



Simulação Dinâmica do Edifício E do ISEP

BRUNO OLIVEIRA COELHO

outubro de 2025



Simulação Dinâmica do Edifício E do ISEP

Bruno Oliveira Coelho

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Energia**

Orientadora: Engenheira Ana Maria Raposo João

Co-orientador: Engenheiro Joaquim Monteiro

Júri:

Presidente:

Rui de Araújo Rego, Professor Adjunto, ISEP

Vogais:

Ana Isabel Palmero, Engenheira Sénior, INEGI

Ana Raposo João, Professora Adjunta, ISEP

Porto, setembro 2025

Dedicatória

A vocês, pai, mãe e mano, o meu muito obrigado.

Agradecimentos

Ao longo do meu percurso académico, contei com o apoio e a motivação de muitas pessoas que tiveram um papel essencial na minha vida. A todas elas, o meu sincero agradecimento.

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, pelo esforço incansável ao longo de todo o meu percurso académico. Sem eles, nada disto teria sido possível. Obrigado, Pai e Mãe, por acreditarem em mim e por me apoiarem em todas as decisões.

Ao meu irmão, Lucas, que esteve sempre presente, especialmente nos momentos mais difíceis, com o seu apoio e bom humor, ajudando-me a seguir em frente.

À minha namorada, Antónia, que, apesar da distância, com paciência enfrentou o meu mau feitio em muitos momentos, mas que nunca deixou de me motivar, apoiar e encorajar a não desistir.

Aos meus amigos e companheiros da casa na Rua Dr. Santos Rocha — o Manu, o Tomi, o Cabral, o Gota e o Ratinho — agradeço por todos os bons momentos que partilhámos e pela amizade verdadeira que construímos, e que sei que irá perdurar.

Aos meus amigos da terra, o Marco, o Sena, o Semog, o João, o Rodrigo, o Tó, o Kiko, o Chico, e a todos os outros, por todos os fins de semana em que nos reunimos para aliviar o peso das semanas mais exigentes — muito obrigado.

À minha Avó Rosa, o meu reconhecimento pelos conselhos e sermões sobre a vida, sempre com a sabedoria de quem muito viveu.

Um agradecimento muito especial aos meus orientadores de dissertação, a Eng.ª Ana João e o Eng.º Joaquim Monteiro, pelas imensas horas passadas no laboratório, e pela orientação e incentivo fundamentais para concluir este trabalho.

Quero também agradecer à Professora Elisabete Bárbara pelo incentivo e motivação que me deu durante o secundário para me encorajar e prosseguir com os estudos.

Por fim, um agradecimento à ECOWORLD, na pessoa do Eng.º Santos Leite, e à Rapidgas, na pessoa do Sr. Hélder Sousa, pela compreensão e flexibilidade, que me permitiram conciliar o trabalho com a conclusão do mestrado.

A todos vós, como a tantos outros, muito obrigado!

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo a realização de uma simulação dinâmica do Edifício E do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), com vista à análise do seu desempenho energético e identificação de medidas de melhoria que contribuam para a redução dos consumos e das emissões associadas.

Numa fase inicial, foi efetuado o levantamento detalhado dos equipamentos elétricos existentes no edifício, bem como da sua taxa de ocupação e dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) em funcionamento. Posteriormente, procedeu-se à modelação do edifício recorrendo ao software OpenStudio, onde foram introduzidos todos os elementos construtivos relevantes, nomeadamente paredes, coberturas, pavimentos e vãos envidraçados, de forma a representar fielmente a envolvente térmica do edifício.

Os resultados iniciais da simulação evidenciaram um consumo total anual de 558,45 MWh, valor significativamente superior ao consumo faturado de 240,13 MWh, representando uma diferença de 236%. A análise permitiu concluir que os principais consumidores de energia correspondem ao servidor associado ao edifício, responsável por cerca de 39% do consumo total, e aos equipamentos de arrefecimento, com aproximadamente 32%.

De modo a reduzir as discrepâncias entre os resultados simulados e os valores reais, foram realizadas várias calibrações ao modelo, ajustando-se o funcionamento e os horários dos equipamentos de AVAC, bem como os perfis de utilização e de cargas internas. Após este processo, obteve-se uma diferença de apenas 17% face ao consumo real, valor considerado aceitável para efeitos de validação do modelo.

Numa fase posterior, foram estudadas diversas medidas de melhoria energética, abrangendo três eixos principais: melhoria da envolvente opaca e envidraçada, substituição e otimização de equipamentos por soluções de maior eficiência, e integração de sistemas de produção de energia renovável. A aplicação combinada destas medidas permitiu reduzir o consumo anual do edifício para 201 MWh, o que representa uma diminuição significativa face ao cenário de referência.

Por fim, a instalação de uma central fotovoltaica com 440 m² de painéis solares demonstrou um elevado potencial de autoconsumo, permitindo cobrir aproximadamente 78% da energia total necessária ao edifício. Estes resultados comprovam a eficácia das medidas propostas e evidenciam a importância da simulação dinâmica como ferramenta de apoio à decisão na reabilitação energética de edifícios de serviços.

Palavras-chave: simulação dinâmica, edifício de serviços, OpenStudio, eficiência energética, painéis fotovoltaicos, calibração de modelos

Abstract

The present work aims to perform a dynamic simulation of Building E of the Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), with the purpose of analysing its energy performance and identifying improvement measures that contribute to reducing energy consumption and associated emissions.

Initially, a detailed survey of the existing electrical equipment, occupancy profiles, and HVAC systems was carried out. The building was then modelled using OpenStudio, incorporating all relevant construction elements such as walls, roofs, floors, and glazed areas, in order to accurately represent the thermal envelope of the building.

The initial simulation results indicated an annual total energy consumption of 558.45 MWh, significantly higher than the billed consumption of 240.13 MWh, corresponding to a 236% deviation. The analysis revealed that the server room accounted for approximately 39% of total energy use, while cooling equipment represented around 32%.

Several calibration stages were performed, adjusting HVAC operating schedules and internal loads to better match real conditions. After calibration, the difference between simulated and real consumption was reduced to 17%, which is considered acceptable for model validation.

Subsequently, various energy efficiency measures were proposed, focusing on three main areas: improvement of the building envelope, replacement of existing equipment with more efficient systems, and integration of renewable energy sources. Implementing these measures reduced the total annual energy consumption to 201 MWh.

Finally, the installation of a 440 m² photovoltaic system demonstrated a strong self-consumption potential, capable of supplying approximately 78% of the building's total energy demand. These results confirm the effectiveness of the proposed strategies and highlight the relevance of dynamic simulation as a decision-support tool for the energy rehabilitation of service buildings.

KEYWORDS: dynamic simulation, service building, OpenStudio, energy efficiency, photovoltaic panels, model calibration

Índice

Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas.....	xvii
Acrónimos e Símbolos.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Energia Renovável.....	2
1.2.1. Em Portugal.....	3
1.3. Objetivos do trabalho.....	5
1.4. Estrutura do estudo.....	6
2. Revisão Bibliográfica.....	9
2.1. Legislação em Portugal.....	9
2.2. Desempenho energético em edifícios.....	11
2.2.1. Apoios do Estado Português para melhorar o desempenho energético de edifícios	12
2.2.2. Sistema de Certificação Energética em Edifícios.....	13
2.2.3. Indicadores de Eficiência Energética.....	15
2.2.4. Auditoria Energética a Edifícios de Serviços.....	18
2.3. Simulação Dinâmica em Edifícios.....	19
2.3.1. Norma ASHRAE 140.....	20
2.4. Ferramentas de Simulação Dinâmica.....	22
2.4.1. EnergyPlus.....	22
2.4.2. DesignBuilder.....	24
2.4.3. OpenStudio.....	24
2.4.4. Cypetherm.....	25
3. Caso de Estudo.....	27
3.1. Simulação Dinâmica.....	28
3.2. Dados climáticos.....	29
3.3. Envolvente térmica.....	29
3.3.1. Paredes exteriores.....	30
3.3.2. Paredes interiores.....	31
3.3.3. Pavimentos.....	32
3.3.4. Envidraçados.....	32
3.4. Cargas Térmicas.....	33
3.4.1. Iluminação.....	34
3.4.2. Ocupação interior.....	35

3.4.3. Equipamentos elétricos	35
3.5. Equipamentos de AVAC.....	37
3.5.1. Ventiloinvectores	38
3.5.2. Chillers.....	38
3.5.3. Caldeira	39
3.5.4. Expansão direta.....	39
3.5.5. Ventiladores.....	40
3.5.6. UTA's.....	40
4. Análise e discussão de resultados, e calibração do modelo	41
4.1. Análise de resultados	41
4.1.1. Consumos reais do edifício	41
4.1.2. Análise dos resultados da simulação	44
4.2. Comparativo entre consumos faturados e simulados	46
4.2.1. Consumos de energia elétrica e gás	46
4.3. Calibração do modelo	48
4.3.1. Calibração 1.....	48
4.3.2. Calibração 2.....	49
4.3.3. Calibração 3.....	50
4.3.4. Calibração 4.....	51
4.3.5. Calibração 5.....	52
4.4. Análise Final	53
5. Medidas de melhoria e análise financeira	57
5.1. Medidas de melhoria	58
5.1.1. Medida de melhoria 1: Aplicação de isolamento EPS nas paredes exteriores... 58	
5.1.2. Medida de melhoria 2: Aplicação de isolamento XPS na cobertura..... 60	
5.1.3. Medida de melhoria 3: Colocação de películas nos vãos envidraçados	61
5.1.4. Medida de melhoria 4: Substituição do Chiller do Servidor	62
5.1.5. Medida de melhoria 4: Substituição dos ventiladores existentes	63
5.1.6. Medida de melhoria 6: Substituição da caldeira e chiller existentes por uma Bomba de calor ar-água. 64	
5.1.7. Medida de melhoria 7: Aplicação de painéis fotovoltaicos na cobertura. 65	
5.2. Análise das medidas de melhoria.....	67
5.2.1. Medidas de melhoria escolhidas	68
6. Conclusões e trabalhos futuros	71
6.1. Trabalhos futuros	72
Referências.....	75
Declaração de Integridade	79
Apêndice A – Características físicas dos materiais de construção.....	81

Apêndice B – Características físicas dos equipamentos de iluminação.....	83
Apêndice C – Características físicas dos equipamentos de climatização e ventilação	85
Apêndice D – Resultados obtidos nos modelos de calibração.....	89
Apêndice E – Análise detalhada das medidas de melhoria	95
Anexo A – Perfis de funcionamento da modelação.....	99
Anexo B – Dados Auditoria Energética	103
Anexo C – Características físicas do sistema de expansão direta	104
Anexo D – Características dos materiais utilizados nas medidas de melhoria	105

Lista de Figuras

Figura 1- Contribuição relativa das várias fontes renováveis de energia na produção de eletricidade na UE, adaptado do Eurostat [9].....	3
Figura 2 - Incorporação de renováveis no setor da eletricidade na UE, em 2023 [12].....	4
Figura 3 - Evolução da produção de eletricidade por fontes renováveis [12]	5
Figura 6 - Classificação Energética dos Edifícios [26].....	13
Figura 7-Programas mais utilizados do estudo realizado [22]	23
Figura 8 - Figura 8 - Dados de entrada e saída do EnergyPlus [38].....	23
Figura 9 - Interface do software DesignBuilder [39].....	24
Figura 10-Interface do OpenStudio.....	25
Figura 11 - Interface do Cypetherm [50].....	26
Figura 12- Localização edifício E do ISEP	27
Figura 13 - Dados climáticos do Grande Porto, em formato EPW.....	29
Figura 14 - Constituição da parede exterior	30
Figura 15 - Composição da parede interior do edifício.....	31
Figura 16 - Dados de entrada do <i>software</i> para a criação de uma lâmpada, imagem retirada do <i>Openstudio</i>	34
Figura 17-Consumo médio, de energia elétrica e gás natural, faturado mensalmente.	44
Figura 18- Consumo mensal faturado de gás natural.....	42
Figura 19-Consumo mensal faturado de energia elétrica.....	43
Figura 20- Distribuição do consumo energético anual simulado pelos diversos setores.....	45
Figura 21- Comparativo entre consumo elétrico faturado e simulado.....	47
Figura 22-Comparativo entre consumo de gás faturado e simulado	48
Figura 23-Comparativo entre os consumos da simulação base com a calibração 1.	49
Figura 24-Análise de resultados da calibração 2, e comparativo com a calibração 1.	50
Figura 25-Análise de resultados da calibração 3, e comparativo com a calibração 2.	51
Figura 26-Análise dos consumos da calibração 4, e comparativo com a calibração 3.	52
Figura 27-Análise dos resultados da calibração 5, e comparativo com a calibração 4.....	53
Figura 28- Análise gráfica dos consumos da calibração 5 em relação ao consumo faturado. ..	54
Figura 29 - Implementação dos painéis fotovoltaicos na cobertura	66

Lista de Tabelas

Tabela 1- Tabela resumo da legislação portuguesa	10
Tabela 2 - Apoios do Fundo Ambiental para melhorar a eficiência energética, adaptado de[24]	12
Tabela 3 - Caracterização dos consumos do Tipo S e T, adaptado de [26]	16
Tabela 4 - Fatores de conversão de energia final para primária, adaptado do Manual SCE [28]	17
Tabela 5 - Fatores de conversão de energia primária para emissões de CO2, adaptado do Manual SCE [28]	17
Tabela 6 - Programas de simulação certificados pela Norma ASHRAE 140 [50].....	21
Tabela 7- Área total do edifício.....	28
Tabela 8 – Características físicas dos materiais da parede exterior.	30
Tabela 9 - Características físicas dos materiais da parede interior.....	31
Tabela 10 - Características físicas do pavimento de betão	32
Tabela 11 - Número de janelas por piso.	32
Tabela 12- Set-point dos termóstatos interiores para as diferentes estações	37
Tabela 13- Temperatura de operação dos chillers	38
Tabela 14- Temperaturas de operação da caldeira.	39
Tabela 15 - Análise energética da aplicação da medida de melhoria 1.....	59
Tabela 16-Análise financeira da medida de melhoria 1.....	60
Tabela 17- Análise energética da aplicação da medida de melhoria 2.....	60
Tabela 18- Análise financeira da medida de melhoria 2.....	61
Tabela 19- Análise energética da aplicação da medida de melhoria 4.....	62
Tabela 20-Análise financeira da medida de melhoria 4.....	63
Tabela 21- Análise energética da aplicação da medida de melhoria 5.....	63
Tabela 22-Análise financeira da medida de melhoria 5.....	64
Tabela 23-Análise energética da aplicação da medida de melhoria 6.....	64
Tabela 24-Análise financeira da medida de melhoria 6.....	65
Tabela 25-Produção e consumo, anual, de energia fotovoltaica no edifício.....	66
Tabela 26- Análise financeira da medida de melhoria 7.....	67
Tabela 27 - Produção e consumo, anual, de energia fotovoltaica no edifício	69
Tabela 28-Análise energética da aplicação das medidas de melhoria aplicadas.....	69
Tabela 29- Análise financeira das medidas de melhoria aplicadas.....	70

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

ADENE	Agência para a Energia
API	Interface de Programação de Aplicativos
AQS	Águas Quentes Sanitárias
ARCE	Acordo de Racionalização
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado
BEM	Building Energy Modeling
CDSM	Simulação Dinâmica Monozona
CIE	Instalações Consumidores Intensivas de Energia
CQNUAC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas
DGES	Direção Geral da Energia e Geologia
DOE	Departamento de energia dos EUA
EDP	Energias de Portugal
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EUA	Estados Unidos da América
FER	Fonte de Energias Renováveis
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GES	Grande Edifício de Comércio e Serviços
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
KP	Protocolo de Quioto
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
nZEB	Nearly Zero Energy Building
NZEB	Net Zero Energy Building
PCE	Pré-certificado energético
PES	Pequeno Edifício de Serviços
PEScC	Pequeno Edifício de comércio e Serviços com Climatização
PESsC	Pequeno Edifício de comércio e Serviços sem Climatização
PNEC	Plano Nacional Integrado de Energia e Clima
PRE _n	Plano de Racionalização dos Consumos de Energia
PTL	Pontes Térmicas Lineares

QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SAT	Serviços de Apoio técnico
SCE	Sistema de Certificação Energética
SDM	Simulação Dinâmica Multizona
SGCIE	Sistemas de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
UE	União Europeia
UTA	Unidade de Tratamento de Ar

Lista de Símbolos

m	massa	kg
T	temperatura	°C
ρ	massa volúmica	kg m ⁻³
k	condutibilidade térmica	W (m .°C) ⁻¹
U	coeficiente de transmissão térmica	W (m ² .°C) ⁻¹
R	resistência térmica	m ² .°C W ⁻¹
RS_I	resistência térmica superficial interior	m ² .°C W ⁻¹
RS_E	resistência térmica superficial exterior	m ² .°C W ⁻¹
$E_{d,asc}$	Consumo elétrico diário do elevador	Wh/dia
$E_{a,asc}$	Consumo elétrico anual do elevador	kWh/ano
t_{ist}	Tempo de inatividade diário do elevador	h/dia
Q_{asc}	Carga nominal do elevador	kg
I	Intensidade energética	kWh/m ² . ano
S_m	Distância média percorrida pelo elevador	m
I_m	Distância máxima percorrida pelo elevador	m
α	Absortância solar	
g	Fator solar	
n_a	Número de viagens diário do elevador	
BTR	Coeficiente de redução de perdas	
COP	Coeficiente de Desempenho	
IEE	Indicador de Eficiência Energética	
IEEpr	Indicador de Eficiência Energética Previsto	
IEEref	Indicador de Eficiência Energética de Referência	
IEEs	Indicador de Eficiência Energética do Tipo S	
IEET	Indicador de Eficiência Energética do Tipo T	

1. Introdução

O presente capítulo tem como finalidade apresentar o enquadramento geral do estudo, abordando a relevância das energias renováveis no contexto da transição energética e as metas europeias e nacionais para a redução das emissões de gases com efeito de estufa. São ainda descritos os principais objetivos do trabalho e a sua relação com a necessidade de reduzir os elevados consumos energéticos verificados nos edifícios, promovendo soluções mais eficientes e sustentáveis.

