (IPH)		0,2
Sistema AVAC	Cenário escolhido	<i>All exceto VAV</i>

* Valores obtidos fazendo a média do consumo específico das várias lojas que tinham estes equipamentos, associando os perfis de utilização definidos no Capítulo 3.2.4.3.

ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 DISTRIBUIÇÃO DAS LOJAS REAIS ANALISADAS

4.2 LOJA 1

4.3 LOJA 2

4.4 LOJA 3

4.5 LOJA 4

4.6 LOJA 5

4.7 *BENCHMARKING* OPERACIONAL

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo a loja padrão criada irá ser comparada com 5 lojas reais. Os valores dos consumos energéticos dos principais sistemas presentes nas lojas reais serão comparados com os *targets* definidos previamente. O objetivo passa por determinar se as lojas reais estão dentro dos parâmetros de consumo expectáveis.

4.1 Distribuição das lojas reais analisadas

Do universo das 29 lojas estudadas pela ESC, era necessário escolher aleatoriamente 5 para que pudessem ser alvo de análise. Optou-se por adotar um critério de escolha em função do consumo real da loja. Para comparar de uma forma igual, escolheu-se uma loja com um consumo elevado, três lojas com um consumo intermédio e uma loja com um consumo energético baixo relativamente às demais. Para além disto, relembra-se o facto de nas 5 lojas escolhidas o *target* utilizado ser o cenário *all* exceto VAV, não incluindo o sistema de frio nos consumos totais considerados. No Gráfico 4.1 estão representados os consumos das várias lojas ordenadas por ordem decrescente de consumo total, sendo que as cinco escolhidas estão representadas noutra cor. Para efeitos futuros de comparação serão atribuídas as seguintes designações: Loja 1 = Loja 1; Loja 2 = Loja 13; Loja 3 = Loja 15; Loja 4 = Loja 23; Loja 5 = Loja 29;

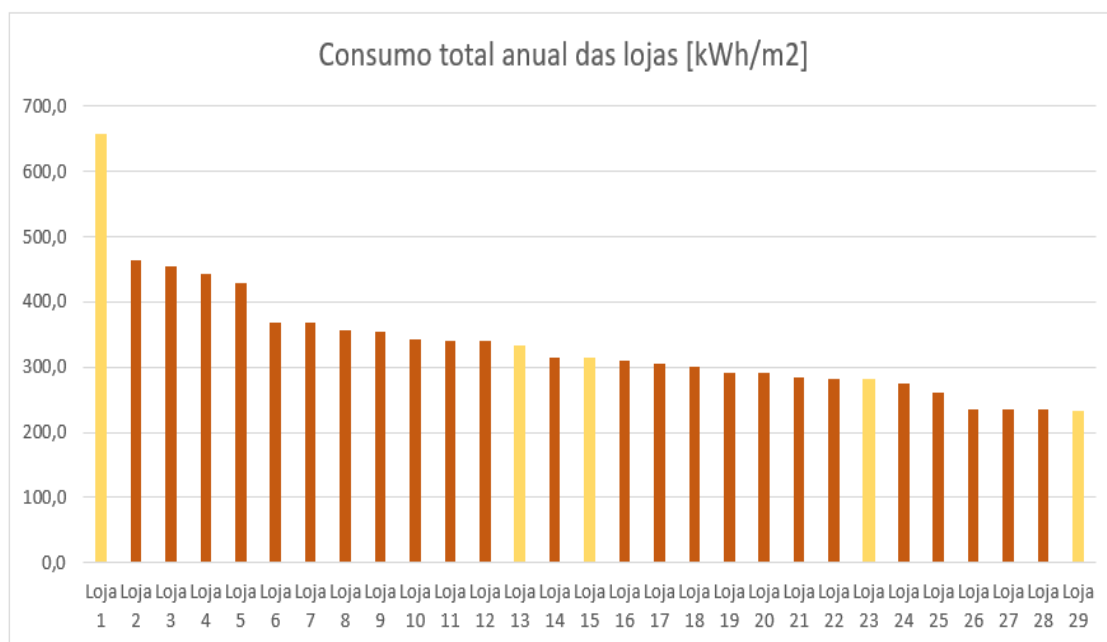


Gráfico 4.1 – Consumo total anual das lojas em análise

4.2 Loja 1



Gráfico 4.2 - Comparação de consumos - Loja 1

Tabela 4.1 - Dados - Loja 1

Localização		Loures
Loja 1	Zona climática	I1 V2 (NUTS 3: Lisboa)
	Horário de funcionamento	8:30h às 23h
	Tipologia das lâmpadas na zona de vendas	100% LED
	Densidade de iluminação zona de vendas [W/m²]	11,2
	Tipologia das lâmpadas no armazém	Mista: 40% fluorescente, 60% LED
	Densidade de iluminação armazém [W/m²]	5,2

Analisando a loja 1, verifica-se que o consumo energético total real, exceto o consumo energético do sistema de frio, excede em 6% o consumo do *target*. Com este dado, não é possível concluir se esta diferença se justifica, mas somente que seria expectável que o consumo real fosse 6% inferior.

Na Iluminação na zona de vendas o consumo real é 18% inferior ao definido no *target*. Isto acontece devido à loja real apresentar uma densidade de iluminação inferior àquela definida no *target*. Seria expectável que a variação da densidade de iluminação fosse igual a variação do consumo real pelo *target*. Esta diferença pode estar associada ao facto de a iluminação na zona de vendas apresentar um controlo diferente. Relativamente à iluminação do armazém, o consumo real é cerca de 47% superior. Fatores como a densidade de iluminação, controlo e perfil de funcionamento da iluminação do armazém originam esta diferença.

Sobre o AVAC, é possível verificar que o consumo real dos compressores da *rooftop* é 40% superior ao *target* e, por contrapartida, a ventilação é 50% inferior ao *target*. Estas diferenças estão relacionadas com o facto de a loja real apresentar um sistema de *rooftop* semelhante ao cenário base e no *target* estar definido um sistema com todas as funcionalidades exceto o VAV. É possível afirmar isto, face ao facto de, através de simulações iniciais onde se definiu como *target* um cenário de uma unidade RTU base, verificou-se que o consumo real se aproximava do consumo do *target*. Aliado a isto e face a auditorias realizadas pela empresa, sabe-se que a loja está a operar com *setpoints* desajustados e conseqüentemente diferentes do *target* provocando assim a variação presente no Gráfico 4.2.

Nos equipamentos é apresentada uma diferença entre o consumo real e o consumo expectável inferior a 5%. Como a variação é inferior ou igual a 5%, conclui-se que não existem desperdícios que sejam considerados relevantes.

Através da análise da coluna do consumo energético total presente no Gráfico 4.2, é possível constatar que a loja 1 está a consumir mais do que seria expectável. Tendo em conta que os sistemas de iluminação e de AVAC são os principais responsáveis pelos desvios nos consumos energéticos nesta loja, conclui-se pela necessidade de introduzir alterações no controlo da iluminação no armazém, na tipologia de lâmpadas usadas no armazém e de promover correções das funcionalidades da unidade RTU, o que poderá resultar numa redução de cerca de 8% no consumo energético total da loja.