1.1. Enquadramento

O aquecimento global tem sido alvo de atenção crescente desde o final do século XX, assumindo hoje um papel central na sustentabilidade do planeta. As três revoluções industriais, iniciadas no final do século XVIII, conduziram a um aumento exponencial do consumo de recursos naturais, em especial de combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo e o gás natural, para suprir as necessidades energéticas. A utilização destes combustíveis implica a sua queima, que origina poluição atmosférica e a emissão de gases com efeito de estufa (GEE), entre os quais se destacam o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O)[1]

Tornou-se, assim, necessário adotar uma perspetiva orientada para a proteção ambiental e para a sustentabilidade do ecossistema, de modo a satisfazer as necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras [2]. Nesse contexto, foi estabelecida no Rio de Janeiro, a 13 de junho de 1992, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC), com o objetivo de incentivar os países mais industrializados a reduzir as suas emissões de gases poluentes, bem como a criar fundos ambientais destinados a apoiar a transição para modelos de desenvolvimento mais sustentáveis [3]. Portugal é um dos países signatários da convenção, tendo procedido à sua ratificação a 21 de junho de 1993, através do Decreto-Lei n.º 20/93, posteriormente retificado pelo Decreto-Lei n.º 14/2003 [4].

Foi mais tarde reconhecido que os compromissos iniciais definidos na CQNUAC não estavam a ser suficientes para sustentar o aumento de GEE. Foi então, a 11 de dezembro de 1997 na Terceira Conferência das Partes, que teve lugar em Quioto, que se adotou o Protocolo de Quioto (KP), sendo que este seria do primeiro tratado jurídico internacional no âmbito das alterações climáticas, herdando os princípios da CQNUAC. Foram definidas algumas metas aos países mais desenvolvidos industrialmente e economicamente, para que as suas emissões de GEE sofressem uma redução de 5 % face ao ano de 1990, durante um período de 5 anos, entre 2008-

Introdução

2012 [5] . Os países membros da União Europeia (UE), onde se incluía Portugal, foram mais além e limitaram esse aumento a 27%, face ao ano de 1990 [6].

Mais uma vez, e apesar dos esforços feitos pela maioria dos países associados, os resultados não estavam a ser os esperados, e a temperatura média da terra aumentava, provocando sérios problemas na biodiversidade e na população, sendo que, nos últimos 20 anos, a mortalidade relacionada com o calor na população com idades superiores a 65 anos aumentou em mais de 50% [7]. Na 21.ª Conferência das Partes da CQNUAC, realizada em Paris em 2015, foi assinado o Acordo de Paris, aprovado pela UE nos termos da Decisão (UE) 2016/590, que estabeleceu uma meta de longo prazo, de limitar aumento da temperatura média global abaixo dos 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, e em envidar esforços para conseguir que essa margem fosse de 1,5 °C. Já em outubro de 2014 o Conselho Europeu tinha definido metas climáticas e energéticas para o horizonte de 2030, que incluíam uma redução vinculativa de, pelo menos, 40% nas emissões de gases com efeito de estufa (GEE) face aos níveis de 1990, apostando simultaneamente na transição para fontes de energia renováveis, limpas e sustentáveis [8].

1.2. Energia Renovável

Para combater o consumo excessivo de combustíveis fósseis, começou-se a intensificar a utilização de fontes de energia renovável, as quais, por serem sustentáveis, desempenham um papel fundamental no combate às alterações climáticas e ao aquecimento global. Entre as principais fontes destacam-se a energia solar, eólica, hídrica, geotérmica e a proveniente da biomassa [9].

Na União Europeia, em 2024, a produção de energia renovável apresenta uma distribuição heterogénea, com predominância da energia eólica, que representa 39,1% do total, como se pode verificar na Figura 1. Segue-se a energia hídrica, responsável por 29,9%, e a energia solar, com uma contribuição de 22,4%. Já os combustíveis fósseis de origem renovável, como a biomassa e o biogás, assumem uma expressão mais reduzida, correspondendo a 8,1%. Esta distribuição evidencia a forte aposta europeia na expansão das fontes eólica e solar, associada à consolidação da hídrica, enquanto a biomassa mantém um papel complementar. O panorama reflete, assim, uma diversificação estratégica das fontes renováveis, essencial para a transição energética e para o cumprimento das metas de neutralidade carbónica estabelecidas pela União Europeia. [9], [10] .

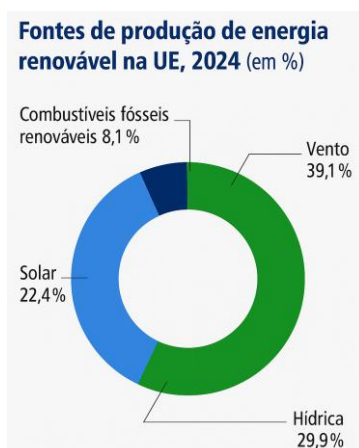


Figura 1- Contribuição relativa das várias fontes renováveis de energia na produção de eletricidade na UE, adaptado do Eurostat [9]

1.2.1. Em Portugal

A União Europeia, por intermédio da Diretiva 2009/28/CE, definiu metas ambiciosas para o uso de energias renováveis em Portugal até 2020, estipulando a integração de 31% de energia renovável no consumo final bruto e de 10% no setor dos transportes. Posteriormente, estas metas foram revistas com a publicação da Diretiva (UE) 2018/2001, que fixou um objetivo mais exigente, estabelecendo que, até 2030, 32% do consumo bruto de energia da União Europeia deverá ser proveniente de fontes renováveis.

Já em 2016, a Comissão Europeia introduziu o Pacote Legislativo “Energia Limpa para todos os Europeus”, com as metas definidas para 2023, incluindo os 32% de quota de energia proveniente de fontes renováveis, 32,5% de redução do consumo de energia e 40% de redução dos GEE. Portugal, em resposta, elaborou o “Plano Nacional Integrado de Energia e Clima” para 2030 (PNEC 2030), onde se estabeleceram metas nacionais como a redução de 45% a 55% nas emissões de GEE, 47% de energia renovável no consumo final bruto de energia e uma redução de 35% no consumo de energia primária [11].

Na Figura 2, encontra-se representada a percentagem de incorporação de diferentes tipos de Fontes de Energia Renovável (FER) no sector de eletricidade, em vários países da UE. Portugal encontra-se na quarta posição, com um total de 63 %, valor bem acima do que foi estabelecido no PNEC para 2030, sendo que a maior parte é produzida através das energias hídrica e da eólica, que juntas representam 76% da produção total [12].

Introdução

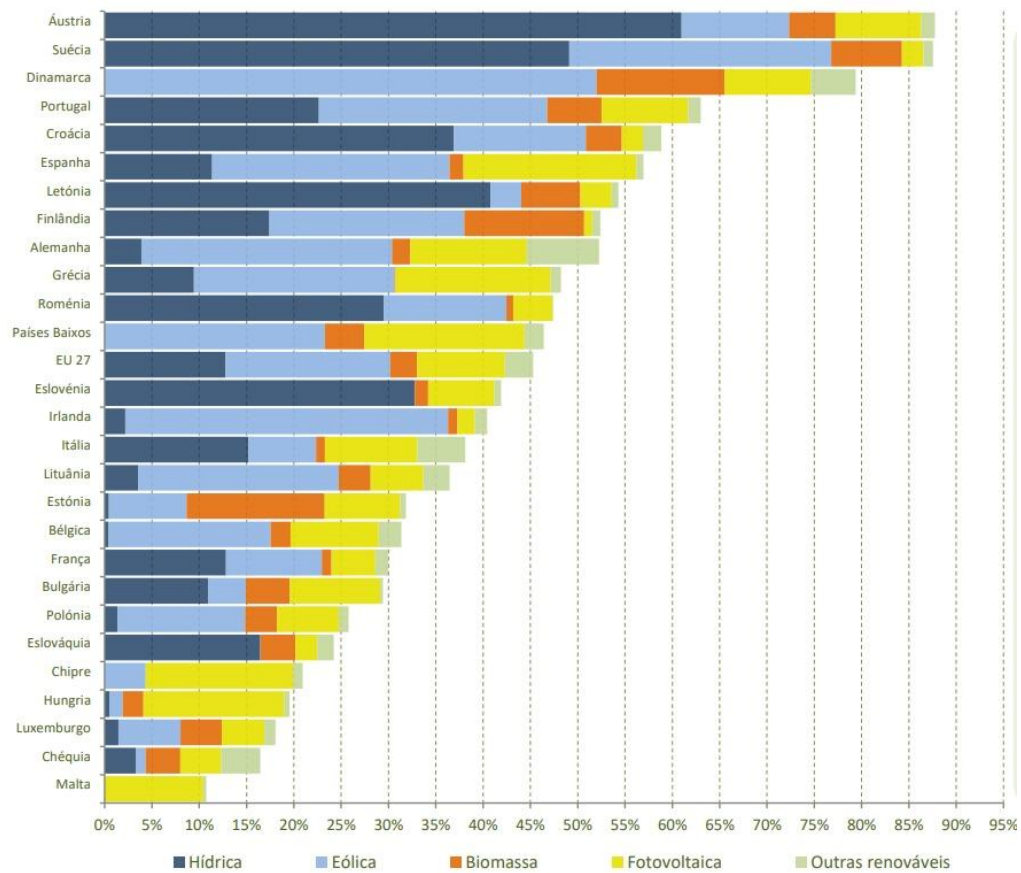


Figura 2 - Incorporação de renováveis no setor da eletricidade na UE, em 2023 [12]

O contributo das FER, em Portugal, no consumo final bruto de energia, em 2023, foi de 45,3%, cumprindo com os 32% definidos na Diretiva (UE) 2018/2001, sendo o contributo das fontes de energia renovável na produção de eletricidade FER-E, de 61,4%. Em Portugal, a hídrica e eólica são as fontes que mais produzem, como se encontra ilustrado na Figura 3, estando maioritariamente localizadas em maior potência na região norte e centro do país. A produção eólica sempre se manteve estável, apesar de existirem cada vez mais parques eólicos. Já a fonte hídrica tem algumas quebras devido a fatores climáticos, as secas de 2015, 2017 e 2022 que representaram uma queda na produção de energia [13].

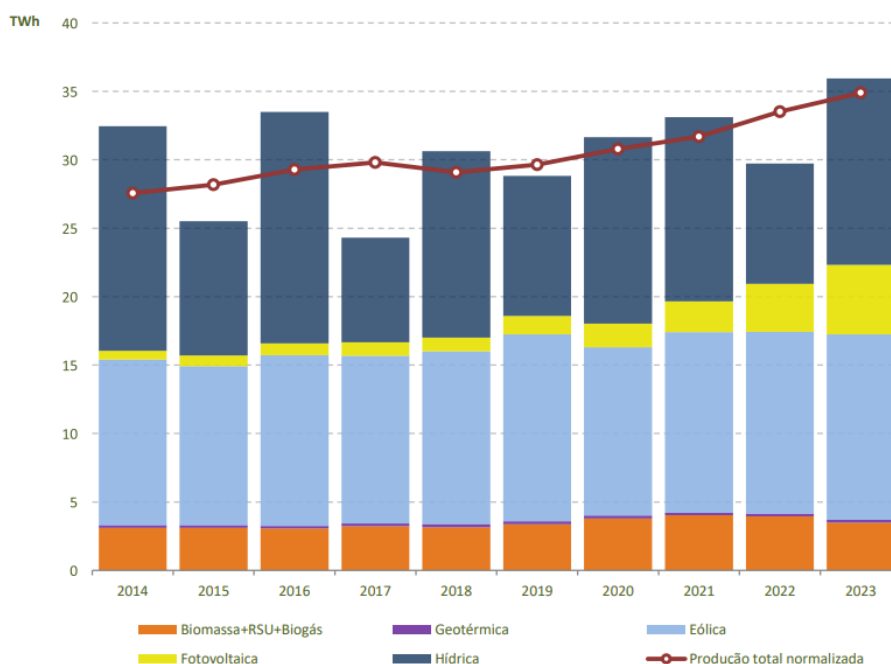


Figura 3 - Evolução da produção de eletricidade por fontes renováveis, em Portugal [12]

A energia solar é a fonte renovável mais limpa e abundante do planeta, e tem sido uma aposta ao longo dos últimos anos devido às suas evoluções tecnológicas. Portugal tem vindo a apostar nesta FER, com a criação de parques solares para produção de energia elétrica e térmica, e conta com apoios do Estado para a aquisição deste tipo de equipamento. Recentemente, em 2022, foram instalados perto de 12 mil painéis fotovoltaicos, no parque solar flutuante do Alqueva, tornando-se o maior parque solar flutuante da Europa. Espera-se, segundo os dados das Energias de Portugal (EDP), ser capaz de poder abastecer cerca de 30% das famílias daquela região [14].

No seguimento das iniciativas para a aposta nas FER, o Estado português criou o Fundo Ambiental, através do Decreto-Lei n.º 42-A/2016, estabelecendo apoios para a aquisição de painéis solares e bombas de calor para as habitações, a troca de portas e janelas de forma a melhorar a eficiência térmica e energética, pretendendo que os portugueses reduzissem o consumo de energia, e incentivando à utilização de energias limpas. A 15 de dezembro o Decreto-Lei n.º 42-A/2016 foi revogado pelo Decreto-Lei n.º 114/2021 [15].

1.3. Objetivos do trabalho

O presente estudo tem como objetivo geral a análise e a otimização do desempenho energético do Edifício E do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), recorrendo à simulação dinâmica como ferramenta de apoio à decisão. Pretende-se avaliar o comportamento energético do edifício em condições reais de operação, identificar as principais fontes de consumo e propor medidas de melhoria que contribuam para a redução do consumo de energia

Introdução

e das emissões associadas, aproximando o edifício dos requisitos de um edifício de necessidades quase nulas de energia (NZEB).

De forma mais detalhada, definem-se como objetivos específicos:

- Modelar e calibrar o edifício através do software OpenStudio/EnergyPlus, assegurando uma aproximação entre os consumos simulados e os valores reais medidos;
- Caracterizar o sistema AVAC existente, incluindo chiller, caldeira, unidades de tratamento de ar, ventiloconectores e demais equipamentos de apoio, de modo a compreender o seu contributo para o desempenho global;
- Analisar o impacto energético e ambiental das medidas de reabilitação propostas, nomeadamente a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores e na cobertura, a instalação de películas de controlo solar nos vãos envidraçados, a substituição dos equipamentos de produção térmica por soluções mais eficientes e a integração de um sistema fotovoltaico;
- Quantificar a redução do consumo de energia e das emissões de CO₂, comparando os resultados dos diferentes cenários de melhoria com o cenário de referência;
- Avaliar a viabilidade económica das medidas propostas, através da determinação de indicadores financeiros como o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e o Período de Retorno do Investimento (Payback);
- Verificar a conformidade dos resultados obtidos com as metas nacionais e europeias de eficiência energética e descarbonização estabelecidas para o horizonte de 2030.

Em síntese, o estudo visa demonstrar o potencial da simulação dinâmica como ferramenta fundamental na avaliação do desempenho energético de edifícios existentes, promovendo a adoção de soluções sustentáveis que contribuam para a redução do impacto ambiental e para a transição energética do setor dos edifícios.

1.4. Estrutura do estudo

O presente trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos, que seguem uma lógica sequencial e coerente, permitindo uma compreensão progressiva dos conceitos, metodologias e resultados obtidos.

No Capítulo 1, é apresentado o enquadramento temático da dissertação, abordando a relevância das energias renováveis no contexto energético atual e a evolução do consumo de energia final a nível global e nacional. Esta análise introdutória estabelece a base para a compreensão da necessidade de soluções sustentáveis e eficientes na gestão e utilização da energia. Adicionalmente, são definidos os objetivos do estudo, onde se explica em que consiste o trabalho desenvolvido, bem como as metas a alcançar com a sua realização.