4.3 Loja 2

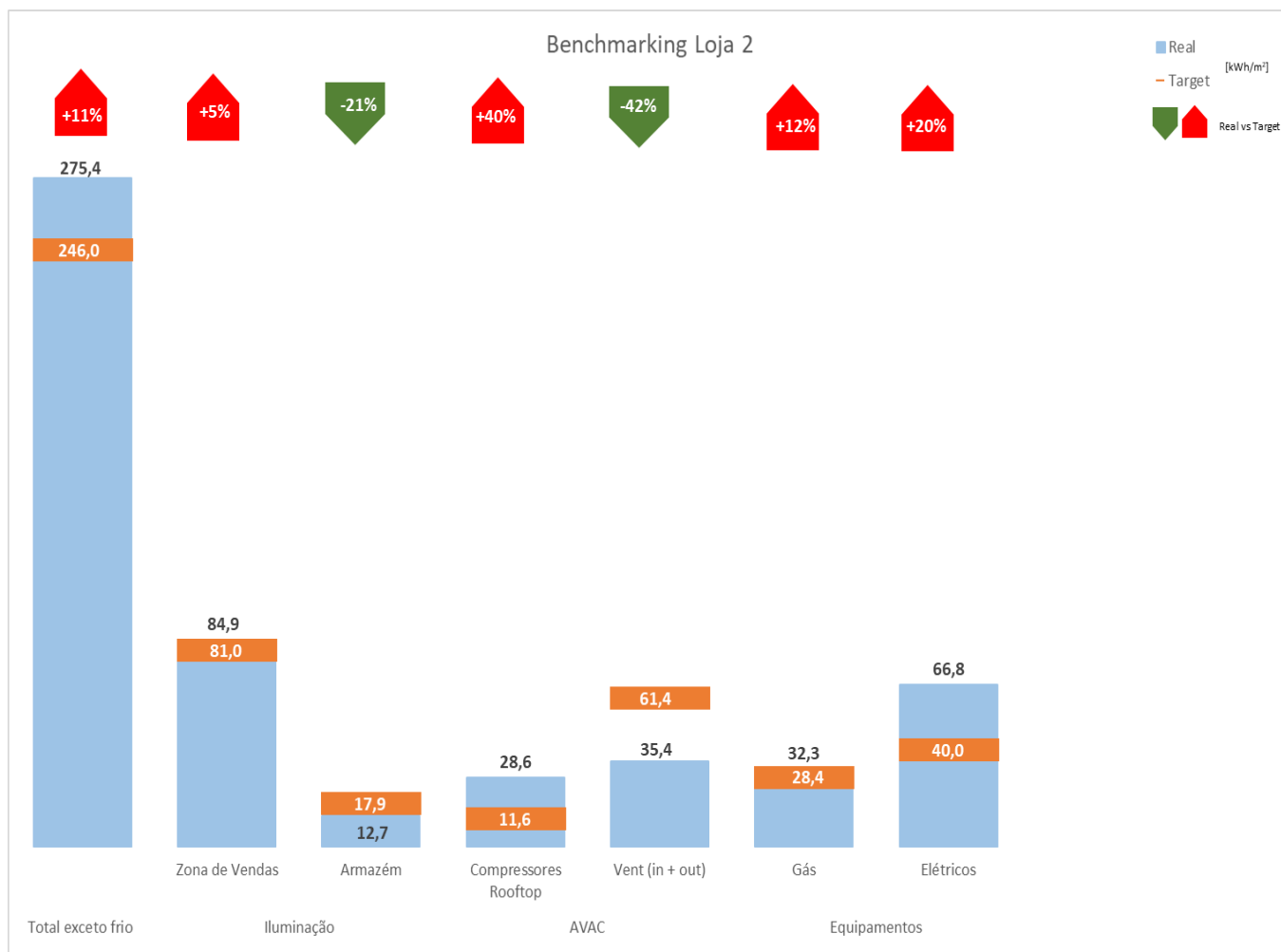


Gráfico 4.3 - Comparação de consumos - Loja 2

Tabela 4.2 - Dados - Loja 2

Loja 2	Localização	Leiria
	Zona climática	I2 V2 (NUTS 3: Pinhal Litoral)
	Horário de funcionamento	8:30h às 23h
	Tipologia das lâmpadas na zona de vendas	Mista: 35% fluorescente, 65% LED
	Densidade de iluminação zona de vendas [W/m²]	15,9
	Tipologia das lâmpadas no armazém	Mista: 20% fluorescente, 80% LED
	Densidade de iluminação armazém [W/m²]	4,2

Analisando a loja 2, verifica-se que o consumo energético total real, exceto o consumo energético do sistema de frio, excede em 11% o consumo do *target*.

Na iluminação, nomeadamente na zona de vendas, o consumo real é 5% superior ao definido no *target*. Apesar desta variação não apresentar desvios relevantes, é conhecido de antemão, devido às auditorias feitas pela ESC, que a loja 2 apresenta uma função de *dimming*, ou seja, controlo de luz natural. Seria de esperar que o consumo real fosse inferior ao consumo do *target* visto que este não considera essa funcionalidade. Relativamente à iluminação do armazém, o consumo real é cerca de 21% inferior ao *target*. Fatores como o regime de funcionamento e o controlo de iluminação originam esta diferença.

No sistema de AVAC é possível verificar que o consumo real dos compressores da *rooftop* é 40% superior ao *target* e, por contrapartida, a ventilação é 42% inferior ao *target*. Isto acontece porque as funcionalidades nas condições reais são mantidas *off* durante longos períodos, não assegurando as necessidades do espaço nem a qualidade do ar interior. No cenário *target* as máquinas estão sempre habilitadas a funcionar. Aliado a isto, é possível afirmar, face a auditorias realizadas anteriormente, que a loja 2 está a operar com *setpoints* desajustados e conseqüentemente diferentes do *target*.

Para a loja 2 têm-se os equipamentos que funcionam a gás e os elétricos. Como mencionado no Capítulo 3, os equipamentos a gás são os fornos da padaria que, como se pôde apurar, apresentam um consumo real cerca de 12% superior ao consumo *target*. Isto pode ser justificado por razões operacionais, como por exemplo, a loja 2 produzir mais pão do que a loja padrão.

Nos equipamentos elétricos, a variação do consumo real é 20% superior ao *target*. Provavelmente este desvio pode ser justificado por perfis de funcionamento e controlo operacional não adequados. Recomenda-se que seja feita uma investigação de modo a verificar possíveis falhas.

Através da análise da coluna do consumo total presente no Gráfico 4.3, é possível constatar que a loja 2 está a consumir mais do que seria expectável. Isto acontece devido ao facto de a loja 2 manter operações de controlo inadequadas e apresentar falhas nos sistemas de iluminação, no sistema de AVAC e nos equipamentos elétricos. Alterações no controlo da iluminação no armazém, correções na operação das funcionalidades da unidade RTU e uma investigação para detetar anomalias na operação dos equipamentos elétricos podem permitir alcançar uma redução de cerca de 11% no consumo energético total da loja.

4.4 Loja 3



Gráfico 4.4 - Comparação de consumos - Loja 3

Tabela 4.3 - Dados - Loja 3

Loja 3	Localização	Coimbra
	Zona climática	I2 V2 (NUTS 3: Baixo Mondego)
	Horário de funcionamento	8:30h às 23h
	Tipologia das lâmpadas na zona de vendas	LED: 95% LED
	Densidade de iluminação zona de vendas [W/m²]	13,9
	Tipologia das lâmpadas no armazém	Mista: 60% fluorescente, 40% LED
	Densidade de iluminação armazém [W/m²]	7,7

Analisando a loja 3, verifica-se que o consumo energético total real, exceto o consumo energético do sistema de frio, excede 21% o consumo do *target*.

Na iluminação, nomeadamente na zona de vendas, o consumo real é 1% inferior ao definido no *target*. Com esta diferença, conclui-se que não existem desperdícios relevantes. Relativamente à iluminação do armazém, o consumo real é cerca de 34% superior ao consumo do *target*. Fatores como a densidade de iluminação ser superior em aproximadamente 40%, controlo e perfil de funcionamento da iluminação do armazém, originam esta diferença.

Sobre o AVAC é possível verificar que o consumo real dos compressores da *rooftop* e da ventilação é de 54% e 30% superior ao *target*, respetivamente. Este desvio pode ser justificado pelo facto de existir uma operação da máquina em períodos fora da abertura ao público, bem como a existência de uma operação mais restrita e exigente no que diz respeito aos *setpoints* do que aqueles que são considerados no *target*.

Os equipamentos apresentam uma diferença entre o consumo real e o consumo expectável na ordem dos 20%. É recomendável uma investigação ao controlo e funcionamento dos equipamentos.

Pela análise da coluna do consumo total presente no Gráfico 4.4, é possível verificar que a loja 3 está a consumir mais do que seria expectável. Fatores como falhas no sistema de AVAC e na operação dos equipamentos podem estar na base da diferença de consumo energético observada no Gráfico 4.4. Caso sejam promovidas correções na operação da unidade RTU e feita a realização de uma investigação para perceber quais as anomalias na operação e funcionamento dos equipamentos, poderão ser alcançadas reduções de cerca de 21% no consumo energético total da loja 3.

4.5 Loja 4

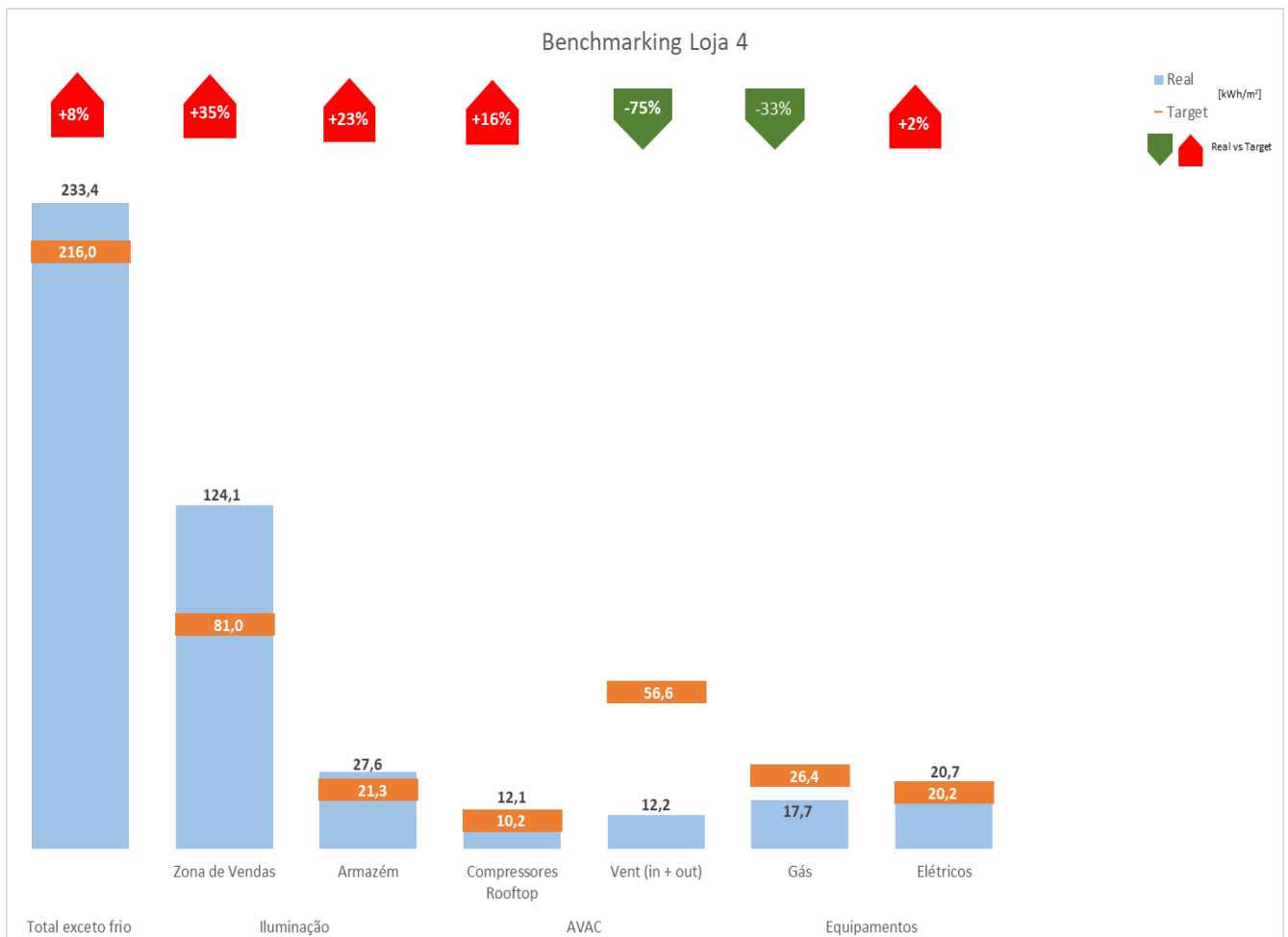


Gráfico 4.5 - Comparação de consumos - Loja 4

Tabela 4.4 – Dados - Loja 4

	Localização	Gaia
Loja 4	Zona climática	I1 V2 (NUTS 3: Porto)
	Horário de funcionamento	8:30h às 23h
	Tipologia das lâmpadas na zona de vendas	LED: 30% LED, 70% fluorescente
	Densidade de iluminação zona de vendas [W/m²]	18,9
	Tipologia das lâmpadas no armazém	Mista: 15% fluorescente, 85% LED
	Densidade de iluminação armazém [W/m²]	4,4

Analisando a loja 4, verifica-se que o consumo energético total real, exceto o consumo energético do sistema de frio, excede 8% o consumo do *target*.

Na iluminação, nomeadamente na zona de vendas, o consumo real é 35% superior ao definido no *target*. Esta variação acontece devido ao facto de a densidade de iluminação da loja real ser cerca de 29% superior à definida no *target*, sendo que nos períodos de reposição é provável que opere com níveis superiores definidos no *target*. Relativamente à iluminação do armazém, o consumo real é cerca de 23% superior ao *target*. Fatores como a densidade de iluminação, controlo e perfil de funcionamento da iluminação do armazém originam esta diferença.

No sistema de AVAC é possível verificar que o consumo real dos compressores da *rooftop* é 16% superior ao *target* e, por contrapartida, a ventilação é 75% inferior ao *target*. Mais uma vez, estas diferenças estão relacionadas com o facto de a loja real apresentar um sistema de *rooftop* semelhante ao cenário base e com o facto de possuir as funcionalidades, mas não estarem a ser usadas, ao contrário do *target* que funciona com as funcionalidades todas exceto VAV. Aliado a isto, é possível afirmar, face a auditorias realizadas pela ESC, que a loja 4 está a operar com *as rooftops* menos horas do que o esperado, influenciado assim a ventilação. É também possível que a loja 4 esteja a funcionar sem a funcionalidade *automatic start and stop*.

Nos equipamentos instalados, surgem novamente os que funcionam a gás e os elétricos.

Os equipamentos a gás apresentam um consumo real cerca de 33% inferior ao consumo *target*. Isto pode ser justificado por razões operacionais.

Nos equipamentos elétricos a variação do consumo real é 2% superior ao *target*. Desta forma, não se identificam possíveis ineficiências ou desperdícios relevantes.

Recorrendo à análise da coluna do consumo total presente no Gráfico 4.5, é possível constatar que a loja 4 está a consumir mais do que seria expectável. Isto acontece devido a possíveis falhas nos sistemas de iluminação e no sistema de AVAC. Alterações no controlo da iluminação no armazém, bem como na zona de vendas, na escolha da tipologia das lâmpadas usadas na zona de vendas e correções na operação da unidade RTU, podem implementar reduções de cerca de 8% no consumo energético total da loja.

4.6 Loja 5



Gráfico 4.6 - Comparação de consumos - Loja 5

Tabela 4.5 - Dados - Loja 5

Loja 5	Localização	Porto
	Zona climática	I1 V2 (NUTS 3: Porto)
	Horário de funcionamento	8:30h às 23h
	Tipologia das lâmpadas na zona de vendas	LED: 98% LED
	Densidade de iluminação zona de vendas [W/m ²]	14,1
	Tipologia das lâmpadas no armazém	Mista: 15% fluorescente, 85% LED
	Densidade de iluminação armazém [W/m ²]	4,4

Por último, na loja 5, verifica-se que o consumo energético total real, exceto o consumo energético do sistema de frio, é 5% inferior ao consumo do *target*.

Na iluminação, nomeadamente na zona de vendas, o consumo real é 3% superior ao definido no *target*. Esta variação considera-se normal e não se detetam desperdícios relevantes. Relativamente à iluminação do armazém o consumo real de energia é cerca de 50% superior. Fatores como a densidade de iluminação provocam este desvio nos consumos, sendo que é conhecido, pela auditoria da ESC, que a iluminação do armazém fica todas as noites com cerca de 50% das luzes ligadas, contribuindo assim para esta diferença.

Sobre o AVAC é possível verificar que o consumo real dos compressores da *rooftop* é 11% inferior ao *target*, bem como na ventilação que apresenta uma diferença de 75%. Estas diferenças estão relacionadas com o facto de as unidades RTU não estarem a ser operadas durante todo o horário de abertura ao público, não conseguindo garantir as necessidades do espaço nem a qualidade do ar interior.

Nos equipamentos é apresentada uma diferença entre o consumo real e o consumo expectável inferior a 5%. Como a variação é inferior ou igual a 5% pode-se concluir que não existem desperdícios que sejam considerados relevantes.

Com a análise da coluna do consumo total presente no Gráfico 4.6, é possível constatar que a loja 5 está a consumir menos do que seria expectável. Contudo, isto não significa que esteja a cumprir todos os parâmetros, nomeadamente no sistema de AVAC. O sistema de AVAC da loja 5, apesar de estar a gastar menos, não consegue cumprir com os parâmetros de conforto e de consumo energético expectáveis face ao facto de as unidades RTU não estarem a ser operadas durante todo o horário de abertura ao público.

4.7 *Benchmarking* Operacional

Por vezes, como podemos constatar através da análise dos dados extraídos neste estudo, o facto de uma loja consumir menos do que o expectável, não significa que esteja a ser energeticamente eficiente. Um sistema mal operado, ou até desligado durante uma parte do tempo de funcionamento, até poderá dar origem a uma redução dos consumos energéticos, mas não garantirá as condições e os parâmetros necessários e expectáveis se todos os sistemas estiveram otimizados. Utilizando o *benchmarking* operacional é possível verificar de uma forma rápida se o consumo real das lojas está dentro dos consumos esperados.

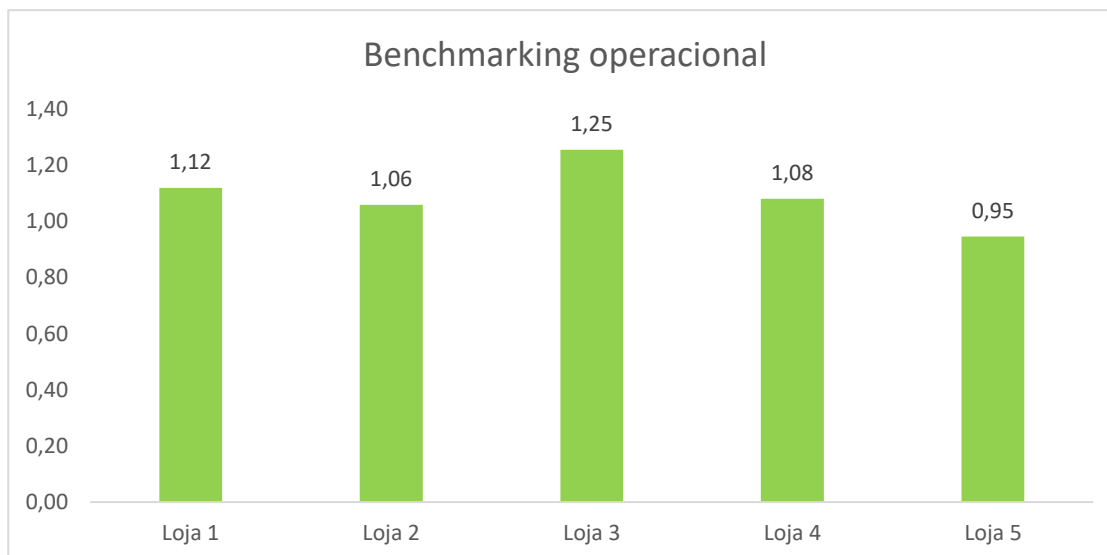


Gráfico 4.7 - Benchmarking operacional das lojas reais

Através do Gráfico 4.7, é possível concluir que o *benchmarking* operacional para a loja 5 é de 0,95, o que significa que o consumo real está praticamente em linha com a meta operacional, evidenciando uma boa gestão e operação da loja 5. No entanto, embora o desempenho global da loja 5 esteja praticamente em linha com o consumo expectável, isso não significa que não existam oportunidades de melhoria em determinados sistemas energéticos. A loja 1, 2, 3 e 4 apresentam um consumo real superior à meta operacional, o que de um modo geral aponta para uma gestão com desperdícios energéticos criando várias oportunidades para uma melhoria do desempenho global da loja.

De uma forma geral, sem este tipo de ferramenta, só se observariam as eventuais discrepâncias dos consumos reais das lojas sem se conseguir perceber se estariam a ser bem operadas e se haveria margem para incrementar melhorias dos parâmetros de consumos energéticos anuais. Ou seja, não se conseguiria alcançar um conhecimento rigoroso da *performance* energética dos vários sistemas, o que não permitiria dirigir eficazmente a intervenção técnica para os sistemas que dela necessitem.

CONCLUSÕES

- 5.1 CONCLUSÕES
- 5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Constituindo os gastos com as faturas energéticas uma parcela muito importante das despesas das empresas que se dedicam ao retalho alimentar, tem sido dado especial enfoque à criação de estratégias, propostas de funcionamento e ferramentas de controlo de consumos que têm permitido uma mais eficaz gestão dos gastos de energia nos edifícios, tornando-os o mais eficientes possível.