O Capítulo 2 dedica-se à revisão dos principais conceitos e ferramentas associadas à simulação energética em edifícios. São abordados os procedimentos típicos de auditorias energéticas, os diferentes sistemas de ventilação e as características construtivas dos materiais e da

envolvente, aspetos fundamentais para a simulação dinâmica. É também realizada uma análise comparativa de diferentes programas de simulação energética, tendo-se optado pela escolha do OpenStudio.

O Capítulo 3 descreve detalhadamente o caso de estudo selecionado. Apresenta o processo de modelação do edifício, desde a construção do modelo virtual até à definição dos equipamentos existentes, cargas térmicas e períodos de funcionamento. Esta caracterização rigorosa é essencial para garantir que o modelo represente com fiabilidade as condições reais de operação.

O Capítulo 4 apresenta a análise dos resultados obtidos através da simulação dinâmica, comparando os consumos energéticos simulados com os consumos reais, provenientes das faturas energéticas. Com base nesta comparação, foram realizadas calibrações sucessivas, ajustando os parâmetros do modelo até se obter uma aproximação satisfatória entre os valores simulados e os valores reais, assegurando assim a sua fiabilidade.

Por fim, no Capítulo 5 são propostas diversas medidas de melhoria com o objetivo de otimizar o desempenho energético do edifício. Para cada medida é avaliado o impacto energético, económico e financeiro, permitindo identificar soluções viáveis que contribuam para a redução do consumo energético do edifício e dos custos associados.

De forma a desenvolver mais o estudo, no Capítulo 6 foram apresentadas algumas conclusões mediante os resultados obtidos, bem como a apresentação de futuros trabalhos de forma a dar continuidade ao estudo.

Desta forma, a estrutura adotada visa conduzir o leitor desde a fundamentação teórica até à aplicação prática e análise de resultados, culminando com a apresentação de propostas concretas de melhoria que possam ser implementadas em contextos reais.

Introdução

2. Revisão Bibliográfica

O desempenho energético dos edifícios representa um papel fundamental na promoção da sustentabilidade ambiental e na redução dos custos operacionais associados ao consumo de energia ativa. Em Portugal, a legislação vigente estabelece um quadro normativo rigoroso para assegurar a eficiência energética dos edifícios, refletido na certificação energética obrigatória e nos requisitos para indicadores de desempenho.

Este capítulo analisa a legislação portuguesa aplicável à eficiência energética, com ênfase nos requisitos estabelecidos para o desempenho energético dos edifícios e na relevância da certificação energética. São igualmente apresentados os principais indicadores de avaliação da eficiência energética, bem como o papel das auditorias energéticas enquanto instrumento fundamental para a identificação de oportunidades de otimização do desempenho energético.

Por fim, é analisada a aplicação de simulações dinâmicas de edifícios, uma metodologia avançada que permite prever e otimizar o desempenho energético. Serão discutidos os principais programas utilizados nesse contexto, bem como as suas vantagens e limitações no âmbito da gestão e planeamento energético.

2.1. Legislação em Portugal

Em Portugal, a legislação sobre a eficiência energética dos edifícios tem evoluído de forma progressiva, acompanhando as orientações da União Europeia. O primeiro marco foi o Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Este regulamento visava melhorar as condições de salubridade e de conforto térmico, centrando-se na qualidade da envolvente térmica e na melhoria da qualidade do ar interior [16]. Para complementar estas medidas, foi criado o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, através do Decreto-Lei n.º 156/92, posteriormente revogado e substituído pelo Decreto-Lei n.º 118/98, que reforçou as exigências técnicas aplicáveis aos sistemas de climatização e ventilação, de forma a limitar consumos excessivos [17].

A nível europeu, a publicação da Diretiva 2002/91/CE (*Energy Performance of Buildings Directive – EPBD*) levou à sua transposição para a legislação portuguesa através dos Decretos-Lei n.º 78/2006, n.º 79/2006 e n.º 80/2006, todos datados de 4 de abril. Estes diplomas introduziram o Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) e da Qualidade do Ar Interior

(QAI), aprovaram um novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e atualizaram o RCCTE, revogando o diploma de 1990

Posteriormente, a transposição da Diretiva 2010/31/UE resultou na publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto. Este diploma integrou num único enquadramento o Sistema de Certificação Energética, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Introduziu ainda o conceito de *Nearly Zero Energy Building* (nZEB), estabelecendo a obrigatoriedade de que, a partir de 2018, todos os edifícios públicos novos cumprissem esse padrão, exigência que foi estendida a todos os edifícios novos a partir de 2020 [18].

Atualmente, o regime em vigor é regulado pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, que revogou o Decreto-Lei n.º 118/2013. Este diploma consolidou e atualizou o regime jurídico da certificação energética, estabeleceu requisitos de desempenho aplicáveis tanto a edifícios novos como existentes, e reforçou a obrigatoriedade da classe energética em anúncios de venda e arrendamento de imóveis [19]. Na Tabela 1 é possível verificar um resumo de toda a legislação aplicada em Portugal.

Tabela 1- Tabela resumo da legislação portuguesa

Ano	Legislação	Principais objetivos
1990	DL n.º 40/90 (RCCTE)	Melhoria da envolvente térmica e da qualidade do ar interior.
1992	DL n.º 156/92 (RSECE)	Controlo do consumo excessivo dos sistemas de climatização e ventilação.
1998	DL n.º 118/98 (RSECE revisto)	Reforço dos critérios técnicos, eficiência energética e segurança.
2006	DL n.º 78/2006 (SCE/QAI)	Introdução da certificação energética e qualidade do ar interior.
2006	DL n.º 79/2006 (RSECE)	Novo regulamento de climatização alinhado com a EPBD.
2006	DL n.º 80/2006 (RCCTE)	Atualização do RCCTE, revogando o diploma de 1990.
2013	DL n.º 118/2013 (SCE, REH, RECS)	Integração dos regulamentos, introdução do conceito nZEB.
2020	DL n.º 101-D/2020	Atual regime jurídico: requisitos de desempenho energético e reforço da certificação.

2.2. Desempenho energético em edifícios

O desempenho energético de um edifício é expresso pela energia útil necessária para satisfazer as necessidades de aquecimento, arrefecimento, ventilação, produção de AQS e iluminação, normalmente quantificada em kWh/m². ano. Para uma avaliação completa, incluem-se ainda consumos específicos, como os de elevadores, sistemas de comunicação e outros equipamentos auxiliares. Estes valores dependem de fatores como a envolvente térmica, a eficiência dos sistemas técnicos instalados e os perfis de utilização. Assim, uma parte significativa do consumo energético concentra-se na climatização e iluminação dos espaços, essenciais para garantir níveis adequados de conforto e funcionalidade.

Entre 2016 e 2020, o setor da construção foi responsável por 40% do consumo total de energia e 32% das emissões de carbono da Europa [20]. No caso específico dos edifícios residenciais na União Europeia, aproximadamente 80% da energia ativa consumida é destinada às necessidades de aquecimento, arrefecimento e produção de água quente sanitária [21].

A eficiência energética de um edifício está diretamente relacionada ao uso otimizado de energia para criar condições ambientais agradáveis para os seus ocupantes. Um edifício energeticamente eficiente proporciona conforto térmico, ao mesmo tempo em que minimiza o consumo de energia, garantindo um desempenho sustentável e reduzindo o impacto ambiental [22]. A implementação de um processo desse tipo permite estabelecer requisitos mínimos ou Indicadores de Eficiência Energética (IEE), visando a redução das necessidades de energia primária, a otimização do consumo e o aumento da eficiência energética nos edifícios.

Em Portugal, o setor residencial assume um papel bastante relevante no consumo excessivo de eletricidade, devido à existência de demasiadas tecnologias e equipamentos eletrónicos, e à fraca resistência da envolvente nas habitações, o que faz com que o consumo energético dispare.

O consumo elétrico em habitações tem apresentado valores elevados devido ao aumento de equipamentos elétricos, de forma que o conforto térmico se mantenha. Como podemos ver na Figura 4, é na cozinha que ocorre o maior consumo, sendo que a soma do consumo para o aquecimento de águas e do meio ambiente representa na totalidade 41,1%.[23].

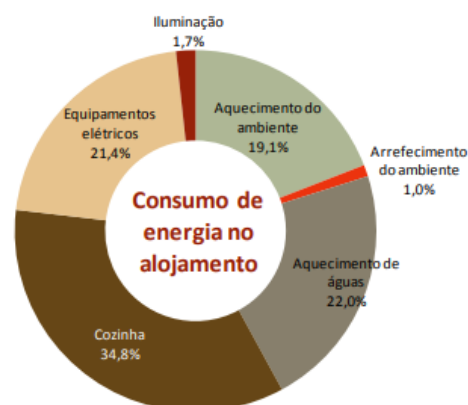


Figura 4 - Distribuição do consumo de energia elétrica no setor doméstico, em Portugal [23]

2.2.1. Apoios do Estado Português para melhorar o desempenho energético de edifícios

No âmbito do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), Portugal tem vindo a disponibilizar apoios específicos para a melhoria do desempenho energético em edifícios não residenciais, enquadrados nos objetivos nacionais de descarbonização e nas metas definidas pelo Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) e pela Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (ELPRE) [24].

Em 2022, destacam-se dois programas principais, operacionalizados pelo Fundo Ambiental, como é possível verificar na Tabela 2. O Aviso n.º 01/C13-i03, dirigido a edifícios de serviços, públicos e privados, que apoiava intervenções como a reabilitação da envolvente térmica (isolamentos e substituição de vãos envidraçados), a substituição de sistemas técnicos de climatização por soluções mais eficientes, a instalação de sistemas de autoconsumo renovável, a implementação de medidas de eficiência hídrica e ainda ações imateriais de sensibilização e monitorização. As candidaturas aprovadas beneficiavam de uma taxa de comparticipação até 70%, com limite máximo de 200 mil euros por beneficiário [24], [25].

Complementarmente, o Aviso n.º 01/C13-i02 é dedicado à Administração Pública Central, atendendo intervenções integradas de eficiência energética e de incorporação de energias renováveis nos edifícios do Estado. Neste caso, a comparticipação poderia atingir 100% das despesas elegíveis, até um limite de 5 milhões de euros por candidatura.

Estes apoios assumiam particular relevância no processo de transição energética, uma vez que contribuem para a redução do consumo de energia, para a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa e para a promoção de maior conforto e qualidade ambiental nos edifícios de serviços e da administração pública [26].

Tabela 2 - Apoios do Fundo Ambiental para melhorar a eficiência energética, adaptado de [24]

Apoio	Entidades alvo	Tipologias de intervenção	Taxa de comparticipação	Limite financeiro por beneficiário
01/C13-i03 – Serviços	Edifícios de serviços (públicos e privados: comércio, turismo, escritórios, etc.)	Envolvente (isolamentos, janelas), sistemas técnicos (climatização/ventilação), autoconsumo renovável, eficiência hídrica, ações imateriais (até 10%)	Até 70 %	200 000 €
01/C13-i02 – Admin. Pública Central	Edifícios da Administração Pública Central	Reabilitação integrada, eficiência energética, instalação de renováveis, melhoria global do desempenho energético	Até 100 %	5 000 000 €

2.2.2. Sistema de Certificação Energética em Edifícios

O Sistema de Certificação Energética é um mecanismo de carácter obrigatório, na sequência de uma diretiva europeia, adotado por diversos países com o objetivo de promover a eficiência energética no setor da construção. Este sistema avalia e classifica a eficiência energética de edifícios, sejam novos ou existentes, através da emissão de um certificado que caracteriza o seu desempenho energético. O principal objetivo passa pela redução do consumo excessivo de energia, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental e para a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa. Uma das inovações introduzidas por este regulamento é a obrigatoriedade de os proprietários indicarem a classe energética da fração ou edifício em todos os anúncios publicitários referentes ao imóvel.

No que diz respeito à qualidade do ar interior, o destaque passa a ser dado à ventilação natural em detrimento dos sistemas mecânicos [27]. O Certificado Energético SCE é um documento que avalia a eficiência energética de um edifício numa escala que vai de A+ (muito eficiente) até F (pouco eficiente), como representado na Figura 5, e é emitido após uma avaliação conduzida por um perito qualificado e reconhecido pela Agência para a Energia (ADENE).

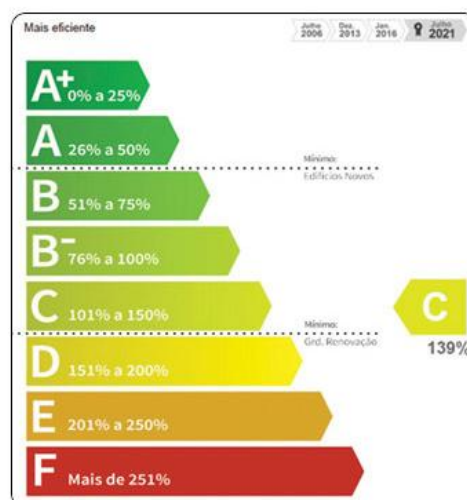


Figura 5 - Classificação Energética dos Edifícios [28]

Para a obtenção deste tipo de classificação e seguindo o Manual SCE, é necessário ter em conta alguns requisitos energéticos que ajudam na caracterização do edifício [28]:

- Localização do edifício:
 - A sua localização fornece dados à cerca das necessidades térmicas necessárias tendo em conta o tipo de clima do exterior [22], [28];
- Tipologia e caracterização da ocupação dos espaços:
 - A tipologia e a caracterização do espaço são fatores que nos permitem identificar o número de pisos do edifício, o horário de funcionamento e o

número de ocupantes que a nível de ganhos internos tem um peso elevado [22], [28], [29];

- Elementos construtivos:
 - Os materiais utilizados na construção são bastante importantes, pois é através das paredes, pavimentos e coberturas, que ocorrem os maiores ganhos. Por isso, um bom isolamento e a escolha do tipo de material usado na construção são fatores fundamentais para diminuir o consumo energético, tendo sempre em conta os coeficientes tabelados para cada material [28], [30];
- Tipo de vão envidraçados e sombreamento:
 - As janelas e os sistemas de sombreamento desempenham um papel crucial na eficiência energética e no conforto dos ocupantes em edifícios. Essas estratégias visam superar os desafios relacionados ao excesso de luz solar e a transferência de calor, procurando um equilíbrio entre os benefícios da luz natural e a criação de ambientes internos confortáveis, enquanto se procura reduzir o consumo de energia [31];
- Sistemas de Ventilação e Climatização:
 - Este tipo de sistemas é responsável pelo conforto térmico do espaço através do seu aquecimento/arrefecimento, e da ventilação pela renovação de ar. Estes equipamentos devem ser bem dimensionados, de forma a cumprir com os requisitos, tendo sempre em conta o tipo de produção e distribuição da energia e o seu controlo [28].
- Águas Quentes Sanitárias:
 - As AQS são responsáveis pelas grandes quantidades de energia armazenada, existindo várias fontes para a produção da mesma. Atualmente, o objetivo passa por usar a energia proveniente de fontes renováveis, de forma a reduzir os GEE, assim é necessário fazer um bom dimensionamento de forma a reduzir as perdas no seu circuito e assim melhorar o rendimento [28], [32].

No caso de se tratar de edifícios de comércio, existem outros fatores que importam, como o número de elevadores, altura do pé direito, a existência de cave ou não, entre outros [33].

Durante o processo de licenciamento, existe um trabalho conjunto entre o departamento de projetistas e o perito, de forma que seja emitido um Pré-Certificado (PCE), que atesta que o projeto cumpre com os requisitos previamente delineados, também designado “certificado de projeto”. Sempre que existam novas alterações, o estudo é revisto de forma a saber a nova classe [27].

Dependendo do tipo de edifício ou fracção, existem dois tipos de certificados: um para edifícios de habitação e outro para comércio e serviços, sendo que este último se encontra dividido da seguinte forma:

- Pequeno edifício de comércio e serviços sem climatização (PESsC)
- Pequeno edifício de comércio e serviços com climatização (PEScC)
- Grande edifício de comércio e serviços (GES)

Um pequeno edifício de comércio e serviços é um edifício ou armazém que possui uma área útil, descontados os espaços complementares, inferior a 1000 m² ou inferior a 500 m² no caso de se tratar de um centro comercial, supermercados e piscinas cobertas. A diferença entre os sem climatização e com climatização apenas diz respeito à potência térmica nominal que um equipamento de climatização possa fornecer para efeitos de aquecimento ou arrefecimento do espaço. No primeiro caso, PESsC a potência térmica nominal deverá ser inferior a 30 kW, enquanto para um PEScC a potência nominal tem de ser superior a 30 kW. Em contrapartida, quando se trata de um GES, a sua área útil de pavimento deverá ser igual ou superior a 1000 m² ou igual ou superior a 500 m² no caso de centros comerciais, supermercados e piscinas interiores, e uma potência nominal térmica superior a 30 kW [34].

2.2.3. Indicadores de Eficiência Energética

Os IEE têm como finalidade caracterizar o desempenho energético dos edifícios, permitindo a sua comparação com valores de referência regulamentares. O cálculo do IEE resulta da soma dos consumos energéticos do edifício, convertidos em energia primária por unidade de área útil [kWh_{EP}/(m².ano)].