Assim, uma das formas de reduzir os elevados custos com os consumos, passa por aumentar a eficiência dos sistemas energéticos já instalados em cada um dos edifícios. Para que esse objetivo seja possível, é necessário que estes sistemas sejam mantidos e operados em condições ótimas de eficiência.

Uma das ferramentas que permite avaliar a qualidade e eficiência energética da operação e manutenção dos sistemas instalados poderá ser através do *benchmarking* operacional. Este indicador fornece informação sobre a qualidade energética da gestão corrente de uma loja real, permitindo comparar o desempenho energético da mesma com o desempenho expectável e condições de operação muito eficientes presentes na loja padrão. No entanto, é importante que os indicadores sejam capazes de expurgar os efeitos dos “fatores de contexto”, como o clima, a intensidade de utilização e a dimensão das zonas energéticas, pois só desta forma é possível obter uma indicação clara sobre a qualidade energética do edifício, dos seus sistemas energéticos e da sua operação/manutenção. O *benchmarking* operacional é calculado dividindo o consumo real (obtido através da faturação energética) pela meta operacional. A meta operacional é o consumo energético anual teórico expectável que o edifício deveria ter caso os sistemas/equipamentos efetivamente instalados fossem mantidos e operados em condições ótimas de eficiência.

Com este trabalho, pretendia-se desenvolver um modelo de simulação energético de forma a ser utilizado para calcular os consumos expectáveis para cinco lojas de retalho alimentar. Esses consumos foram depois comparados com as faturas energéticas dessas lojas reais, com o objetivo de identificar lojas com um bom ou mau desempenho energético e, ainda, identificar os sistemas que justificavam esse desempenho.

Assim, com base nos resultados obtidos do *benchmarking* operacional (*Real vs Target*), e com a construção desta ferramenta foi possível concluir que:

- Todas as lojas analisadas apresentavam problemas de eficiência e/ou controlo do sistema de AVAC;
- Face à análise feita, a loja 1 pode ter uma redução de 8% no consumo energético total, exceto consumo do sistema de frio;
- Face à análise feita, a loja 2 pode ter uma redução de 11% no consumo energético total, exceto consumo do sistema de frio;
- Face à análise feita, a loja 3 pode ter uma redução de 21% no consumo energético total, exceto consumo do sistema de frio;
- Face à análise feita, a loja 4 pode ter uma redução de 8% no consumo energético total, exceto consumo do sistema de frio;
- Das 5 lojas analisadas apenas a loja 5 se encontrava dentro do consumo expectável obtendo no benchmarking operacional 0,95;
- Os encargos com a componente de iluminação das lojas, tem vindo a representar uma cada vez menor fatia dos totais dos consumos energéticos das lojas, beneficiando da introdução sistemática de novas tecnologias de iluminação, sendo que ainda é possível reconhecer economias significativas ligadas ao controlo destes sistemas;
- Esta ferramenta foi/é útil na identificação das ineficiências operacionais das lojas estudadas o que, de outra forma, não seria possível verificar;
- Ao calcular o consumo expectável para o comparar com o consumo real, podemos concluir sobre o nível de eficiência de cada sistema instalado e avaliar a qualidade e adequação da sua operação/gestão, quantificando assim o desperdício médio em cada loja;
- A possibilidade da implementação da funcionalidade de VAV nas lojas de retalho alimentar aumentaria as poupanças energéticas relativas ao sistema de AVAC;

5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Relativamente a trabalhos futuros que venham a ser realizados, será interessante estender esta análise a um maior número de lojas para que se consiga um estudo o mais abrangente possível. Com isto, será interessante que na tipologia dos supermercados, se consigam refinar alguns parâmetros como por exemplo, a densidade de iluminação e a envolvente.

A adoção de uma metodologia deste género para outras tipologias de edifícios e de setores de atividade, deveria começar por identificar os principais sistemas consumidores de energia, as rotinas mais eficientes que os sistemas deverão ter e calcular os consumos teóricos dos mesmos, de maneira a avaliar o desempenho energético desses edifícios com uma ainda maior capacidade de detetar situações de ineficiência energética, permitindo a sua correção.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] Á. Rodrigues, *Apontamentos de Energias Renováveis*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [2] DGEG, *Guia da eficiência energética para edifícios de comércio e serviços*. 2014.
- [3] ADENE, *Guia da etiqueta energética*. Lisboa, 2010.
- [4] L. Timma, R. Skudritis, and D. Blumberga, “Benchmarking Analysis of Energy Consumption in Supermarkets,” *Energy Procedia*, vol. 95, pp. 435–438, Sep. 2016.
- [5] Assembleia da República, *DIÁRIO DA REPÚBLICA 1.ª série - N.º 12 - 19 de janeiro*. 2009.
- [6] CIBSE - Chartered Institution of Building Services Engineers, “Consumption data base,” 2017.
- [7] DOI, *Department of Energy, Energy Study*. 2017. Washington DC.
- [8] Comissão Europeia, “Benchmarking,” 2002, p. 36.
- [9] IAPMEI, *O que é o Benchmarking*. 2018.
- [10] M. R. L. with S. C. and F. G. Dennis R. Landsberg, *Energy Efficiency Guide for Existing Commercial Buildings*. 2009.
- [11] I. E. Solutions, “IES-VE Simulation Program.” .
- [12] SCE, “SCE - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios,” 2006. .
- [13] ASHRAE, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality - ASHRAE 62.1*. 2007.

- [14] RECS, “Regulamento de Edifícios de Comércio e Serviços,” 2013.
- [15] O. MINISTÉRIOS DO AMBIENTE, D. S. E. DA DO TERRITÓRIO E ENERGIA, E. E. S. SOLIDARIEDADE, and SOCIAL., *Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro*. 2013.
- [16] J. D. McQuiston, F. C., and Parker, *Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design*. United States: 6 Rev ed, 1982.
- [17] L. Roriz, *Climatização: Conceção, Instalação e Condução de Sistemas*. 2006.
- [18] G. Coccia, P. D’Agaro, G. Cortella, F. Polonara, and A. Arteconi, “Demand side management analysis of a supermarket integrated HVAC, refrigeration and water loop heat pump system,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 152, pp. 543–550, Apr. 2019.
- [19] W. Wang, S. Katipamula, H. Ngo, and R. Underhill, “Energy performance evaluation of variable-speed packaged rooftop units using field measurements and building energy simulation,” *Energy Build.*, vol. 183, pp. 118–128, Jan. 2019.
- [20] TRANE, *Rooftop VAV Systems*. 2007.
- [21] The engineering mindset, How does a rooftop works. 2017.
- [22] J. Dossat, R., *Principles Of Refrigeration*. 1997.
- [23] Mark Stanley Rea, *The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application*. Illuminating Engineering Society of North America, 2000, 2000.
- [24] L. and lighting-L. of work places-P. 1: I. Work and Places, “EN 12464-1,” 2002.
- [25] Assembleia da República, “Lei n.º 52/2018,” 2018.
- [26] D. Morais, P. D. Gaspar, P. D. Silva, F. C. Santos, L. P. Andrade, and J. Nunes, “Assessment of the energy consumption and technologies in the bakery and pastry sector – The Portuguese case study,” *Energy Procedia*, vol. 161, pp. 83–

- 92, Mar. 2019.
- [27] P. & S. McQuisten, *Heating, Ventilating and Air conditioning Analysis and Design*. 2004.
- [28] ASHRAE, *ASHRAE Handbook 2018: Refrigeration*. 2018.
- [29] S. E. K. B.P. Jelle, "Free Cooling - an overview," in *Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting*, 2017.
- [30] ScienceDirect, *Heat Recovery - An Overview*. 2007.
- [31] Paul Evans, *How Rooftop Units work - RTU*. 2018.
- [32] C. Corp and T. Training, "Rooftops Level 2: Variable Air Volume Units Technical Development Program," 2007.
- [33] PROLON, *PROLON controls*. 2018.
- [34] ASHRAE, "Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings - ASHRAE 90.1," 2016.
- [35] T. e C., "Ministério das Obras Públicas." 2006.

ANEXOS

- 7.1 ANEXO 1 - Comparação do COP e EER nos vários cenários
- 7.2 ANEXO 2 - Programa de simulação IES
- 7.3 ANEXO 3 – Parâmetros interiores do *target* na loja padrão
- 7.4 ANEXO 4 – Total vs Target
- 7.5 ANEXO 5 – *Specialized Benchmarking Conceptua*

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1 - Comparação de COP e EER dos vários cenários

A Tabela 7.1 resulta das Tabelas 3.10 e 3.11. É possível verificar que nos vários cenários não existe uma variação considerável tanto no COP como no EER.

Tabela 7.1 - Comparação do COP e EER nos vários cenários

Cenário	COP	EER
Base	2,8	4,1
Free cooling	2,8	4,0
Recuperação de calor	2,9	4,1
Automatic On/Off	2,8	4,1
VAV	2,8	4,0
ALL	2,8	4,0
ALL exceto VAV	2,9	3,9

7.2 ANEXO 2 - Programa de simulação IES

A simulação dinâmica é um método de análise computacional que permite analisar problemas complexos como é o caso da transferência de calor, que envolve cálculos matriciais e iterações que seriam difíceis de resolver de forma manual. Os programas de simulação térmica procuram simular o comportamento de um edifício da forma mais aproximada possível. De entre as inúmeras vantagens que resultam da utilização destes softwares, destacam-se: o baixo custo, a precisão dos resultados das simulações, quando comparados com os resultados obtidos por outros métodos; a simulação da evolução de variáveis ambientais no interior do edifício; a identificação de alternativas de melhoria da eficiência energética e a estimativa da redução do consumo e da demanda de energia em consequência da implementação dessas medidas.

Um dos programas de simulação energética disponíveis atualmente no mercado é o *Integrated Environmental Solutions* (IES), que permite tirar conclusões relativamente ao uso de energia, conforto dos ocupantes, níveis de iluminação, qualidade do ar interior, emissões de CO₂ [11], entre outras, a partir de informações climáticas do local onde se insere o edifício, da definição da envolvente, dos padrões de uso e de ocupação, da potência instalada em iluminação e equipamentos e das características do sistema de climatização. Neste trabalho foi utilizado o programa IES para construir e simular os diferentes cenários descritos no corpo da dissertação.

A interface deste programa tem o aspeto da Figura 7.1:

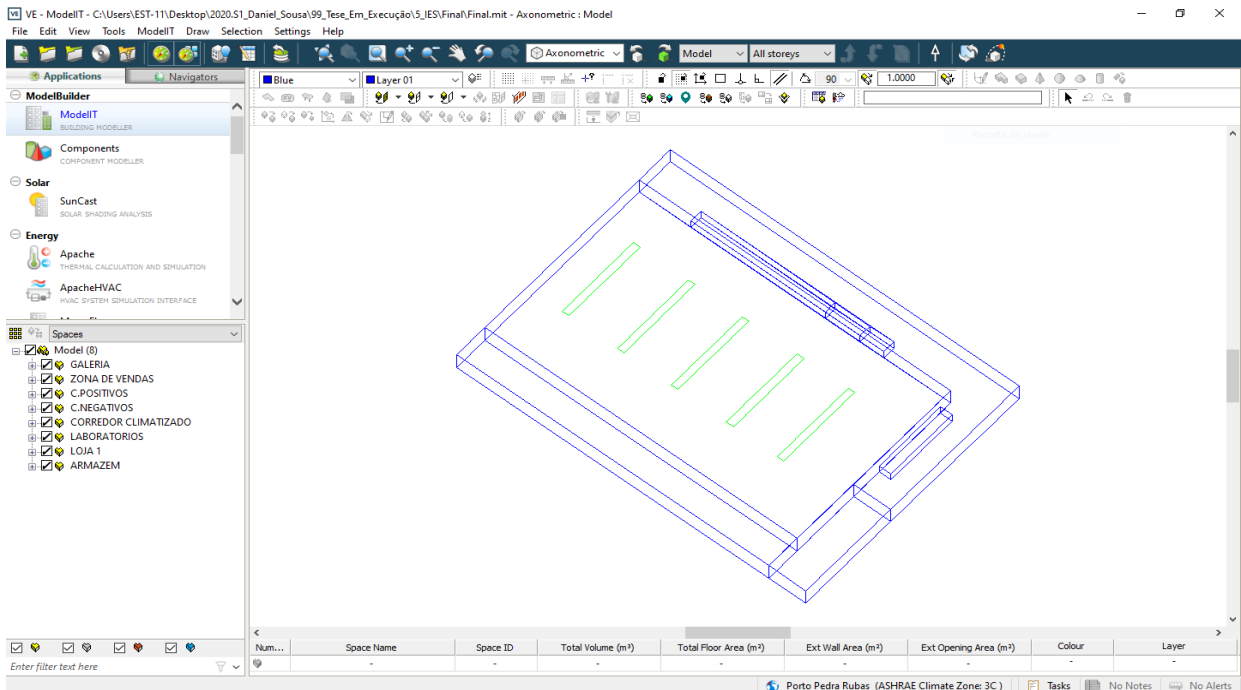


Figura 7.1 - Aspeto geral da interface do programa de simulação IES

7.3 ANEXO 3 – Parâmetros interiores do *target* na loja padrão

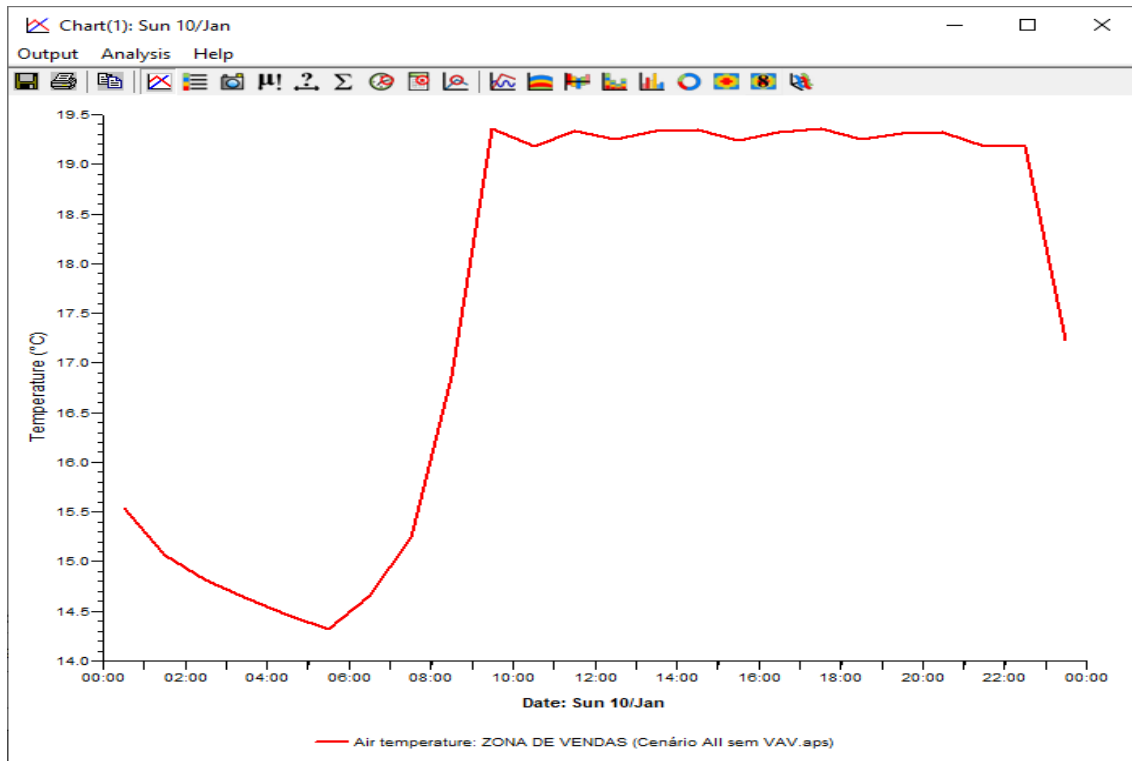


Figura 7.2 - Variação da temperatura do ar interior no dia mais frio do ano

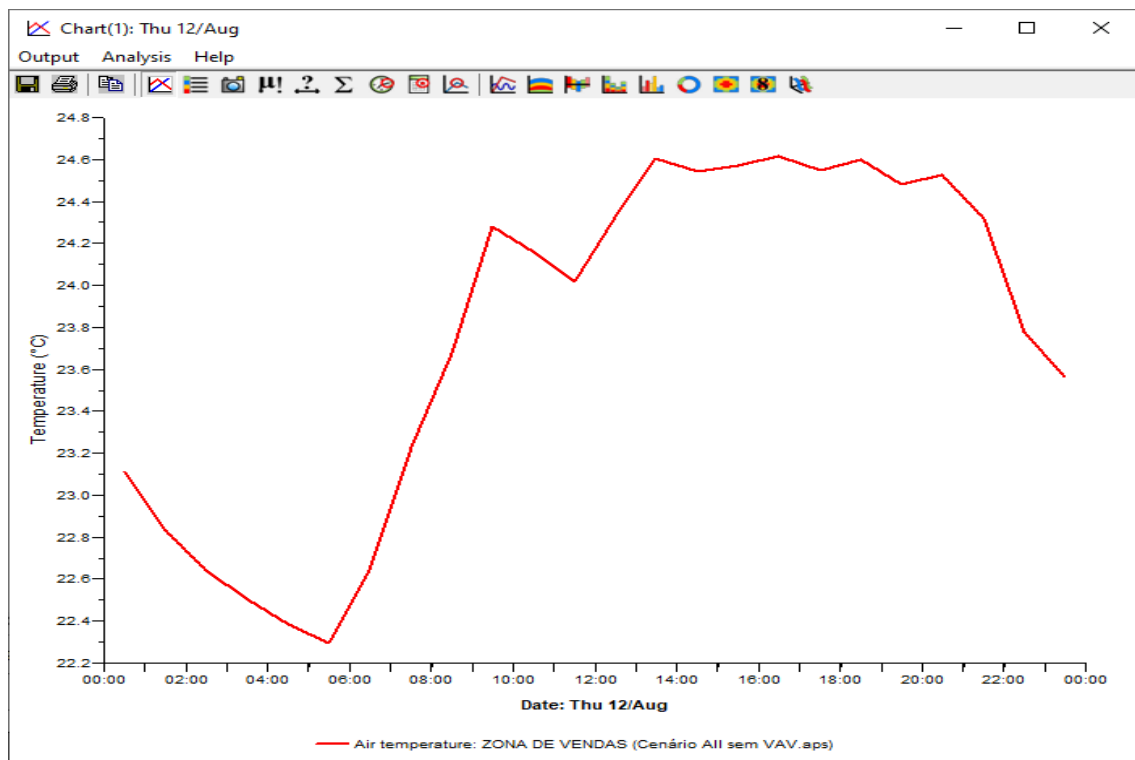


Figura 7.3 - Variação da temperatura do ar interior no dia mais quente do ano

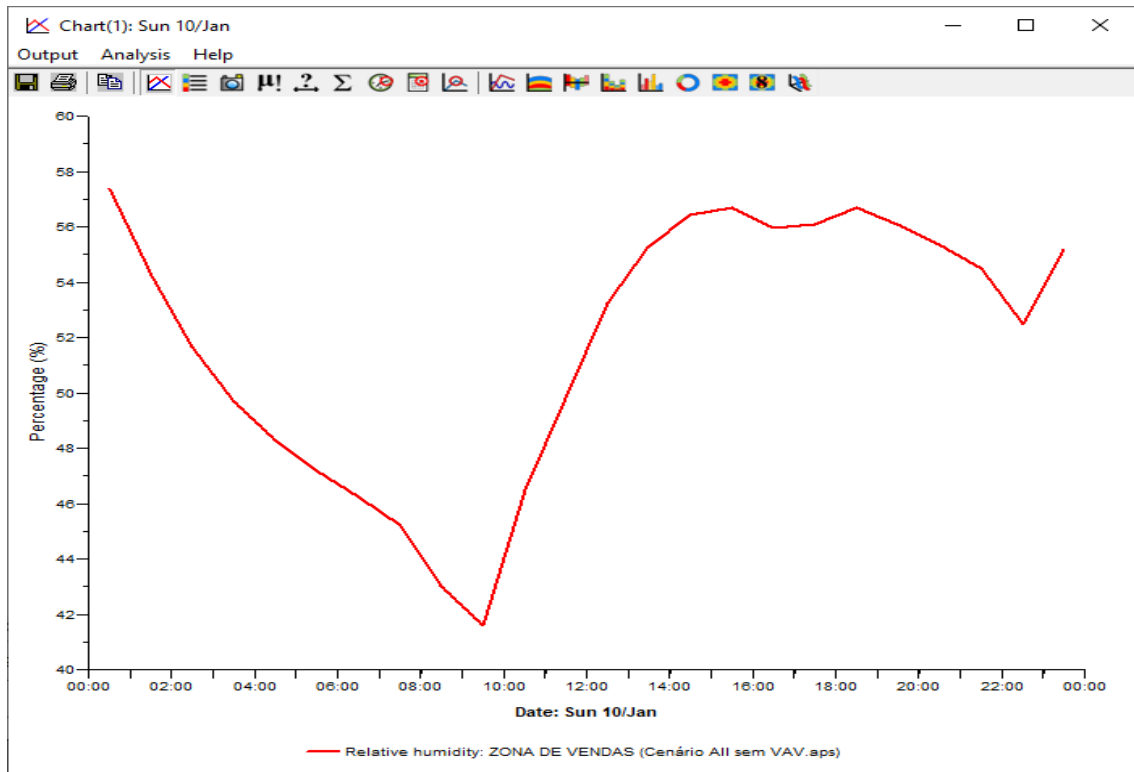


Figura 7.4 - Variação da humidade relativa no dia mais frio do ano

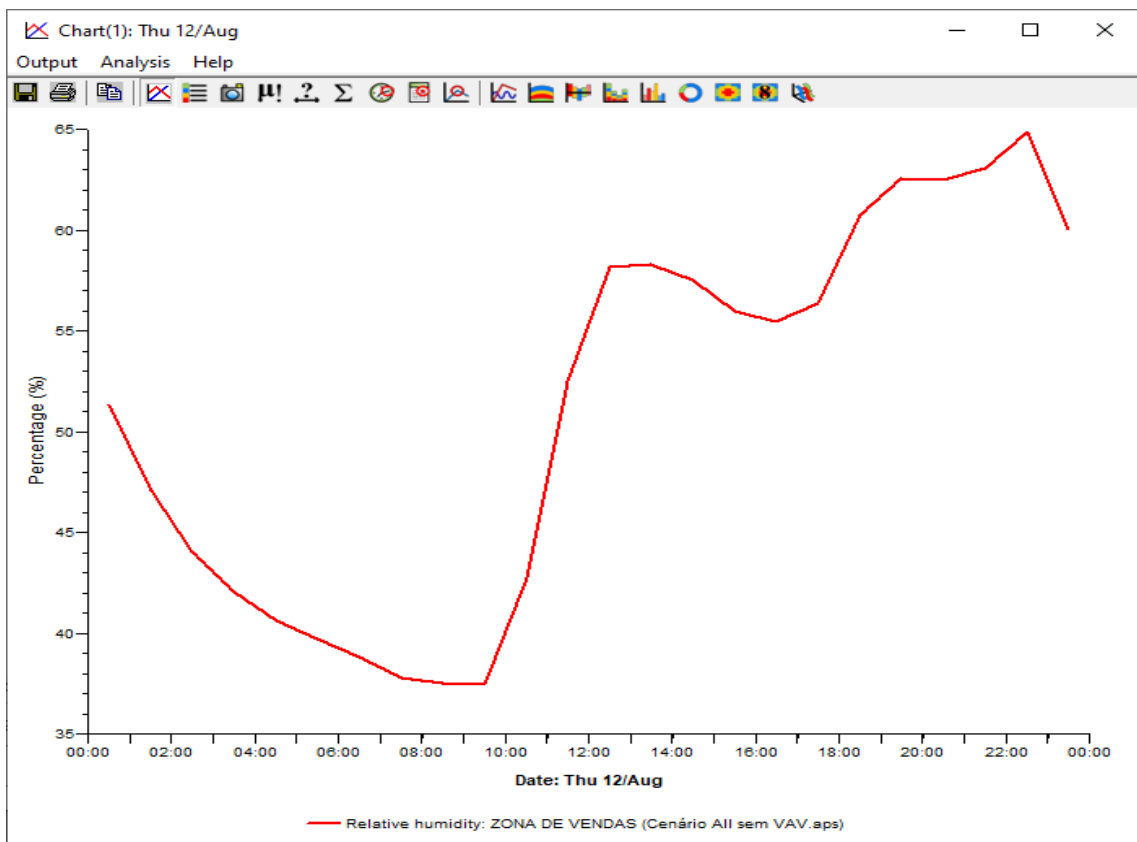


Figura 7.5 - Variação da humidade relativa no dia mais quente do ano

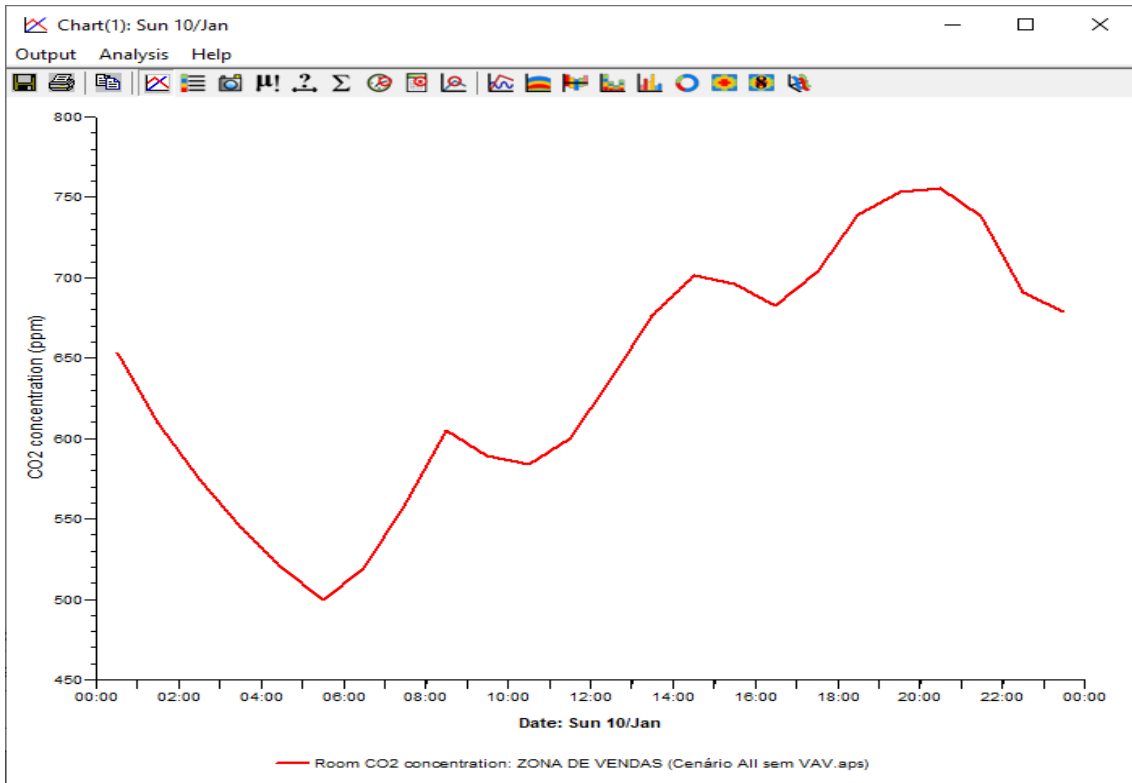


Figura 7.6 - Variação da concentração de CO2 no dia mais frio do ano

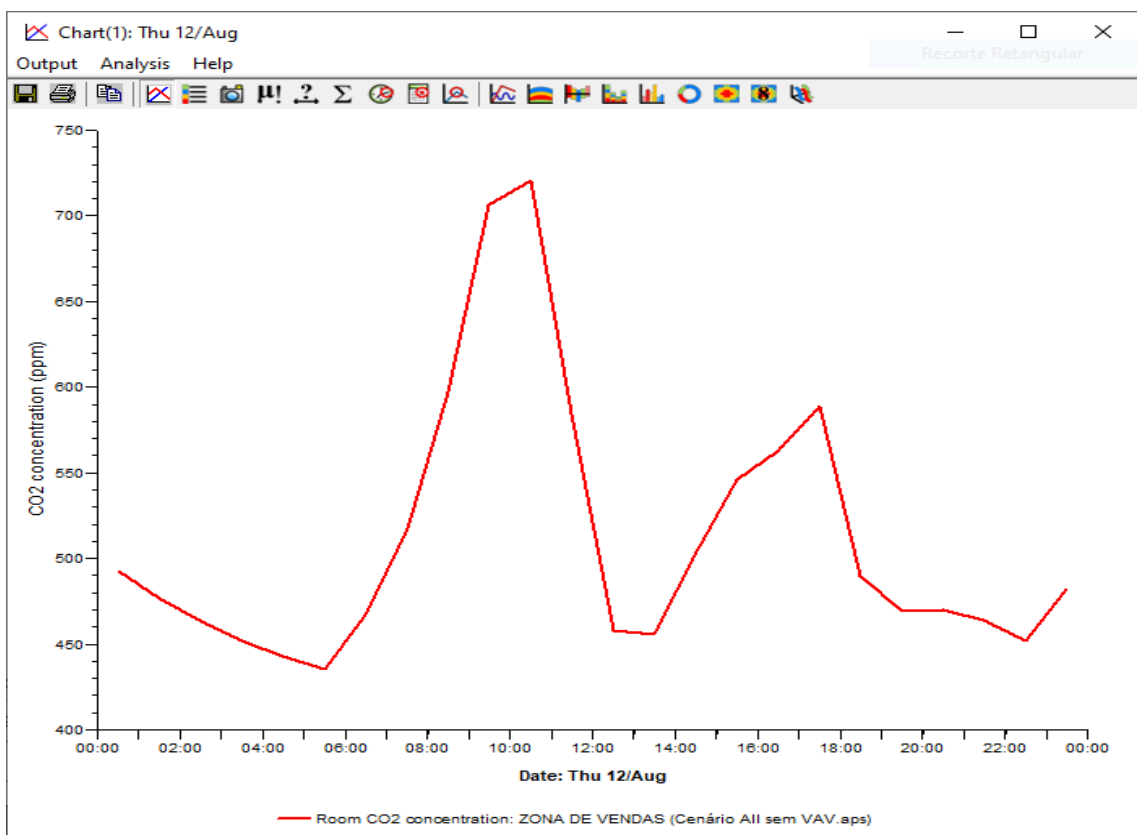
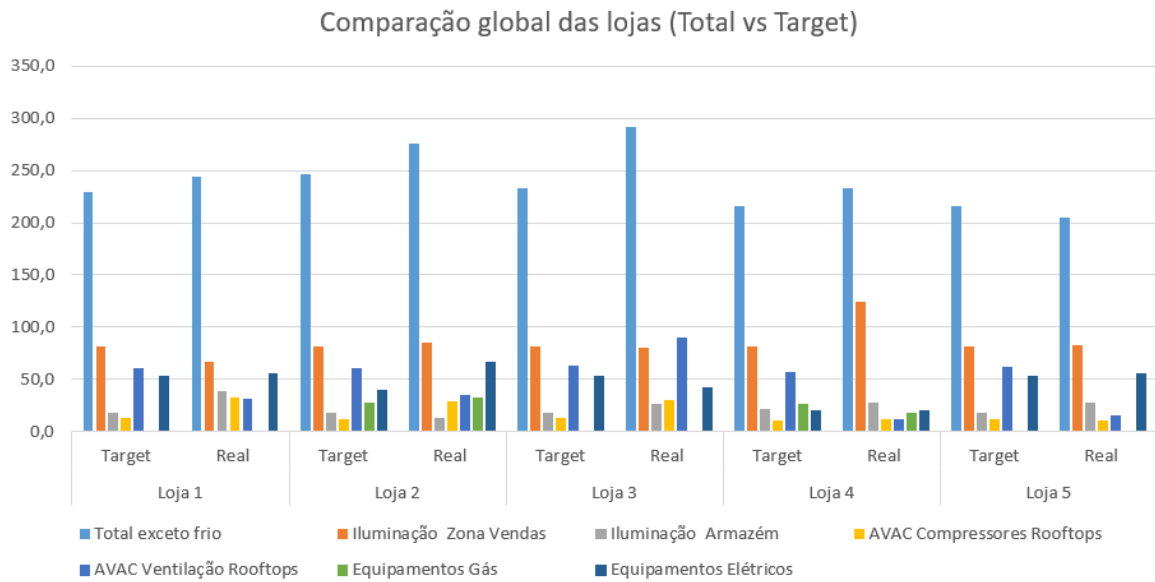


Figura 7.7 - Variação da concentração de CO2 no dia mais quente do ano

7.4 ANEXO 4 – Total vs Target



7.5 ANEXO 5 - Specialized Benchmarking Conceptual

O *Specialized Benchmarking Conceptual* é um documento que foi criado em conjunto com a ferramenta de simulação com o objetivo de sintetizar os parâmetros inseridos nesta. Desta forma, caso seja necessário criar uma nova, ou até mesmo alterar a existente, todos os dados estão registados, pelo que se tornará mais fácil e intuitivo para o utilizador. Serão de seguida apresentadas várias figuras deste documento.

1. BUILDING

		EXPECTED	OPERATIONAL	CONCEPTUAL	REFERENCE	NOTES	