A determinação do IEE é realizada por peritos qualificados do SCE, através da análise dos principais sistemas técnicos do edifício e da verificação do cumprimento dos requisitos legais. O processo inclui a realização de uma simulação dinâmica do edifício, ajustada ao seu uso, que permite comparar os consumos estimados com os valores registados em fatura. A simulação é considerada válida sempre que a diferença entre os dois resultados não ultrapasse 10 % [28].

No âmbito do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, distinguem-se diferentes formas de avaliação do IEE [19]:

- **IEEpr (previsto):** corresponde ao balanço energético antecipado do edifício, considerando os consumos regulados (tipo S), os não regulados (tipo T) e a contribuição de energia renovável em autoconsumo;
- **IEEef (efetivo):** reflete o desempenho energético do edifício com base no consumo real;
- **IEEref (referência):** corresponde aos valores de referência regulamentares que permitem avaliar a conformidade do edifício.

Na Tabela 3, encontram-se caracterizados os diferentes tipos de consumos considerados para a determinação dos indicadores de eficiência energética.

Tabela 3 - Caracterização dos consumos do Tipo S e T, adaptado de [26]

Consumos do Tipo S (IEEs)	Consumos do Tipo T (IEEt)
Aquecimento e arrefecimento do meio ambiente;	Equipamentos de frio;
Ventilação e bombagem em sistemas de climatização;	Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica;
Aquecimento AQS e piscinas;	Iluminação dedicada e de utilização pontual;
Iluminação interior;	Todos os demais sistemas e equipamentos não incluídos no consumo do tipo S;

O IEE, definido pela Equação 1, resulta da soma dos consumos de energia primária do tipo S e do tipo T, à qual se subtrai a produção de energia proveniente de fontes renováveis. O valor final é expresso em kWh_{EP}/ (m². ano), refletindo o consumo de energia primária por unidade de área útil do edifício:

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{REN} [kWh_{EP}/(m^2.ano)] \quad (1)$$

Para além do IEE, importa considerar os fatores de conversão de energia final em energia primária, que assumem particular relevância na avaliação do desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços. A energia consumida pode ter diferentes origens, como a eletricidade, a energia térmica proveniente de fontes renováveis ou os combustíveis fósseis.

Os fatores de conversão de energia final para energia primária (Fpu) correspondem a coeficientes definidos no Decreto-Lei n.º 101-D/2020 e permitem calcular as necessidades anuais de energia primária dos edifícios de habitação, bem como o indicador de eficiência energética em edifícios de comércio e serviços. Estes fatores são aplicados em função da fonte de energia utilizada, como se apresenta na Tabela 4 [19]

Tabela 4 - Fatores de conversão de energia final para primária, adaptado do Manual SCE [28]

Fonte de energia	Fpu37
Eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável);	2,5 kWhEP/kWh
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis	1,0 kWhEP/kWh
Energia térmica de origem renovável	1,0 kWhEP/kWh

Adicionalmente, para além da contabilização dos consumos de energia renovável e não renovável, considera-se também a quantificação das emissões de dióxido de carbono (CO₂), de forma a caracterizar o impacto ambiental associado ao consumo energético dos edifícios. Para tal, recorrem-se a fatores de conversão de energia primária para emissões de CO₂, igualmente definidos no Decreto-Lei n.º 101-D/2020, conforme se encontra descrito na Tabela 5 [19].

Tabela 5 - Fatores de conversão de energia primária para emissões de CO₂, adaptado do Manual SCE [28]

Tipo de energia	Fator de conversão [kgCO ₂ /kWh _{EP}]
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (Propano)	0,17
GPL garrafa	0,17
Renovável	0
Energia proveniente da rede urbana de frio e calor da Climaespaço, Parque das Nações, Lisboa	0,006

O desempenho energético dos edifícios é avaliado, entre outros parâmetros, através do Rácio do Indicador de Eficiência Energética (RIEE), expresso pela Equação 2. Este indicador resulta da razão entre as necessidades de energia primária para os usos regulados (IEEs), deduzida da contribuição de energia proveniente de fontes renováveis em autoconsumo (IEEren), e o valor de referência regulamentar para esses mesmos usos (IEEref,s). O RIEE permite comparar o desempenho real do edifício com os limites de referência definidos no Decreto-Lei n.º 101-D/2020, sendo condição de conformidade que o rácio seja inferior ou igual à unidade.

$$RIEE = \frac{IEEs - IEEren}{IEEref,s} \quad (2)$$

2.2.4. Auditoria Energética a Edifícios de Serviços

Uma auditoria energética em edifícios é um processo sistemático de análise e avaliação das suas características energéticas, com o objetivo de identificar oportunidades de melhoria na eficiência energética. O principal propósito é entender como o edifício consome energia e onde podem ser implementadas medidas para otimizar o uso e reduzir os custos associados [28].

São avaliados todos os elementos que contribuem para a performance energética do edifício, que abrangem os seguintes pontos:

- **Levantamento dimensional e construtivo:** Avaliação das características físicas e das soluções construtivas do edifício;
- **Análise dos sistemas energéticos:** Visualização dos sistemas energéticos existentes no edifício;
- **Quantificação e discriminação dos consumos:** Identificação dos consumos energéticos por categoria, como aquecimento, arrefecimento, iluminação, entre outros;
- **Simulação dinâmica térmica e cálculo do IEE nominal;**
- **Determinação da classe energética:** calculada com base nos valores da auditoria;
- **Identificação de oportunidade de melhoria:** identificar as áreas e equipamentos com maior consumo e apresentar alternativas para melhorar o desempenho;

Esta avaliação tem uma periodicidade de 10 anos no caso de Pequenos Edifícios de Serviço (PES) e de 8 anos quando se trata de GES. O Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) tem como meta impulsionar a eficiência energética em instalações consumidoras intensivas de energia (CIE), que no ano civil anterior tenham tido um consumo energético anual igual ou superior a 500 toneladas equivalentes de petróleo. Para alcançar esse objetivo, o SGCIE requer auditorias energéticas regulares nessas instalações, visando melhorar a eficiência energética, incluindo o uso de fontes renováveis. Adicionalmente, propõe a criação e execução de Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn) e a celebração de Acordos de Racionalização (ARCE) com a DGEG. Esses acordos estabelecem metas mínimas de eficiência energética, incentivando os operadores (entidades exploradoras das instalações CIE) com benefícios associados ao cumprimento dessas metas [27].

A classe mínima energética para Edifícios de Comércio e Serviços é conhecida da seguinte forma:

- **“B”** - “Para edifícios novos, estando sempre sujeito a revisões devido a alterações na tipologia ou equipamentos;
- **“C”** para os edifícios existentes, com certificado energético emitido após 31.12.2015.
- **“D”** para os edifícios existentes, com certificado energético emitido ente 01.12.2013 e 31.12.2015;

2.3. Simulação Dinâmica em Edifícios

O desempenho térmico de um edifício, diretamente relacionado com a sua eficiência energética, é condicionado por múltiplos fatores externos, tais como o clima, as condições ambientais e a própria ocupação. A avaliação deste desempenho é habitualmente realizada através da comparação com parâmetros de referência ou com outros edifícios, tendo em conta diferentes soluções construtivas. Dada a complexidade e a multiplicidade dos fatores em análise, a simulação energética computacional assume-se como uma ferramenta fundamental na avaliação do comportamento térmico [22].

Os primeiros programas de simulação energética surgiram em meados da década de 1960, com o objetivo principal de calcular cargas térmicas e produzir relatórios de análise energética. Atualmente, existem diversos softwares especializados que permitem realizar simulações dinâmicas com maior detalhe e rigor. A comparação entre estes programas baseia-se essencialmente nas suas funcionalidades específicas e na capacidade de modelar diferentes sistemas e estratégias de eficiência energética, destacando-se, entre outras, as seguintes características [35]:

- Análise de cargas térmicas;
- Envolvente, iluminação natural, e radiação solar;
- Sistemas energéticos renováveis;
- Características dos sistemas AQS;
- Sistemas elétricos e equipamentos;
- Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionados (AVAC);
- Ficheiros Climáticos;
- Característica do sistema de iluminação;
- Posicionamento e orientação solar do edifício;
- Representação de emissões ambientais;
- Interligação entre programas;
- Avaliação económica e de soluções.

A simulação energética de edifícios baseia-se em áreas fundamentais como a física, a matemática e a ciência dos materiais, enfrentando, contudo, desafios teóricos associados à complexidade e à interação entre os diversos componentes físicos de um edifício. Ultrapassar essa complexidade é essencial para prever, avaliar e validar o desempenho energético [36].

De forma mais específica, a simulação energética detalhada constitui não só uma exigência regulamentar no âmbito da certificação energética, nomeadamente no Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios e Serviços (RECS), estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 101-

D/2020, mas também uma ferramenta indispensável para a avaliação da eficiência energética e para a identificação de oportunidades de melhoria, tanto em edifícios novos como existentes, que representam uma das maiores parcelas do consumo energético. Este tipo de cálculo dinâmico, mais abrangente, permite analisar o desempenho do edifício em diferentes escalas temporais (horária, sazonal ou anual), incorporando variáveis como sombreamento, iluminação natural, ganhos internos, inércia térmica e qualidade do ar interior [28].

2.3.1. Norma ASHRAE 140

Segundo o Manual SCE, a simulação dinâmica de edifícios é abordada de duas formas: multizonas ou monozonas.

A simulação dinâmica multizonas (SDM) permite o balaço de diversos espaços do edifício, mesmo com diferentes condições de temperatura, apresentando também o balanço geral do edifício. Para que um programa utilize a SDM em edifícios em Portugal, este tem de estar creditado pela norma ASHRAE 140, e deve ter capacidade de [28]:

- modelar mais do que uma zona térmica
- poder desempenhar uma análise horária de 8760 horas anuais, avaliando para cada incremento as cargas internas, tais como a ocupação, a iluminação e os equipamentos existentes no espaço
- possibilitar o ajuste da temperatura de cada zona térmica e a operação dos sistemas de climatização, permitindo independentemente a parametrização para os dias de semana e para os fins-de-semana
- possibilitar a recuperação de calor do ar rejeitado
- considerar o efeito da massa térmica dos edifícios

A simulação dinâmica monozona (CDSM), refere-se a uma abordagem de modelagem computacional utilizada para avaliar o desempenho térmico e energético de edifícios que apresentem uma única zona térmica. Nesse contexto, uma "zona térmica" refere-se a uma área ou espaço do edifício que possui propriedades térmicas semelhantes, controladas pelo mesmo sistema de climatização. Ao contrário da simulação dinâmica multizona, que lida com edifícios mais complexos que possuem zonas térmicas distintas, a simulação dinâmica monozona simplifica o modelo considerando o comportamento térmico de todo o edifício como uma única entidade.

Para esta abordagem, o cálculo do balanço energético deve ser considerado numa base horária, seguindo a metodologia prevista na Norma ISO 13790, que deve cumprir os seguintes requisitos [28]:

- o cálculo das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento para uma zona térmica [28];
- a introdução de perfis de utilização em hora solar [28];

- a utilização de dispositivos de proteção solar quando a radiação solar incidente exceda os 300 W/m² [28];
- considerar os fatores solares e de obstrução, a fração envidraçada, o coeficiente de redução de perdas para edifícios adjacentes e para espaços complementares com btr > 0,7, o coeficiente de absorção solar da envolvente opaca e das pontes térmicas planas, quando consideradas, e ainda o coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior, interior e em contacto com o solo [28].

Diversos programas de simulação energética foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas, por universidades, centros de investigação e entidades governamentais, com o objetivo de avaliar o desempenho térmico e energético dos edifícios. Estes programas distinguem-se pelas funcionalidades e pelo nível de detalhe das simulações, variando entre cálculos simplificados de cargas térmicas e simulações dinâmicas completas, conforme ilustrado na Tabela 6.

Os primeiros programas, como o BLAST e o DOE-2, surgiram essencialmente para o cálculo de cargas térmicas e análises energéticas simplificadas. Com a evolução tecnológica, desenvolveram-se ferramentas mais abrangentes, como o TRNSYS, e, mais recentemente, o *EnergyPlus*, considerado uma das plataformas mais avançadas por integrar múltiplos sistemas e permitir simulações horárias detalhadas. Importa referir que estes programas foram validados segundo a norma ASHRAE 140 – *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*, a qual estabelece testes padronizados para aferir a consistência e a fiabilidade dos resultados obtidos em simulações energéticas, garantindo a sua credibilidade para fins de certificação e investigação [37].

Tabela 6 - Programas de simulação certificados pela Norma ASHRAE 140 [50]

Programas	Organizações Responsáveis
<i>Blast</i>	<i>CERL - U.S.Army Construction Engineering Research Laboratories, USA</i>
<i>DOE-2</i>	<i>LANL - Los Alamos National Laboratory, USA LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory, USA James J. Hirsch & Associates, USA</i>
<i>ESP</i>	<i>Strathclyde University, GB</i>
<i>SRES/SUN</i>	<i>NREL - National Renewable Energy Laboratory, USA Ecotope, USA</i>
<i>SRES/BRE</i>	<i>NREL - National Renewable Energy Laboratory, USA BRE - Building Research Establishment, GB</i>
<i>S3PAS</i>	<i>Universidade de Sevilha, Espanha</i>
<i>TASE</i>	<i>Tampere University, Finlândia</i>
<i>TRNSYS</i>	<i>University of Wisconsin, USA</i>
<i>TRNSYS/TUD</i>	<i>University of Wisconsin, USA Technische Universität Dresden, Alemanha</i>
<i>CA-SIS</i>	<i>Electricité de France, França</i>
<i>CLIM2000</i>	<i>Electricité de France, França</i>
<i>ENERGYPLUS</i>	<i>LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory, USA UIUC - University of Illinois Urbana/ Champaign, USA CERL - U.S.Army Construction Engineering Research Laboratories, USA OSU-Oklahoma State University, USA GARD Analytics, USA FSEC - University of Central Florida, Florida Solar Energy Center, USA DOE-OBT Department of Energy, Office of Building Technology, USA</i>

2.4. Ferramentas de Simulação Dinâmica

As ferramentas de simulação energética de edifícios foram desenvolvidas com o objetivo de prever e analisar o consumo de energia e o conforto térmico. Estas aplicações concentram-se, sobretudo, na transferência de calor através da envolvente, recorrendo a modelos analíticos e numéricos. Contudo, a modelação da infiltração e do fluxo de ar constitui um desafio particular, dado que as condições da envolvente variam constantemente, nomeadamente em função da velocidade e da direção do vento. A diversidade construtiva e arquitetónica dos edifícios, incluindo o grau de estanqueidade ao ar e as diferentes tipologias e alturas, acrescenta complexidade à quantificação do impacto do fluxo de ar tanto nas cargas térmicas como no conforto dos ocupantes [38].

No contexto português, destacam-se como ferramentas de maior utilização *EnergyPlus*, *DesignBuilder*, *OpenStudio* e *Cypeterm*, as quais serão abordadas neste subcapítulo.

2.4.1. EnergyPlus

O *EnergyPlus* é um dos programas de simulação energética de edifícios mais utilizados por projetistas, permitindo a modelação detalhada de sistemas de aquecimento, ventilação, ar condicionado, iluminação e outras cargas térmicas [38]. O seu desenvolvimento resulta da fusão de dois softwares anteriores: o BLAST, apoiado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD), e o DOE-2, desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE). Após várias discussões sobre a duplicação de esforços entre ambos, em 1996 o DOE iniciou a criação de uma nova ferramenta, o *EnergyPlus*, que viria a integrar as funcionalidades de ambos os programas. A partir desse momento, o DoD deixou de financiar o BLAST, canalizando recursos para a criação de uma comunidade de investigação conjunta, envolvendo instituições como o *Lawrence Berkeley National Laboratory*, a Universidade de Illinois, o *Construction Engineering Research Laboratory* das Forças Armadas dos EUA, a Universidade de Oklahoma e o *Office of Building Technologies* do DOE [38].

Embora a interface gráfica não seja muito atraente, o *software* oferece amplas capacidades computacionais, destacando-se o sistema modular que permite definir diversas zonas com infiltração e ganhos internos diferenciados. O programa fornece dados de simulação em intervalos de tempo (*time-step*) com duração máxima de uma hora, podendo ser alterado para períodos de mais curta duração. É capaz de calcular as necessidades energéticas do edifício com base nos dados introduzidos pelo utilizador, como geometria, materiais e sistemas de climatização, e utiliza um arquivo climático específico do local do edifício para gerar um balanço energético através dos seus módulos.

Num artigo realizado com o objetivo de investigar os métodos de avaliação do desempenho térmico de edifícios através de simulações energéticas, o *EnergyPlus* destaca-se como o software mais utilizado em 41% dos estudos analisados, como é visível na Figura 6 [22].