RECONHECIMENTO DOS ESPAÇOS	Localização (climite)	As Is	As Is	As Is	As Is		
	Zones	Área de Vendas	As Is	As Is	As Is	As Is	Área dedicada a todo a zona de vendas
		Armazéns não Refrigerados	30% da área de vendas	30% da área de vendas	30% da área de vendas	30% da área de vendas	Área de armazém não refrigerado Esta área não deve incluir as áreas de laboratórios e corredores climatizados tipicamente 2% da área de
		Parque coberto (se aplicável)	As Is	As Is	As Is	As Is	Parque coberto subterrâneo (se aplicável)
		Parque exterior (se aplicável)	As Is	As Is	As Is	As Is	Parque coberto subterrâneo (se aplicável)
	Contexto	Tipo de loja (Built-in Stand-alone)	As Is	As Is	As Is	As Is	Loja embudada num centro comercial (Built-in) ou Loja atónora
		Parque coberto (existente inexistente)	As Is	As Is	As Is	As Is	Se existir parque subterrâneo (por baixo da área de vendas), c
		Lojas em contacto com área de vendas	Stand-alone: 0% Built-in: 80% Área de Vendas	Stand-alone: 0% Built-in: 80% Área de Vendas	Stand-alone: 0% Built-in: 80% Área de Vendas	Stand-alone: 0% Built-in: 80% Área de Vendas	Se existirem lojas ou outros espaços acima da zona de vendas, os mesmos serão modelados. Caso seja necessário, os valores default devem ser
		Factor de forma	1,7	1,7	1,7	1,7	O modelo Padrão tem sempre o mesmo factor de forma, baseado na média das lojas avaliadas e que é igual a 1,7, através da razão entre o comprimento e o lado. O universo de
	Horário	Horário de abertura ao público	As Is	As Is	As Is	As Is	Nos cálculos será considerado o horário de abertura ao público real. O modelo Padrão tem um horário de abertura às 08:30h todos os dias.
		Horário de reposição	As Is	As Is	Default 06:00h às 08:30h 23:00h - 24:00h	Default 06:00h às 08:30h 23:00h - 24:00h	Nos cálculos será considerado o horário de reposição real (a esclarecer em entrevista). O modelo Padrão tem um horário de reposição entre as 06:00h e as 08:30h e entre as 23:00h
		Horário de fecho	As Is	As Is	As Is	As Is	Nos cálculos será considerado o horário de abertura ao público real. O modelo Padrão tem um horário de fecho às 23h, todos os dias.
	ENVOLVENTE	Opaca	Cobertura Exterior	As Is	Default	Default	Default RECS: 0,5
Parede Exterior			As Is	Default	Default	Default RECS: 0,7	Valor Default com base no universo de lojas analisadas. (U=0,65 w/m ² .K). Corresponde a uma parede constituída do exterior para o interior por revestimento reboco tradicional de 2
Lage parque coberto / lojas			As Is	Default	Default	Default RECS: 0,5	Valor Default com base no universo de lojas analisadas.
Pavimento Exterior			As Is	Default	Default	Default RECS: 0,7	Valor Default com base no universo de lojas analisadas. (U=1,66 w/m ² .K). Corresponde a um pavimento constituído por revestimento em material cerâmico com 0,5 cm, camada
Parede interior (A.vendas - Armazém)			As Is	Default	Default	Default	Valor Default com base no universo de lojas analisadas. (U=1,80 w/m ² .K). Corresponde a uma parede constituída por bloco de betão normal de 20cm.
Parede interior (A.vendas - Laborató			As Is	Default	Default	Default	Valor Default com base no universo de lojas analisadas. (U=0,40 w/m ² .K). Corresponde a uma parede constituída por revestimento em alumínio 1cm, 5 cm de XPS e novamente
Parede interior (A.vendas - Camaras)			As Is	Default	Default	Default	Valor Default com base no universo de lojas analisadas. (U=0,31 w/m ² .K). Corresponde a uma parede constituída por revestimento em alumínio 1cm, 10 cm de XPS e novamente um
Parede interior (câmaras / laboratóri			As Is	Default	Default	Default	Valor Default com base no universo de lojas analisadas. (U=0,16 w/m ² .K). Corresponde a uma parede constituída por revestimento em alumínio 1cm, 5 cm de XPS, um revestimento
Envidraçados Verticais			As Is (Caso seja uma área relevante)	As Is (Caso seja uma área relevante)	Default (0 m ²)	Default (0 m ²)	Não foi considerado por ser pouco relevante no universo de lojas analisadas (1% da área de vendas, em média).
Envidraçados			Clarabóias (U)	As Is	Default	Default	Default
	Clarabóias (dimensões)	As Is	Default: 5% da área de zona de vendas equivalente a clarabóias	Default: 5% da área de zona de vendas equivalente a clarabóias	Default: 5% da área de zona de vendas equivalente a clarabóias	Valor Default obtido com base na área de clarabóias no universo de lojas analisadas. Note-se que as áreas associadas aos tubos de luz foram desconsideradas, visto	