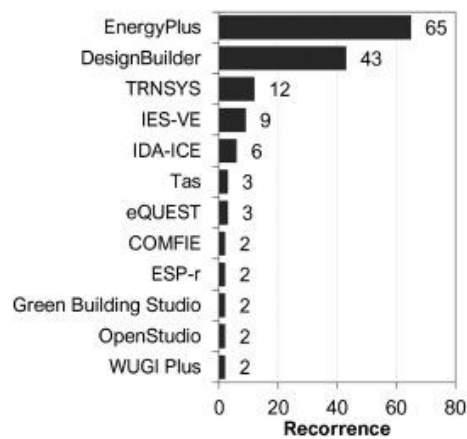


Figura 6 - Programas mais utilizados do estudo realizado [22]

A Figura 7 demonstra os dados que são inseridos pelos utilizadores, desde a localização e elementos construtivos do edifício, à caracterização do espaço, e ao tipo de equipamentos para climatização, conforme explicado no capítulo 2.2.1 [39].

Quanto aos resultados que a simulação fornece, pode-se analisar qual é o tipo de perda que mais ocorre no estudo: os ganhos internos e a energia consumida para climatizar o espaço.

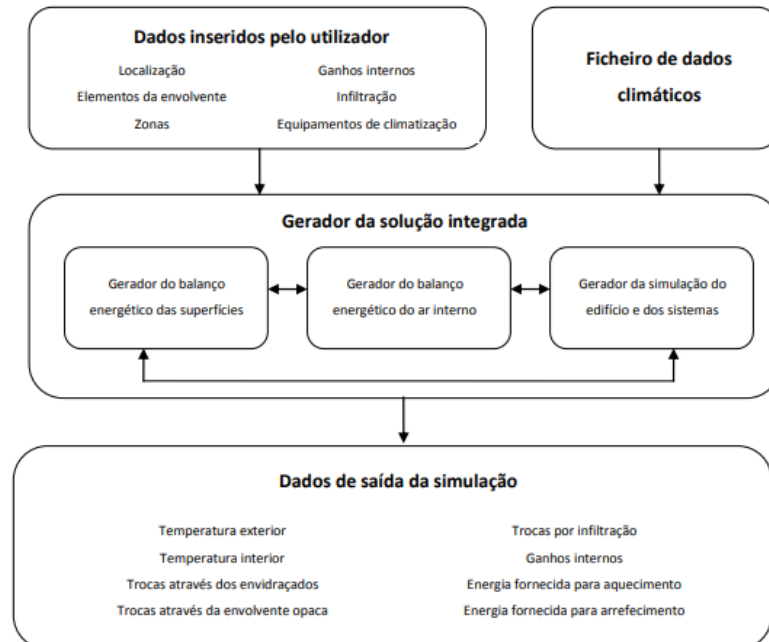


Figura 7 - Dados de entrada e saída do EnergyPlus [38]

2.4.2. DesignBuilder

O *DesignBuilder*, representado na Figura 8, é uma interface gráfica criada para simplificar a utilização do *EnergyPlus*, de forma a facilitar a modelagem de edifícios, possibilitando a visualização dos resultados e das simulações de forma mais intuitiva. O programa abrange diversos dados essenciais para a simulação dinâmica, incluindo informações sobre materiais de construção, elementos da envolvente, ganhos internos e sistemas de climatização, permitindo uma rápida alteração e definição dos constituintes do edifício [40].

No que diz respeito ao dimensionamento das unidades de climatização, o *EnergyPlus* permite a realização de simulações em dois níveis distintos. Na simulação simples, é utilizado um modelo de climatização ‘ideal’, concebido para manter as temperaturas interiores dentro dos intervalos de conforto definidos. Já na simulação detalhada, recorrem-se a *templates Compact HVAC*, disponibilizados pelo próprio *EnergyPlus*, que possibilitam a criação de sistemas mais complexos e próximos da realidade [40].

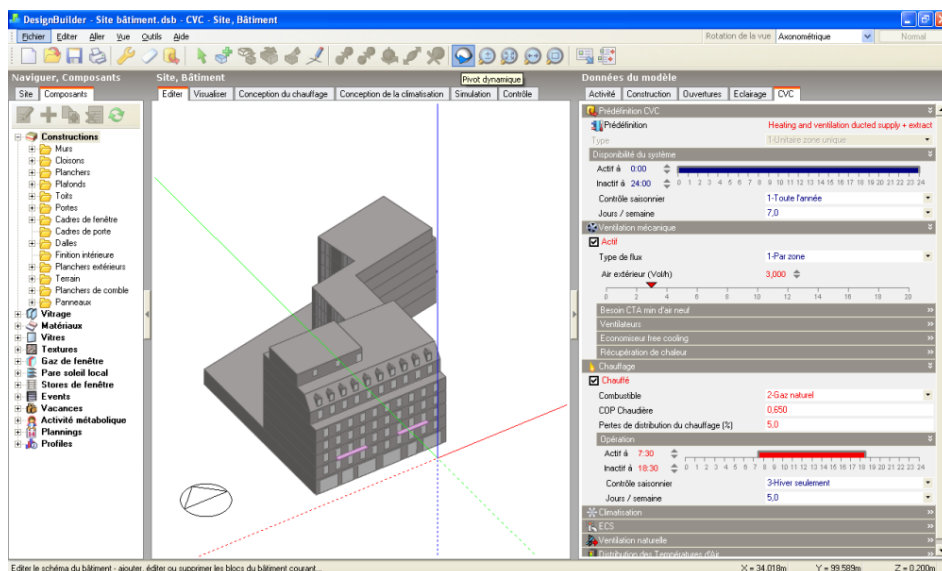


Figura 8 - Interface do software DesignBuilder [39]

Os resultados das simulações podem ser apresentados em diferentes períodos (anuais, mensais, diários, horários). O consumo energético é detalhadamente discriminado por finalidade (aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, equipamentos), formas de energia utilizadas no edifício (eletricidade, gás natural, biomassa, etc.), temperaturas do ar interior, humidade relativa, índices de conforto, dados climáticos locais, transmissão de calor através das envolventes (paredes, coberturas, ventilação), cargas de aquecimento e climatização, e as emissões de CO₂ [41].

2.4.3. OpenStudio

O *OpenStudio* é um kit de desenvolvimento de software (*Software Development Kit – SDK*) de código aberto, orientado para a modelação energética de edifícios (*Building Energy Modeling –*

BEM). Foi concebido para reduzir o esforço associado ao desenvolvimento e manutenção de aplicações BEM/BIM, disponibilizando uma plataforma aberta e colaborativa que suporta um ecossistema de ferramentas e serviços. O OpenStudio interage diretamente com motores de simulação, como o *EnergyPlus*, oferecendo um modelo de dados dinâmico e orientado a objetos, acessível através de uma interface de programação de aplicações (API). A plataforma disponibiliza ainda abstrações de alto nível, como tipologias de espaço e sistemas AVAC pré-definidos, bem como a possibilidade de automatizar fluxos de trabalho através de *Measures*, pequenos programas que permitem transformar ou consultar modelos de forma personalizada. [42].

A sua interface, como podemos ver na Figura 9, é bastante prática. Apresenta diversos separadores entre os quais, o modelo 3D, zonas térmicas, espaços envolventes, caracterização dos espaços e análise de resultados [40].

Este programa utiliza o *EnergyPlus* como ferramenta de cálculo, possuiu uma biblioteca de diversos materiais de construção, e equipamentos de climatização que ajudam a caracterizar o edifício. Também pode ser utilizado com o *software Sketchup*, que permite uma maior facilidade na modelação do edifício [43]. Como fator adicional existe uma grande comunidade digital dedicada ao suporte entre utilizadores, chamada *UnmetHours* que ajuda a resolver pequenos entraves na utilização do programa, tornando-se mais fácil tirar dúvidas [44].

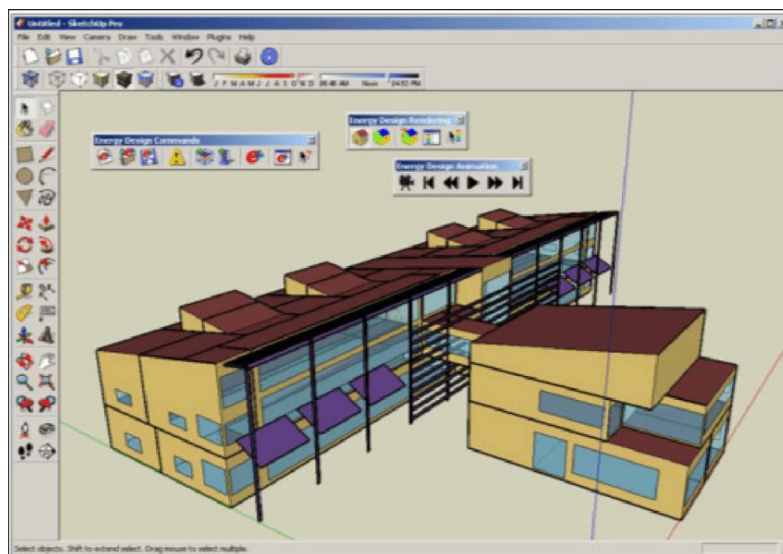


Figura 9-Interface do OpenStudio

2.4.4. Cypetherm

O *Cypetherm SCE-CS* é um programa amplamente utilizado em Portugal, que permite avaliar o desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços, cumprindo com os requisitos do SCE, regulamentado pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020. O programa executa uma simulação dinâmica anual, em intervalos horários, utilizando um modelo zonal do edifício com o motor de

cálculo *EnergyPlus*. Para cada hora, são calculadas as necessidades energéticas em cada zona do modelo térmico, determinando o ponto de trabalho, a energia útil fornecida, a energia final consumida e a energia primária equivalente para cada equipamento técnico. O programa fornece detalhes sobre o consumo energético por equipamento, sistema de fornecimento e vetor energético utilizado [45].

A interface do programa está dividida em três secções: edifícios, plantas e verificação regulamentar, como é visível na Figura 10. Na secção referente ao edifício é onde se colocam os dados de entrada, definindo a zona envolvente, as portas e janelas, o tipo de pavimento, pontes térmicas lineares entre outros. Na área da planta é onde se introduz, e se gera a planta da obra e a caracterização dos materiais que a constituem. Por fim, na verificação regulamentar é onde se executa e observam os resultados da simulação final [45].

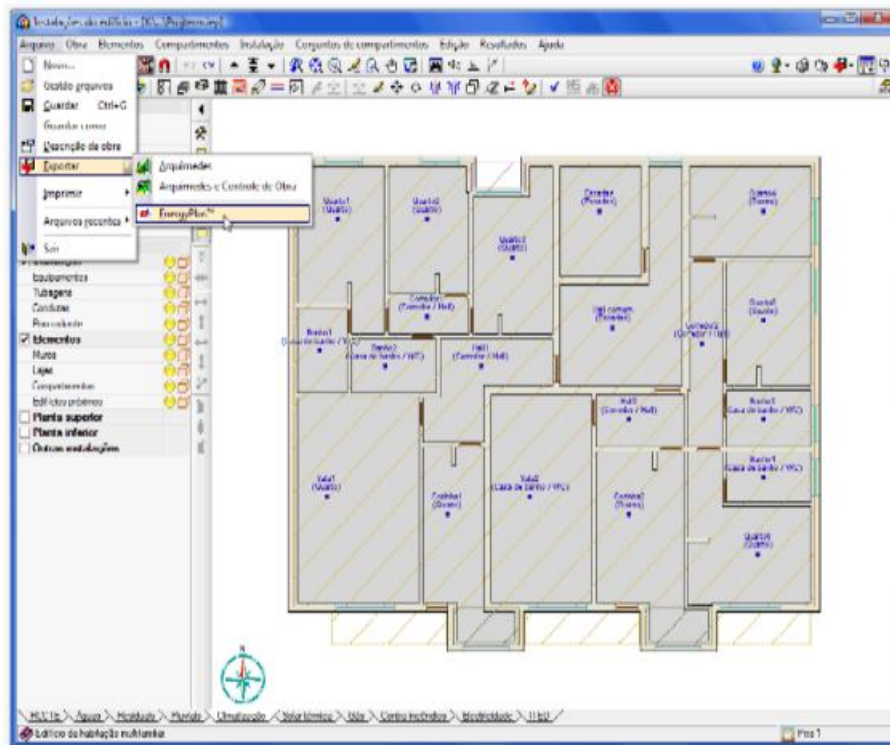


Figura 10 - Interface do *Cyptherm* [50]

3. Caso de Estudo

Entre os diversos programas de simulação energética analisados, optou-se pelo OpenStudio pela sua simplicidade de utilização, natureza gratuita e de código aberto, características que asseguram maior acessibilidade e flexibilidade no contexto académico. A escolha foi também recomendada pelos orientadores, uma vez que se trata de uma ferramenta amplamente utilizada em investigação e prática de projeto, garantindo resultados fiáveis e alinhados com as exigências normativas atuais. Tendo em consideração estas vantagens, o OpenStudio foi selecionado para a realização das simulações energéticas do presente trabalho, aplicadas ao caso de estudo do *Campus* do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Este *Campus* é constituído por 18 edifícios, com uma área bruta total de cerca de 61 000 m², e encontra-se localizado na freguesia de Paranhos, na cidade do Porto.

O edifício em estudo, designado por Edifício E, foi construído no final dos anos 90 e alberga atualmente os serviços administrativos do campus, a biblioteca e alguns gabinetes. A Figura 11 faz referência à geometria do edifício via satélite [46].

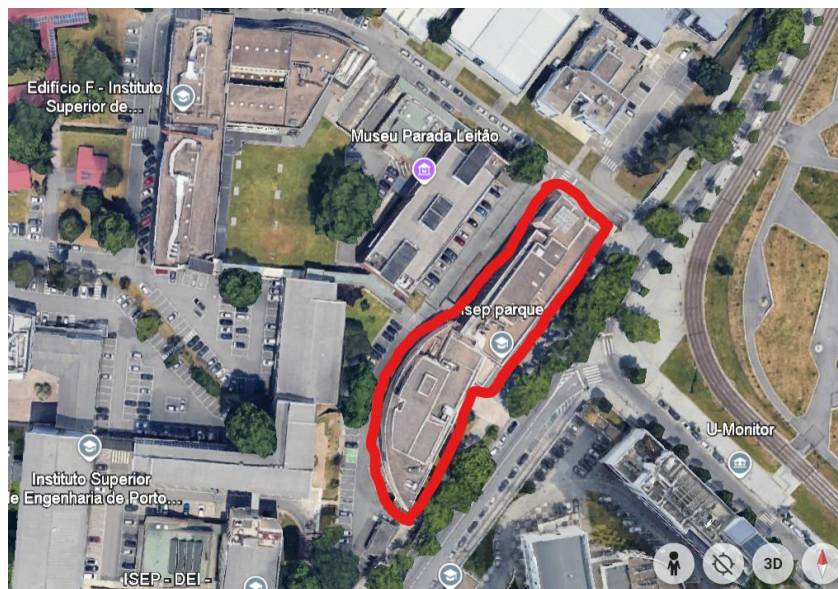


Figura 11- Localização edifício E do ISEP [46]

Este edifício tem uma área total aproximada de 9466,9 m², dos quais 8126,56 m² correspondem a áreas climatizadas, sendo os restantes 1340,34 m² constituídos por espaços não climatizados, como indicado na Tabela 7.

Tabela 7- Área total do edifício.

	Área [m2]
Área total	9466,9
Área climatizada	8126,56
Área não climatizada	1340,34

3.1. Simulação Dinâmica

Dada a complexidade do edifício em estudo e considerando que se trata de uma dissertação académica, optou-se por uma abordagem mais rigorosa e detalhada, recorrendo à simulação dinâmica multizona. Esta metodologia permite avaliar com precisão o desempenho energético de edifícios, através da modelação de múltiplas zonas térmicas interdependentes. No caso em análise, foram consideradas 163 zonas térmicas distintas. A Figura 12 representa a modelação 3D do edifício E do ISEP.

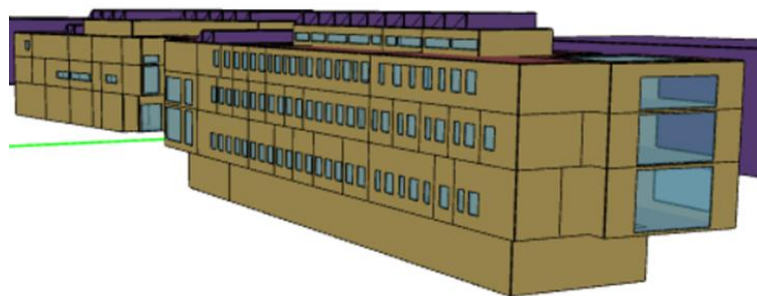


Figura 12 - Modelação do edifício E do ISEP, no OpenStudio

De acordo com o Manual do SCE, a simulação dinâmica multizona visa reproduzir de forma realista o comportamento térmico do edifício ao longo do tempo, integrando as características dos elementos construtivos, as condições reais de utilização e os dados climáticos locais. Cada zona térmica é tratada individualmente, permitindo simular fenómenos como ganhos solares, ventilação natural, trocas de calor entre espaços contíguos e o efeito da inércia térmica dos materiais [28].

Adicionalmente, para todos os elementos que geram cargas térmicas e consumos energéticos, foram definidos *Schedules* (perfis de funcionamento). Estes constituem instrumentos essenciais de controlo no software de simulação, permitindo especificar os horários de utilização dos equipamentos, os períodos de ocupação dos espaços e as cargas térmicas associadas tanto aos ocupantes como aos equipamentos em funcionamento. Todos esses períodos podem ser consultados no ANEXO A.

Para fins de estudo, foi considerado um horário de funcionamento do edifício, com abertura todos os dias da semana, das 9 às 20 horas, excetuando o encerramento aos fins de semana, bem como durante o mês de agosto.

3.2. Dados climáticos

Após a introdução do modelo geométrico do edifício no *software* de simulação, foi necessário proceder à inserção dos dados climáticos, os quais variam consoante a localização geográfica. Estes dados assumem um papel fundamental na simulação, dado que as condições climáticas influenciam significativamente o desempenho energético do edifício.

Para a obtenção dos dados climáticos, recorreu-se à aplicação “CLIMAS-SCE – Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios”, desenvolvida pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) é representada na Figura 13, onde é possível verificar que o edifício em estudo se encontra a uma altitude de 105 m em relação ao nível médio do mar, pertence à NUTS III e esta inserido na zona climática V2-I2, com temperaturas médias de 20,9 °C na estação de arrefecimento e 9,8 °C na estação de aquecimento [47].

The screenshot displays the CLIMAS-SCE software interface for selecting climate data for Porto. The interface is divided into several sections:

- Seleção por município:** A dropdown menu shows 'Porto' selected, with a map of Portugal highlighting the Porto region.
- Zona climática:**
 - NUTS 3: Grande Porto
 - Latitude: 41,3 °N (nominal)
 - Longitude: 8,6 °W (nominal)
 - Altitude: 94 m (referência)
- Local específico:**
 - Município: Porto
 - Altitude: **105** m
- Estatísticas climáticas:**

	Referência	Este local
Estação de aquecimento		
Período:	6,2	6,2 meses
T média:	9,9	9,8 °C
Graus-dia:	1250	1268 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	20,9	20,9 °C
- Zonas regulamentares de verão e inverno:** V 2 I 1
- preparar ficheiro:** A red button to generate the file.
- EPW (formato EnergyPlus Weather):** A dropdown menu for the file format.

Figura 13 - Dados climáticos do Grande Porto, em formato EPW.

3.3. Envolvente térmica

A envolvente térmica do edifício corresponde ao conjunto de elementos responsáveis por separar o ambiente interior do exterior, tais como paredes, janelas e portas. A principal função

é controlar as trocas de calor com o exterior, contribuindo assim para o conforto térmico dos ocupantes e para a eficiência energética do edifício, conforme previsto no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação [28].

Devido à ausência de informação detalhada sobre os materiais utilizados na construção, recorreu-se à análise do modelo em *AutoCAD* para aferir a espessura das paredes interiores e exteriores. Com base nas medições obtidas e tendo em conta os métodos construtivos típicos da época, foi definido um tipo de construção representativo para efeitos de simulação.

3.3.1. Paredes exteriores

A parede exterior projetada para o edifício, conforme ilustrado na Figura 14, possui uma espessura total de 34 cm e é composta por argamassa tradicional, tijolo perfurado e uma caixa de ar.

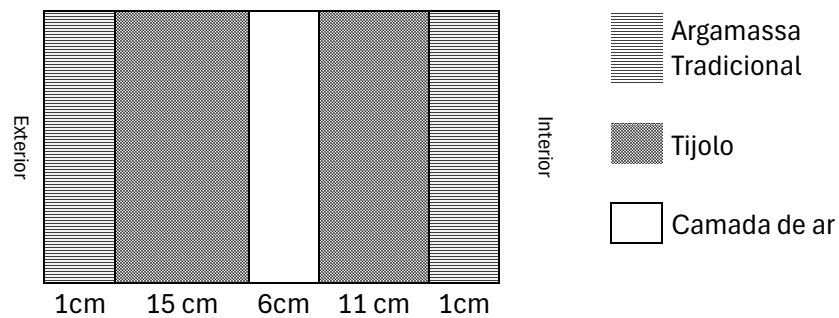


Figura 14 - Constituição da parede exterior

As características técnicas dos materiais que constituem a parede, foram obtidas com ajuda do Manual do SCE [28], e do ITE-50 [48]. Os parâmetros utilizados para o cálculo podem ser consultados no Apêndice A.1, onde se encontram descritos os valores da condutividade térmica, bem como as resistências térmicas dos respetivos elementos construtivos.

Na Tabela 8, estão representados os valores obtidos para os diversos elementos construtivos que foram abordados, onde a resistência total da parede exterior é de 0,8554 m². °C/W, enquanto o coeficiente de transmissão térmica (U) da parede é 1,1691 W/m².°C.

Tabela 8 – Características físicas dos materiais da parede exterior.

Camada	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/m.°C]	Resistência [m ² . °C/W]
R _{SE}			0,0400
Argamassa	0,01	1,3	0,0077
Tijolo 15 cm	0,15		0,3900
Caixa de ar			0,1800
Tijolo 11 cm	0,11		0,2700
Argamassa	0,01	1,3	0,0077
R _{SI}			0,1300
Soma Resistências			0,8554

3.3.2. Paredes interiores

Para as paredes interiores, o método utilizado foi o mesmo, através do *Autocad*, e obteve-se uma parede com espessura de 15 cm. Dada a falta de informação, e como se pode ver na Figura 15, a composição da parede foi considerada com base nos métodos de construção tradicionais, duas camadas de argamassa de cor creme, e no meio delas um tijolo perfurado de 11 cm.

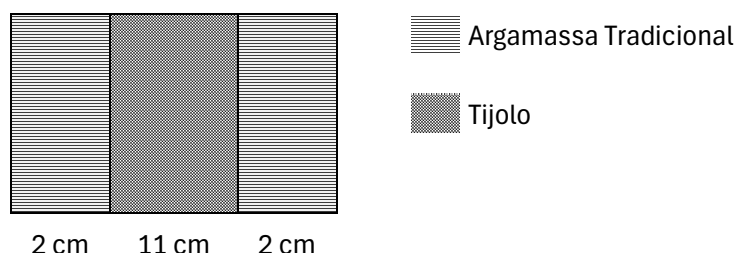


Figura 15 - Composição da parede interior do edifício.

O desempenho térmico da parede interior difere do das paredes exteriores, essencialmente devido à sua localização no interior do edifício. Neste caso, os valores de absorvância solar assumem particularidades distintas, sendo que a cor predominante é o creme, com um coeficiente de absorvância solar (α) de 0,4.

Adicionalmente, uma vez que esta parede não está em contacto com o exterior, foi considerada apenas a resistência térmica superficial interior (RSI), com um valor de $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$.

A Tabela 9 apresenta um resumo dos materiais constituintes da parede interior, com indicação das respetivas propriedades térmicas e físicas. Os cálculos realizados, bem como os parâmetros utilizados na análise, encontram-se detalhados no Apêndice A.1.

Tabela 9 - Características físicas dos materiais da parede interior.

Camada	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/m.°C]	Resistência [$\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$]
Rsi			0,1300
Argamassa	0,02	1,3	0,0154
Tijolo 11 cm	0,11		0,2700
Argamassa	0,02	1,3	0,0154
Rsi			0,1300
Total			0,5608
U			1,7833

3.3.3. Pavimentos

De acordo com as vistas em corte do edifício, o pavimento apresenta uma espessura total de 36 cm. No entanto, devido à falta de informação específica sobre a sua constituição, considerou-se que toda a espessura é composta por betão.

Os dados térmicos e físicos para este material, representados na Tabela 10, foram obtidos a partir do Manual do SCE e podem ser consultados no Apêndice A.1.

Tabela 10 - Características físicas do pavimento de betão.

Espessura	0,36	m
U	3,1	W/m ² . °C
Densidade	2000	kg/m ³
R	0,323	m ² . °C/W
K	1,116	W/m.°C

3.3.4. Envidraçados

Os envidraçados desempenham um papel determinante no desempenho energético dos edifícios, uma vez que permitem elevados ganhos solares no verão, potenciando o sobreaquecimento dos espaços, e originam significativas perdas de energia no inverno, aumentando as necessidades de climatização.

No seguimento do projeto do edifício, foram utilizadas 173 janelas, que variam entre modelos de janela fixa, janela giratória, e tijolos de vidro. O número de janelas existentes fica representado pela Tabela 11.

Os tijolos de vidro são o material menos utilizado, apenas foram utilizados na biblioteca e na escadaria entre o piso 1 e piso 2 do edifício. O tipo de janela mais utilizado é o de janela giratória, pois permite controlar a abertura e fecho da mesma quando necessário.

Para este modelo, e recorrendo ao Manual do SCE, o tipo de material escolhido, segundo o relatório da auditoria energética, foi o vidro duplo incolor de 4 a 8 mm + incolor de 5 mm, sem corte térmico. Os dados para estes três tipos de janelas, foram obtidos através da consulta do Manual do SCE [28] e do ITE-50 [48], e podem ser consultados no Apêndice A.2.

Tabela 11 - Número de janelas por piso.

Piso	Janelas
P -1	0
P 0	60
P 1	55
P 2	49
P 3	9
P 4	0
Total	173

Algumas das janelas do edifício possuem sistemas de proteção solar interior. No OpenStudio é possível representar diferentes tipos de dispositivos, nomeadamente o *Window:Material:Blind* e o *Window:Material:Shade*. No caso do presente modelo, foi adotado o *Blind*, correspondente a proteções do tipo lâminas, que podem ser fixas ou ajustáveis em inclinação, instaladas no interior ou no exterior, permitindo controlar simultaneamente a transmissão de luz e de calor, como pode ser visto na Figura 16. Por sua vez, o *Shade* corresponde a um sombreamento simples e uniforme, como cortinas ou painéis opacos, que atuam como barreira à radiação solar e ao calor, mas sem possibilidade de ajuste da inclinação das lâminas [49].



Figura 16- Janelas com proteção solar interior do edifício

As características da proteção escolhida foram retiradas do Manual do SCE, onde o fator solar para um estore de lâminas é $g=0,47$. Adicionalmente, foi configurado um *setpoint* de controlo automático (*Schedule*), que permite ao programa simular o acionamento dos estores em função da radiação solar incidente. De acordo com o mesmo manual, esta proteção entra em funcionamento sempre que a radiação incidente ultrapassa os 300 W/m^2 , assegurando uma gestão dinâmica das cargas térmicas solares e contribuindo para a redução do sobreaquecimento nos espaços interiores.

3.4. Cargas Térmicas

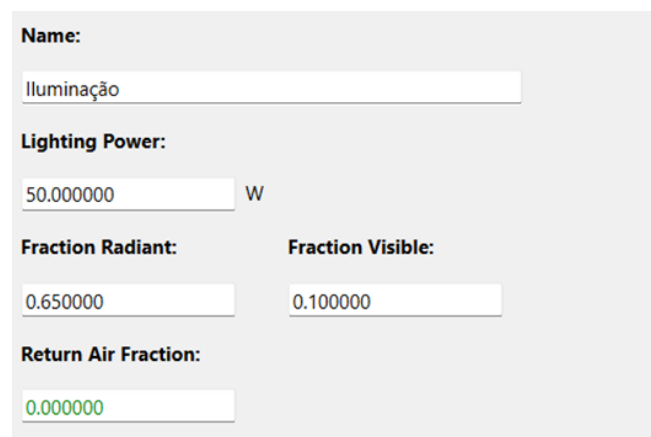
Neste subcapítulo são analisadas as principais cargas térmicas internas que contribuem para o comportamento energético do edifício, nomeadamente a iluminação, a ocupação, os equipamentos elétricos, o servidor e os elevadores. A caracterização destas cargas é essencial para a definição das necessidades térmicas e para a calibração do modelo de simulação, uma vez que influenciam diretamente os ganhos de calor sensível e latente no interior dos espaços.

3.4.1. Iluminação

Com base na listagem de luminárias fornecida pelos Serviços de Ação Técnica (SAT), apresentada no Apêndice B, verifica-se que o edifício em estudo está equipado com um total de 24 modelos distintos de luminárias, perfazendo 749 unidades instaladas ao longo de todo o edifício. A potência total instalada atribuída à iluminação corresponde a 18,9 kW.

No âmbito da simulação, foram definidos os *schedules* específicos para a iluminação, de modo a refletir os padrões reais de utilização. Assim, considerou-se que, entre as 09h00 e as 17h00, o sistema de iluminação opera a 50% da sua capacidade, assumindo a contribuição da luz natural, para os restantes 50%, durante esse período. Já entre as 17h00 e as 20h00, a iluminação passa a funcionar a 30%, assegurando os níveis de luminosidade adequados quando a luz natural deixa de ser suficiente. Para a iluminação das caves considerou-se 25% da sua capacidade das 9h00 às 20h00.

Na Figura 15, apresenta-se um exemplo dos dados de entrada necessários para a simulação, onde são definidos parâmetros como a potência da lâmpada, a fração radiante e a fração visível.



Name:	
Iluminação	
Lighting Power:	
50.000000	W
Fraction Radiant:	Fraction Visible:
0.650000	0.100000
Return Air Fraction:	
0.000000	

Figura 17 - Dados de entrada do *software* para a criação de uma lâmpada, imagem retirada do *Openstudio*.

A potência da lâmpada corresponde à energia elétrica consumida para o seu correto funcionamento. O parâmetro *Return Air Fraction* representa a fração do calor gerado pela iluminação que é captada pelo sistema de retorno de ar. Na ausência deste, a totalidade desse calor é transferida para o ar ambiente do espaço, sendo este parâmetro apenas diferente de zero no caso de luminárias encastradas.

A *Fraction Radiant* traduz a fração de calor emitido sob a forma de radiação térmica de onda longa. O software calcula a absorção desta radiação pelas superfícies internas da envolvente, considerando a respetiva área e as propriedades de absorção térmica. Já a *Fraction Visible* refere-se à radiação visível, de onda curta, cuja energia absorvida pelas superfícies interiores é estimada pelo programa em função da área do espaço e da absorção solar [49].

A fração convectiva, correspondente à parcela de calor proveniente da iluminação que é diretamente transferida para o ar do espaço, é determinada pela Equação 3:

$$f_{convectiva} = 1 - (Return\ Air\ Fraction + Fraction\ Radiant + Fraction\ Visible) \quad (3)$$

Sempre que o resultado desta equação seja superior a 1, o programa interrompe a simulação e emite um aviso de erro crítico.

Dado que, através do modelo da luminária, não foi possível obter todos os dados de entrada necessários para o cálculo da fração convectiva, optou-se por seguir as orientações do *ASHRAE Handbook – Fundamentals* (SI) [50]. Este manual disponibiliza uma tabela com diversos modelos e tipos de lâmpadas, contendo os parâmetros exigidos para a introdução no software. Estas características complementares podem igualmente ser consultadas no Apêndice B.

3.4.2. Ocupação interior

Para a determinação desta carga térmica contou-se, uma vez mais, com o apoio da SAT, através do qual foi possível estimar o número médio de ocupantes por espaço e, posteriormente, para o total do edifício. Com base nestes dados, estima-se que o Edifício E é diariamente frequentado por cerca de 117 ocupantes, sendo a sala E323, afeta aos serviços técnicos, o espaço com maior densidade de ocupação. A distribuição por piso encontra-se apresentada de seguida:

- **Piso 1** – 43 Ocupantes;
- **Piso 2** – 25 Ocupantes;
- **Piso 3** – 49 Ocupantes

Para o cálculo das cargas térmicas associadas à ocupação, não foram consideradas pessoas nos auditórios nem nas salas do parlamento, uma vez que estes espaços apresentam uma utilização esporádica.

Foi atribuído que das 9h00 até as 18h00 o funcionamento é de 100% dos ocupantes, enquanto das 18h00 até as 20h00 apenas estão no edifício 30% dos ocupantes. Já a carga térmica atribuída a cada ocupante foi de 130 W durante o período de trabalho, enquanto a fração radiante considerada, segundo a norma ASHRAE 55, tem como defeito o valor 0,3 tratando-se de uma atividade moderada dos ocupantes [50].

3.4.3. Equipamentos elétricos

Este parâmetro inclui todos os equipamentos que libertam energia térmica para o espaço, como computadores, impressoras, máquinas de venda automática, máquinas de café, entre outros. Na ausência de informação específica relativamente à quantidade e tipologia de equipamentos por espaço, recorreu-se novamente ao ASHRAE Handbook – Fundamentals, adotando-se uma densidade de potência de 4,90 W/m² para todos os espaços com ocupação regular,

nomeadamente os gabinetes de trabalho e a biblioteca [50]. O período de funcionamento definido foi de 75% das 9h00 até as 20h00 e 25% da carga durante a noite e aos fins de semana.

Existe, contudo, uma exceção: o espaço E309, destinado ao servidor. Com base nos dados fornecidos pela SAT, a potência instalada é de 25 kW, sendo que se considerou apenas a utilização de apenas metade da sua potência total, dada a falta de informação da real potência utilizada. O período de funcionamento é de 24h00 durante 365 dias.