Figura 7.8 - Specialized Benchmarking Conceptual

2. GANHOS INTERNOS (iluminação, equipamentos, ocupação)			EXPECTED	OPERATIONAL	CONCEPTUAL	REFERENCE	NOTES
ILUMINAÇÃO	ÁREA VENDAS	Densidade de iluminação [W/m ²]	As Is	As Is	LED = 13,8 FLU = 20,3	LED = 12,3	Valores médios obtidos através da análise do universo de lojas, obtendo-se: Valores LED a variar com mínimo de 12,27 e máximo 15,64; Valores FLU a variar com mínimo de 18,3 e máximo 21,76; Valores Mistos a variar com mínimo de 13,5 e máximo de 23,8. Considerou-se controlo horário nos vários circuitos (o horário otimizado de controlo resulta nas percentagens indicadas).
		Controlo	As Is	5% da 0h as 6h 30% das 6h as 8:30h 100% das 8:30h as 23:15h 30% das 23:15h a 0h	5% da 0h as 6h 30% das 6h as 8:30h	5% da 0h as 6h 30% das 6h as 8:30h	
	ARMAZÉM	Densidade de iluminação [W/m ²]	As Is	As Is	LED = 3,6 FLU = 5,4	LED = 1,58	Valores médios obtidos através da análise do universo de lojas, obtendo-se: Valores LED a variar com mínimo de 1,58 e máximo 5,79; Valores FLU a variar com mínimo de 3,20 e máximo 8,71; Percentagem de iluminação obtida através de controlo horário para o armazém. Caso exista controlo por sensores de ocupação será ajustado no REFERENCE
		Controlo	As Is	5% da 0h as 6h 50% das 6h as 8:30h 100% das 8:30h as 23:15h 50% das 23:15h a 0h	5% da 0h as 6h 50% das 6h as 8:30h	5% da 0h as 6h 50% das 6h as 8:30h	
PARQUES COBERTOS (se aplicável)	Densidade de iluminação [W/m ²]	As Is	As Is	LED: 1,0 FLU: 2,0	LED = 1,0	Admite-se que em determinadas lojas, por motivos operacionais e/ou de segurança possa ser necessário operar com níveis de iluminação superiores durante a noite	
		Controlo	As Is	10% da 0h as 6h 30% das 6h as 8:30h 100% das 8:30h as 23:15h 30% das 23:15h a 0h	10% da 0h as 6h 30% das 6h as 8:30h		10% da 0h as 6h 30% das 6h as 8:30h
	PARQUES EXTERIORES (se aplicável)	Densidade de iluminação [W/m ²]	As Is	As Is	LED: 0,8 FLU: 1,5	LED = 0,8	Admite-se que em determinadas lojas, por motivos operacionais e/ou de segurança possa ser necessário operar com níveis de iluminação superiores durante a noite
		Controlo	As Is	Horário + Fotocélula Habilitação: 06:00h às 24:00h Período da noite 00:00h às 06:00h Período de abertura ao público + 0,5h/dia: ON Outros: OFF	Horário + Fotocélula Habilitação: 06:00h às 24:00h Período da noite 00:00h às 06:00h Período de abertura ao público + 0,5h/dia: ON Outros: OFF	Horário + Fotocélula Habilitação: 06:00h às 24:00h Período da noite 00:00h às 06:00h Período de abertura ao público + 0,5h/dia: ON Outros: OFF	
TRANSPORTE MECÂNICO	Energia / Potência	As Is	As Is	As Is	As Is	Energia / Potência ver Anexo 1	
EQUIPAMENTOS	FORNOS	P. MÉDIA TOMADA[W/m ²]	As Is	Caso esteja disponível: As-Is Restantes casos: 15,69	15,69	15,69	O target de consumo (22,6 kWh/m ² .ano), foi obtido mediante análise de contagens de várias lojas
		Nº DE HORAS A 100%	As Is	Por defeito: 1440 Caso se verifique necessidade, pode ser ajustado.	1440	1440	
	CHARCUTARIA	P. MÉDIA TOMADA[W/m ²]	As Is	Caso esteja disponível: As-Is Restantes casos: 6,16	6,16	6,16	O target de consumo (16,6 kWh/m ² .ano), foi obtido mediante análise de contagens da loja de Ovar (única com contagens)
		Nº DE HORAS A 100%	As Is	Por defeito: 2694 Caso se verifique necessidade, pode ser ajustado.	2694	2694	
	PADARIA (restantes equipamentos)	P. MÉDIA TOMADA[W/m ²]	As Is	Caso esteja disponível: As-Is Restantes casos: 0,66	0,66	0,66	O target de consumo (3,4 kWh/m ² .ano), foi obtido mediante análise de contagens da loja de Ovar (única com contagens)
		Nº DE HORAS A 100%	As Is	Por defeito: 5179 Caso se verifique necessidade, pode ser ajustado.	5179	5179	
	PEIXARIA	P. MÉDIA TOMADA[W/m ²]	As Is	Caso esteja disponível: As-Is Restantes casos: 1,38	1,38	1,38	O target de consumo (3,4 kWh/m ² .ano), foi obtido mediante análise de contagens da loja de Ovar (única com contagens)
		Nº DE HORAS A 100%	As Is	Por defeito: 2466 Caso se verifique necessidade, pode ser ajustado.	2466	2466	
TALHO	P. MÉDIA TOMADA[W/m ²]	As Is	Caso esteja disponível: As-Is Restantes casos: 2,96	2,96	2,96	O target de consumo (5,1 kWh/m ² .ano), foi obtido mediante análise de contagens da loja de Ovar (única com contagens)	
	Nº DE HORAS A 100%	As Is	Por defeito: 1721 Caso se verifique necessidade, pode ser ajustado.	1721	1721		
OCUPAÇÃO		Área de Vendas: 12,5 m ² /pessoa	Área de Vendas: 12,5 m ² /pessoa	Área de Vendas: 12,5 m ² /pessoa	Área de Vendas: 12,5 m ² /pessoa	Densidade de ocupação por defeito (ASHRAE 62.1)	

Figura 7.9 - Specialized Benchmarking Conceptual

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE BENCHMARKING

DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE HIPERMERCADOS

Para os transportes verticais foi usado um anexo criado pela empresa que englobava seis lojas reais, a partir do qual se calculou a média dos consumos dos vários componentes e se aplicou ao modelo da loja padrão.

	<i>Transporte vertical [kWmédio/ equipamento]</i>				
	Escadas	Tapetes	Elevadores	M. Cargas	
	2,06	1,64	1,3	0,41	
	1,7	2,6	1,6		
	1,8	1,2	0,86		
	1,82	1,65	0,92		
	1,85	2,82	1,46	0,83	
	0,81	1,95	0,81		

Figura 7.10 - Equipamentos de transporte

7.6 ANEXO 6 – Obtenção das IPHs

		Daily peak Dias Úteis	Daily peak Fim de semana	hourly peak, sealing
Outdoor entrance characteristics		Porta seccional (cl foles de estanquicidade) + Porta rápida	Porta seccional (cl foles de estanquicidade) + Porta rápida	Porta seccional (cl foles de estanquicidade) + Porta rápida
Zone		Porta entrada	Porta entrada	Porta entrada
Indoor conditions	Temperature [°C]	22	22,5	22,5
	Relative Humidity [%]	60	60	60
	Enthalpy [kJ/kg]	47,27	48,57	45,46
	Density [kg/m ³]	1,18	1,18	1,18
Outdoor conditions	Temperature [°C]	30	30	30
	Relative Humidity [%]	40	40	40
	Enthalpy [kJ/kg]	57,3	57,3	57,3
	Density [kg/m ³]	1,15	1,15	1,15
Sensible/latent ratio		0,82	0,9	0,9
Width [m]		1,986	1,986	1,986
Height [m]		2,15	2,15	2,15
Df (Flow factor) ¹		1,10	1,10	0,80
Dt (Time factor) ²		0,09	0,08	0,57
P [un.] ³		350	312	229
εp [s/opening] ⁴		10	10	4
εo [min/time step] ⁵		40,8	36,4	19,1
εd [h/time step] ⁶		18	18	1
Ef (sealing effectiveness) ⁷		0	0	0
Number of doors		10	10	40
Load per door [kW _{av, per time step}]		0,81	0,64	4,40
Total load [kW _{av, per time step}]		8,12	6,37	175,99
Equivalent flow rate [m ³ /h]		2496	2293	12639
Equivalent ACH	Per zone	0,194	0,179	0,984
	Total	0,194	0,179	0,98
Equivalent air speed [m/s]		0,32	0,30	1,64

Tabela 7.2 - Folha de calculo usada para obtenção das IPHs

7.7 ANEXO 7 – Curva de desempenho da unidade RTU

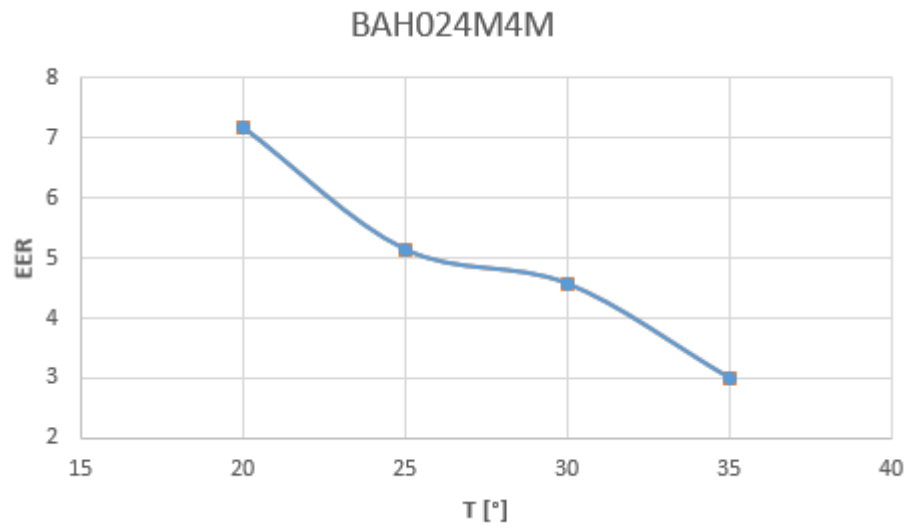


Gráfico 7.2 - Curva de desempenho da unidade RTU