Dada a ausência de informação específica no programa, bem como a inexistência de cargas previamente definidas para os elevadores, recorreu-se ao Manual do SCE para a estimativa do respetivo consumo anual. Consideraram-se dois elevadores de Classe F, do tipo hidráulico e da categoria 1, em virtude do reduzido número de utilizações diárias. Com base nestas informações, aplicou-se a Equação (4), disponibilizada no referido manual, que permite calcular o consumo diário de cada elevador [28].

$$E_{d,asc} = 5,47.Q_{asc}.na.(sm/1000) + 1600.t_{ist} \quad (4)$$

- Consumo diário do elevador ($E_{d,asc}$) = Wh/dia
- Carga nominal (Q_{asc}) = 450 kg
- Número de viagens diárias (na) = 50
- Tempo em modo inativo e standby por dia (t_{ist}) = 23,8 h/dia

A distância média percorrida (S_m) foi calculada de acordo com a Equação 5, onde a distância máxima de viagem (l_m) para o elevador 1 é de 16 m e para o elevador 2 é de 12 m, enquanto o valor tabelado para o rácio (p) entre a distância média e a distância máxima é de 49%.

$$S_m = \frac{p}{1000} * l_m \quad (5)$$

As distâncias obtidas foram as seguintes:

- **Elevador 1:** 7,84 m
- **Elevador 2:** 5,88 m

Segundo a Equação 4, obteve-se os seguintes consumos diários:

- **Elevador 1:** 39.044,90 Wh/dia
- **Elevador 2:** 38.803,68 Wh/dia

Por fim, com base na Equação 6, foi estimado o consumo anual do elevador ($E_{a,asc}$) considerando um total de 240 dias de funcionamento por ano ($d_{a,asc}$) — correspondentes a cinco dias por semana, com encerramento durante o mês de agosto.

$$E_{a,asc} = \frac{E_{d,asc} * d_{a,asc}}{1000} \quad (6)$$

Deste modo, o consumo anual combinado dos dois elevadores é de 18,68 MWh/ano.

3.5. Equipamentos de AVAC

Os equipamentos de AVAC existentes no edifício foram considerados com base no projeto de AVAC fornecido pela SAT, e no relatório da auditoria energética ao ISEP, disponível para consulta no Anexo B. O sistema é constituído por chillers e caldeiras para a produção de frio e calor, respetivamente, tendo como terminais unidades como ventiloconvectores. Adicionalmente, são utilizados equipamentos de expansão direta, Unidades de Tratamento de Ar (UTA) e ventiladores, que trabalham de forma a manter as **condições interiores do espaço de 20°C no inverno e 25 °C no verão.**

O horário de funcionamento de todos os equipamentos de AVAC é das 9h às 18h a 100%, à exceção do chiller responsável pelo arrefecimento do *data center*, que têm um funcionamento de 24h durante 365 dias.

Devido à descontinuação de alguns dos equipamentos originalmente instalados, recorreu-se à utilização de características físicas de equipamentos equivalentes, de desempenho semelhante, de forma a garantir a fiabilidade dos dados inseridos na modelação.

Em todas as zonas térmicas climatizadas foram colocados termostatos que fazem a leitura da temperatura ambiente e assim dão informações aos sistemas de climatização de forma a satisfazer as necessidades. Na Tabela 12, pode-se verificar as temperaturas definidas para os termostatos ambientes, nas estações de quente e frio. No verão, durante o período diurno, os equipamentos de arrefecimento irão ser chamados a atuar, sempre que as temperaturas excedam os 25°C, já durante a noite, só trabalham sempre que a temperatura exceder os 30°C, de forma que os equipamentos não atuem durante a noite, dada a falta de ocupantes. Foi também definido que os espaços só irão aquecer sempre que as temperaturas, durante o dia baixarem dos 20°C e durante a noite os 10°C. No Inverno, considerou-se que os espaços irão ser aquecidos, sempre que as temperaturas excederem os 20°C.

Tabela 12- Set-point dos termóstatos interiores para as diferentes estações.

	Verão		Inverno
Horário	9h00-20h00	20h00-9h00	24h00
Termostato Aquecimento	10°C	10°C	20°C
Termostato Arrefecimento	25°C	30°C	25°C

3.5.1. Ventiloconvectores

Os ventiloconvectores instalados no edifício são da marca Trane e constituem sistemas de quatro tubos, permitindo, assim, o fornecimento simultâneo de aquecimento e arrefecimento, consoante as necessidades térmicas dos diferentes espaços. Estes sistemas estão interligados a um chiller, responsável pela produção de água fria, e a uma caldeira a gás, destinada à produção de água quente, garantindo uma resposta eficiente às exigências de conforto térmico ao longo do ano.

De forma a assegurar a precisão e fiabilidade dos dados utilizados na modelação energética, foram solicitadas diretamente à marca Trane as fichas técnicas correspondentes aos modelos de ventiloconvectores existentes no edifício. As informações obtidas incluem parâmetros como a capacidade térmica, o caudal de ar, as potências de funcionamento e os níveis de eficiência energética, que foram posteriormente introduzidos no software de simulação. As referidas características técnicas podem ser consultadas no Apêndice C.1.

3.5.2. Chillers

No edifício em estudo, e também conforme indicado no relatório da auditoria energética, existem dois circuitos de *chillers* dedicados à produção de água refrigerada. O *chiller* de maior potência, designado como Chiller 1, é da marca Trane e apresenta uma capacidade térmica de arrefecimento de 333 kW, sendo responsável por assegurar o circuito de arrefecimento geral de todo o edifício. O funcionamento deste chiller apenas é durante a semana, durante os meses de junho, julho e setembro.

Por sua vez, o Chiller 2, da marca Ferroli, encontra-se afeto exclusivamente ao arrefecimento do *Data Center* (espaço E309) e possui uma capacidade térmica aproximada de 43 kW. Este equipamento opera de forma independente, durante todo o ano, dada a criticidade da carga térmica associada aos servidores e à necessidade de garantir uma climatização estável e contínua.

Conforme apresentado na Tabela 13, a temperatura da água à saída do chiller para os circuitos de climatização é de 7 °C. Verifica-se ainda uma diferença de temperatura (ΔT) de aproximadamente 5 °C entre o fluxo de ida e o de retorno, o que significa que a água retorna ao chiller a uma temperatura próxima dos 12 °C. Estes valores estão em conformidade com os parâmetros habitualmente utilizados em sistemas de climatização para edifícios de serviços, assegurando um equilíbrio adequado entre eficiência energética e conforto térmico.

Tabela 13- Temperatura de operação dos chillers.

	Temperatura água saída [°C]	Temperatura água retorno [°C]
Chiller	7	12

As informações técnicas relativas a ambos os equipamentos foram obtidos através de contacto direto com os representantes das respetivas marcas. No entanto, tendo em conta que o chiller da Ferroli é um modelo mais antigo e já descontinuado, a recolha de dados técnicos completos revelou-se mais limitada. Ainda assim, as características disponíveis foram consideradas suficientes para a inserção no modelo energético.

As especificações técnicas dos dois chillers encontram-se compiladas e disponíveis para consulta no Anexo C.2.

3.5.3. Caldeira

A caldeira instalada no edifício, da marca *Blowtherm*, é responsável pela produção de água quente para aquecimento dos espaços, fornecendo água a uma temperatura de 70 °C para os sistemas terminais, com um retorno a 60 °C, conforme evidenciado na Tabela 14.

Tabela 14- Temperaturas de operação da caldeira.

	Temperatura água saída [°C]	Temperatura água retorno [°C]
Caldeira	70	60

Este equipamento utiliza como fonte energética o gás natural, uma opção relativamente dispendiosa face a outras fontes de energia atualmente disponíveis, nomeadamente as de origem renovável. A caldeira, que vai funcionar de janeiro a maio, e de outubro a dezembro, apresenta uma capacidade térmica de aquecimento de 367 kW e uma eficiência térmica de 0,9039, valor que reflete a sua eficiência na conversão de energia consumida em calor útil. Todos estes valores podem ser consultados no Anexo C.3.

3.5.4. Expansão direta

Para além dos sistemas centrais de climatização, o edifício dispõe de alguns sistemas de climatização por expansão direta, nomeadamente unidades do tipo monosplit. De acordo com os dados fornecidos pela Auditoria Energética do ISEP, identificaram-se sistemas antigos das marcas ACSON e SANYO. No entanto, devido à sua antiguidade e à falta de documentação técnica detalhada, a única característica disponível é a potência térmica nominal dos equipamentos [51].

Face à escassez de informação, recorreu-se ao Manual do SCE como referência para a estimativa da eficiência energética dos equipamentos. Considerando a idade avançada das unidades, foi adotado o valor por defeito da eficiência energética $E=2,5$ o qual foi posteriormente ajustado através da aplicação de um coeficiente de envelhecimento, tabelado em 0,9, resultando numa eficiência final estimada de $E=2,25$ [28].

Dada a ausência de dados adicionais, as restantes características técnicas necessárias para a modelação foram assumidas com base nas especificações do modelo MSZ-AP da marca

Mitsubishi, cujas propriedades se encontram detalhadas no Anexo C. Todas as restantes características técnicas dos equipamentos que foram considerados na modelação podem ser consultadas no Apêndice C.4.

3.5.5. Ventiladores

De acordo com a memória descritiva do edifício, foram considerados no presente modelo nove ventiladores. Estes equipamentos destinam-se, maioritariamente, à extração de ar dos sanitários em todas as casas de banho. Na garagem encontra-se instalado um ventilador de desenfumagem, que opera a 25% da sua capacidade ao longo do dia, com o objetivo de remover o monóxido de carbono acumulado no espaço. Adicionalmente, existem ventiladores associados às hottes das cozinhas localizadas nas salas E205 e E204, cujo funcionamento ocorre a 75% da capacidade, nos períodos das 11h00 às 13h00 e das 18h00 às 20h00.

A informação disponibilizada para os ventiladores é muito escassa, apenas conhecido o valor do caudal, que pode ser consultado no Apêndice C.5, tendo-se assumido para fins de estudo, o valor das restantes características técnicas, como as recomendadas pelo programa.

3.5.6. UTA's

As UTAs são equipamentos amplamente utilizados em edifícios de grande dimensão, uma vez que permitem a renovação do ar interior saturado por ar novo, assegurando simultaneamente o aproveitamento do calor do ar extraído. As suas baterias encontram-se interligadas com o chiller e a caldeira, garantindo o aquecimento e o arrefecimento do ar insuflado.

Face à inexistência de informação detalhada relativamente aos modelos e ao número exato de UTAs instaladas, a modelação foi realizada com base nos projetos das redes de condutas do edifício, disponibilizados pela SAT. No total foram contabilizadas cinco UTAs, sendo que a UTA 4, correspondente ao auditório, foi configurada para funcionar apenas um dia por semana, entre as 10h00 e as 14h00.

As características técnicas das UTAs podem ser consultadas no Apêndice C.6. O seu funcionamento foi definido para ocorrer exclusivamente em períodos de ocupação dos espaços, não estando previstas operações durante o período noturno.

4. Análise e discussão de resultados, e calibração do modelo

Este capítulo apresenta, numa primeira fase, a análise dos resultados obtidos a partir da simulação inicial do modelo, permitindo identificar o seu comportamento e desempenho energético. Posteriormente, é realizada a comparação entre os consumos simulados e os consumos reais do edifício, de forma a avaliar a precisão do modelo. Por fim, são descritos os procedimentos de calibração efetuados, ajustando os parâmetros necessários até alcançar valores simulados próximos dos valores reais, assegurando a fiabilidade e representatividade do modelo desenvolvido.

4.1. Análise de resultados

Neste subcapítulo são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos ao longo do processo de simulação e calibração do modelo energético do edifício. A análise incide sobre o comportamento dos diferentes sistemas e consumos energéticos, permitindo avaliar o desempenho térmico e elétrico do edifício em comparação com os dados reais de consumo. Esta etapa é fundamental para validar a fiabilidade do modelo e identificar eventuais desvios ou oportunidades de melhoria.

4.1.1. Consumos reais do edifício

Sendo esta dissertação um caso de estudo, e com o objetivo de validar os resultados da modelação energética, foi solicitado aos SAT o registo dos consumos reais de energia elétrica e gás natural do edifício, ao longo de um período de três anos, 2022, 2023 e 2024. Com base nesses dados, foi calculada a média dos consumos energéticos dos três anos, de forma a garantir uma análise mais representativa e fiável do comportamento energético do edifício.

O consumo energético médio anual verificado durante este período foi de 240,130 MWh, englobando o total de energia elétrica e gás natural consumidos.

Analisando o consumo real de gás ao longo de um período de três anos e de acordo com a Figura 18, verifica-se que, nos anos de 2022 e 2023, o consumo de gás ocorreu maioritariamente entre os meses de janeiro a abril e novamente em dezembro. Este comportamento sazonal sugere que a caldeira era utilizada, sobretudo, para necessidades de aquecimento ambiente durante os meses mais frios do ano.

Com base nos dados fornecidos pelos SAT, foi apurado que o consumo anual médio de gás natural ao longo do período em análise foi de 49, 28 MWh.

Observa-se ainda que, nos meses de abril de 2022 e maio de 2023, o consumo de gás foi nulo. Esta anomalia poderá estar associada a uma eventual avaria do equipamento ou, em alternativa, a condições climatéricas favoráveis, com temperaturas exteriores mais elevadas, que reduziram a necessidade de utilização do sistema de aquecimento.

No final do ano de 2023, com base na análise gráfica, constatou-se que a caldeira a gás foi desativada e substituída por uma bomba de calor ar-água, uma solução mais eficiente, económica e ambientalmente sustentável. Esta alteração resultou na eliminação total do consumo de gás no ano de 2024, como se verifica no gráfico apresentado. A substituição da caldeira refletiu-se também num aumento do consumo de energia elétrica, o qual será analisado com maior detalhe nas secções seguintes.

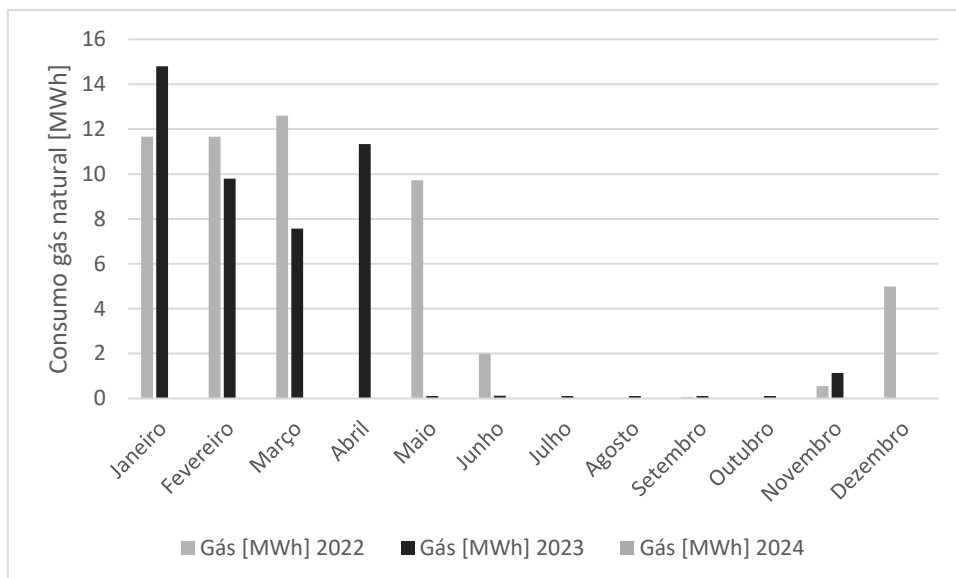


Figura 18- Consumo mensal faturado de gás natural.

A energia elétrica é a forma de energia mais consumida em todo o edifício, sendo responsável pelo funcionamento da maioria dos sistemas técnicos. Com base nos dados reais recolhidos pelos SAT e considerando o período compreendido entre 2022 e 2024, apurou-se que o consumo médio anual de eletricidade foi de aproximadamente 190, 84 MWh/ano.

Na Figura 19, é possível observar a evolução mensal do consumo de energia elétrica ao longo dos três anos. O mês de junho destaca-se como aquele com maior consumo, o que se justifica pelo funcionamento intensivo dos sistemas de climatização, nomeadamente UTAs e os chillers, que operam com maior intensidade durante os meses mais quentes para assegurar o conforto térmico no interior do edifício.

Parte do consumo elétrico constante ao longo do ano deve-se também ao funcionamento contínuo da sala de servidores, que exige arrefecimento permanente, independentemente da estação do ano.

Destaca-se ainda uma variação significativa no mês de janeiro de 2024, em que se verifica um aumento do consumo elétrico em comparação com os anos anteriores. Este aumento está diretamente relacionado com a substituição da caldeira a gás por uma bomba de calor ar-água, que passou a assegurar a produção de AQS e água quente para climatização, utilizando exclusivamente energia elétrica.

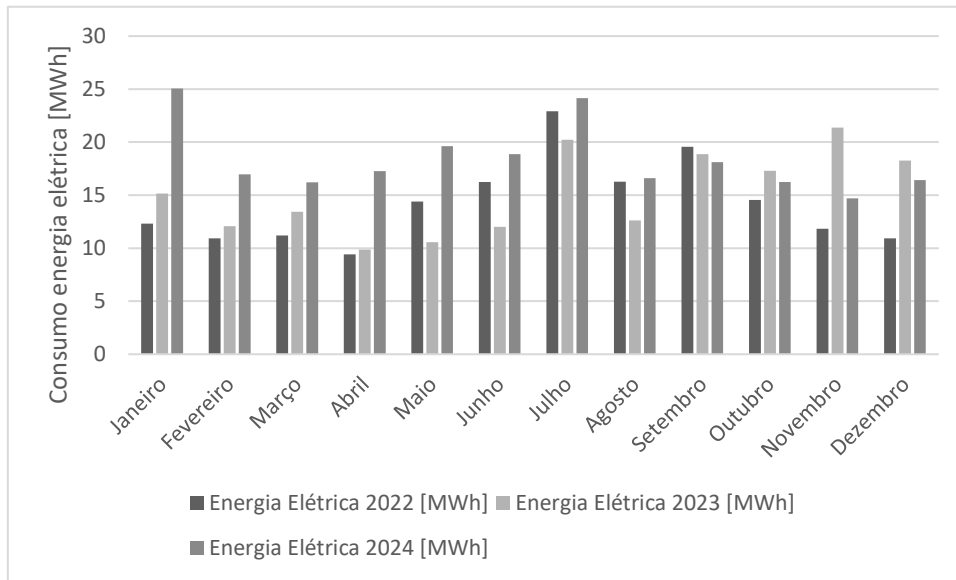


Figura 19-Consumo mensal faturado de energia elétrica.

Na Figura 20, está representada a média do consumo energético total faturado, resultante da soma dos consumos de eletricidade e gás natural. Pode-se observar que o mês de janeiro regista o valor mais elevado de consumo, o que está associado às maiores necessidades de aquecimento devido às baixas temperaturas exteriores.

Entre fevereiro e abril, verifica-se uma tendência decrescente no consumo energético, seguida de uma estabilização entre abril e junho, período em que as temperaturas começam a subir, reduzindo-se assim a utilização dos sistemas de climatização.

Em julho, regista-se um novo pico de consumo, que poderá estar associado ao aumento da carga térmica no interior do edifício, resultante das temperaturas exteriores elevadas e do conseqüente uso intensivo de sistemas de arrefecimento. Nos meses seguintes, o consumo volta a diminuir, o que poderá estar relacionado com uma redução da ocupação do edifício e uma menor necessidade de climatização.

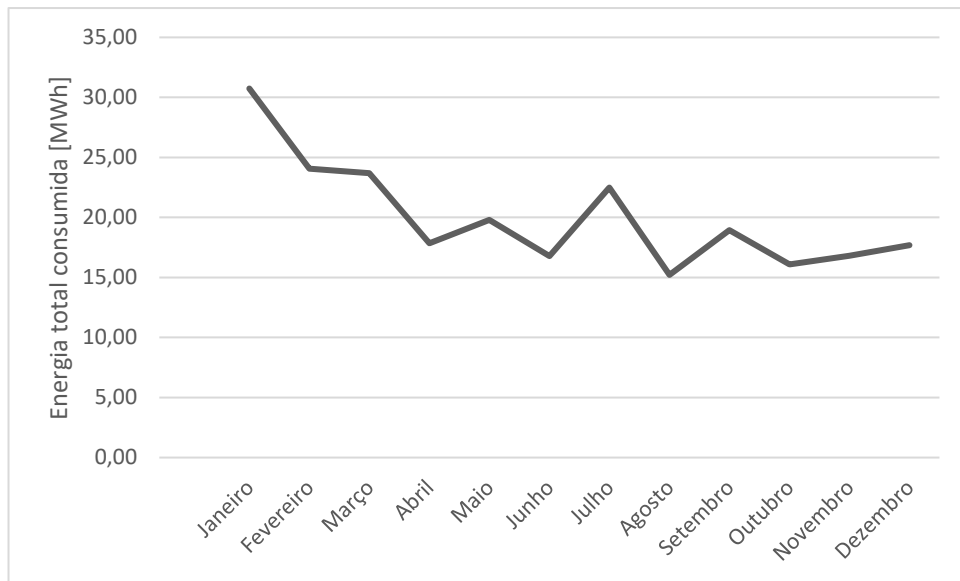


Figura 20-Consumo médio, de energia elétrica e gás natural, faturado mensalmente.

4.1.2. Análise dos resultados da simulação

Concluída a simulação energética do edifício, com base nos dados fornecidos e recolhidos, obteve-se um consumo total anual de 558,45 MWh/ano, valor significativamente superior aos consumos reais faturados ao longo do mesmo período. Esta discrepância sugere a existência de parâmetros sobrestimados ou condições de funcionamento que não refletem a operação real do edifício.

Na Figura 21 é apresentada a distribuição dos consumos por setor, considerando a totalidade da energia (elétrica e gás natural) simulada. O maior consumo observado está associado ao servidor, que representa cerca de 39% do consumo energético total. Este valor indica um sobredimensionamento claro, sendo provável que a potência atribuída ao servidor não corresponda à realidade operacional do edifício.

O segundo setor com maior peso energético corresponde ao arrefecimento, responsável por 32% do consumo total. Dentro deste grupo, destaca-se o chiller associado ao arrefecimento da sala de servidores, o qual representa 36% do total do consumo de arrefecimento, o que reforça a influência do sobredimensionamento do servidor nos resultados da simulação.

Os equipamentos interiores, que incluem os consumos associados a equipamentos elétricos de uso geral, representam 7% do consumo total simulado, enquanto os sistemas de aquecimento e a iluminação apresentam, cada um, um peso de aproximadamente 6%.

Por fim, os restantes sistemas, como as bombas circuladoras, ventiladores, elevadores e pontes térmicas lineares (PTL) somam cerca de 9% do consumo total, tendo assim um impacto reduzido no balanço energético global.

Estes resultados permitem identificar os setores com maior potencial de otimização energética e demonstram a importância de uma caracterização precisa das cargas térmicas e elétricas reais durante a fase de modelação.

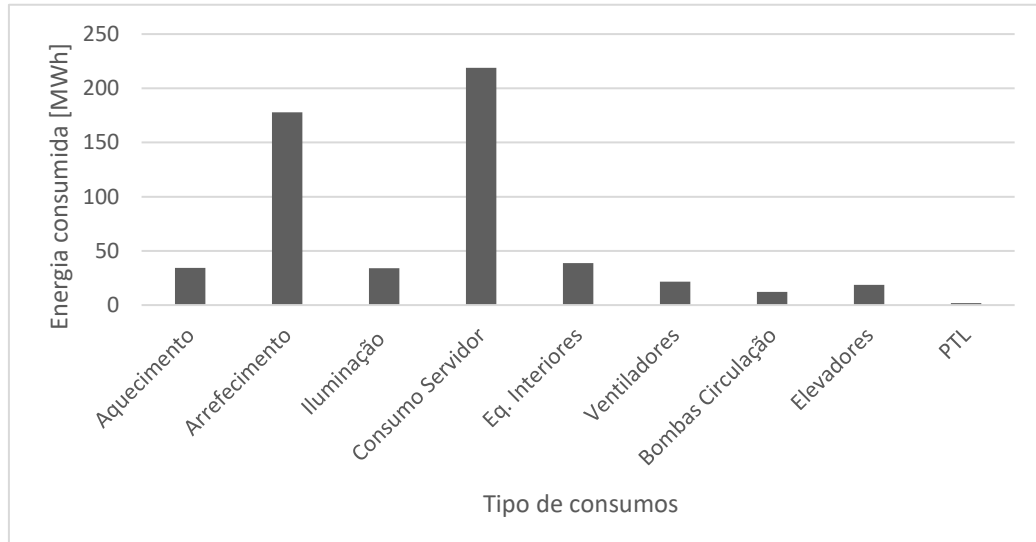


Figura 21- Distribuição do consumo energético anual simulado pelos diversos setores.

As necessidades térmicas globais do edifício ascenderam a 187,98 MWh/ano, valor que corresponde à energia útil requerida para assegurar as condições de conforto térmico no conjunto dos espaços. Este montante reparte-se em 36,75 MWh para aquecimento, 149,1 MWh para arrefecimento e 2,04 MWh associados às PTL. A distribuição mensal destas necessidades, ilustrada na Figura 22, evidencia a forte sazonalidade do comportamento do edifício: a procura de aquecimento concentra-se nos meses de inverno (janeiro, fevereiro e dezembro), enquanto as cargas de arrefecimento se tornam dominantes no período quente, atingindo picos nos meses de junho, julho e setembro. Estes resultados confirmam o carácter marcadamente dominado pelo arrefecimento do edifício, condicionado pelas cargas internas significativas, nomeadamente o servidor, e pela limitada capacidade da envolvente em mitigar os ganhos térmicos durante a estação quente.

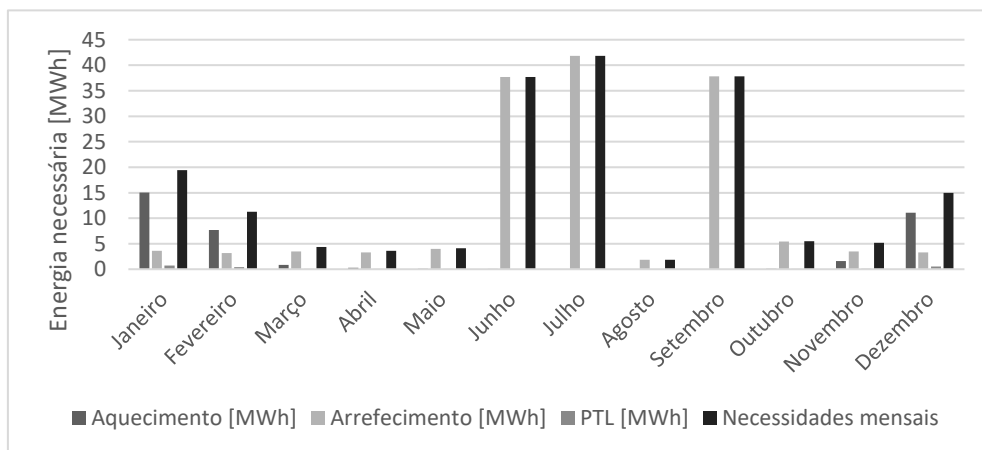


Figura 22 - Análise gráfica das necessidades térmicas do edifício

Outro parâmetro analisado, de elevada relevância para a avaliação do conforto térmico, foram as temperaturas médias anuais de cada espaço, cujos valores detalhados podem ser consultados no Apêndice D.1. A temperatura média global do edifício registou-se em 22,5 °C, enquadrando-se no intervalo recomendado pelas normas para condições de conforto, compreendido entre 20,2 °C no inverno e 28,9 °C no verão [52], [53]. A temperatura mais elevada verificou-se, como esperado, no espaço E309, onde se encontra o *data center*. Tal comportamento justifica-se pela elevada carga térmica interna associada aos equipamentos e pela reduzida área disponível, fatores que dificultam a dissipação eficaz do calor.

4.2. Comparativo entre consumos faturados e simulados

A comparação entre os consumos energéticos simulados e os consumos reais faturados constitui uma etapa essencial para validar a precisão do modelo energético desenvolvido. Esta análise permite avaliar a coerência entre o comportamento energético previsto e a operação real do edifício, identificando possíveis desvios e as respetivas causas. Neste subcapítulo, procede-se à análise comparativa dos consumos de energia elétrica e de gás natural, com base nos dados recolhidos e nos resultados obtidos através da simulação dinâmica, permitindo aferir o grau de confiabilidade do modelo face à realidade.

4.2.1. Consumos de energia elétrica e gás

Os resultados da simulação indicam um consumo anual de energia elétrica de 507,72 MWh, valor que se revela 266% superior ao consumo real verificado nas faturas elétricas do edifício. Esta discrepância significativa demonstra uma sobrestimativa no modelo simulado, sendo necessário proceder à sua análise crítica e posterior calibração.

Na Figura 23, é apresentada a comparação mensal entre os consumos simulados e os valores efetivamente faturados. Verifica-se que, em todos os meses do ano, os valores simulados são superiores aos valores reais, o que aponta para hipóteses excessivamente conservadoras ao nível da modelação dos sistemas e da utilização do edifício.

Os meses de junho, julho e setembro evidenciam picos acentuados de consumo na simulação, quando comparados com os restantes meses. Este acréscimo está diretamente associado às necessidades de arrefecimento, indicando que os horários de funcionamento e as cargas atribuídas aos sistemas de climatização foram possivelmente sobrestimados.

Adicionalmente, outros fatores contribuem para este consumo excessivo simulado, nomeadamente a ausência de controlo da ocupação dos espaços, uma vez que o modelo assume que todos os compartimentos estão continuamente ocupados e climatizados. A inexistência de estratégias de ventilação natural, como a abertura de vãos para aproveitamento das condições exteriores, também não está contemplada no modelo, o que impede a redução do consumo de energia elétrica através de soluções passivas.

Assim, os resultados demonstram a importância de uma modelação energética mais realista, que tenha em consideração o comportamento dinâmico dos utilizadores, os perfis reais de

ocupação e uma gestão eficiente dos sistemas técnicos, a fim de melhorar a precisão e fiabilidade do modelo simulado. Os consumos detalhados podem ser consultados no Apêndice D.2.

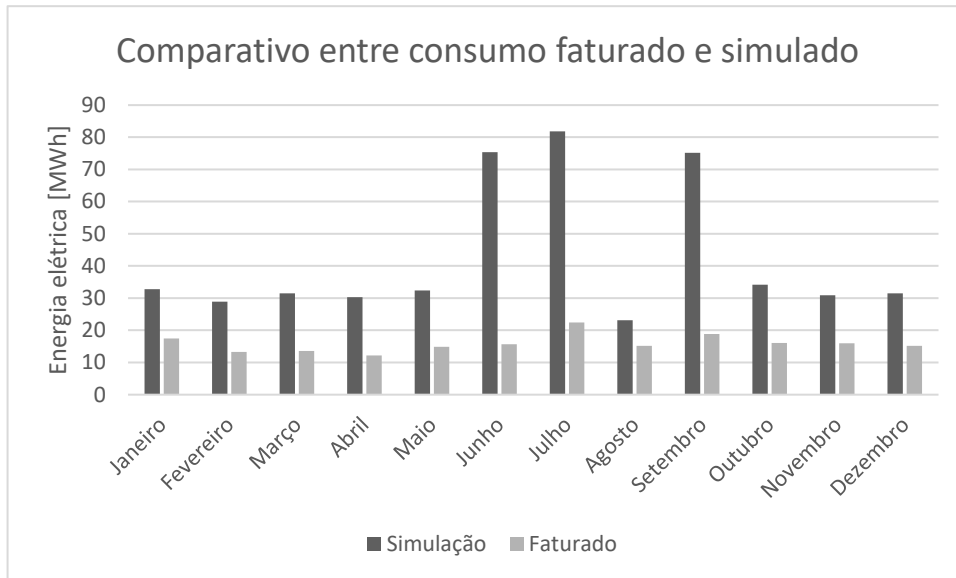


Figura 23- Comparativo entre consumo elétrico faturado e simulado.

O consumo de gás natural no edifício é essencialmente utilizado para alimentar a caldeira responsável pela produção de água quente para aquecimento ambiente. Neste estudo, a produção de águas quentes sanitárias (AQS) não foi considerada, uma vez que não existiam dados disponíveis sobre o respetivo consumo anual. Adicionalmente, tendo em conta que o ginásio do ISEP se encontra desativado, concluiu-se que não existe consumo significativo de AQS nos balneários existentes.

Através da análise gráfica apresentada na Figura 24, verifica-se que, ao longo da maior parte do ano, o consumo de gás faturado é superior ao valor simulado, com exceção do mês de dezembro, no qual o modelo simulado apresenta um consumo três vezes superior ao consumo real. Esta divergência poderá estar associada a uma eventual avaria ou redução do funcionamento da caldeira nesse período específico, resultando num valor faturado anormalmente baixo. No mês de janeiro, observa-se uma boa aproximação entre os valores simulados e faturados, o que indica coerência entre o modelo e a realidade para esse intervalo temporal.

A diferença global entre os consumos simulados e faturados poderá ainda ser explicada por condições climatéricas mais amenas consideradas na simulação, resultando numa redução das necessidades de aquecimento. Caso o inverno simulado tenha sido menos rigoroso do que aquele que efetivamente ocorreu, tal justifica os valores inferiores obtidos no modelo. Já nos meses de abril, maio e junho não existiu nenhum consumo a nível da simulação.

Estes resultados evidenciam a importância da correta definição dos dados climáticos e operacionais no processo de simulação, bem como da calibração do modelo com base em dados

reais, de modo a garantir uma representação mais fiel do desempenho energético do edifício. Os consumos detalhados podem ser consultados no Apêndice D.3.

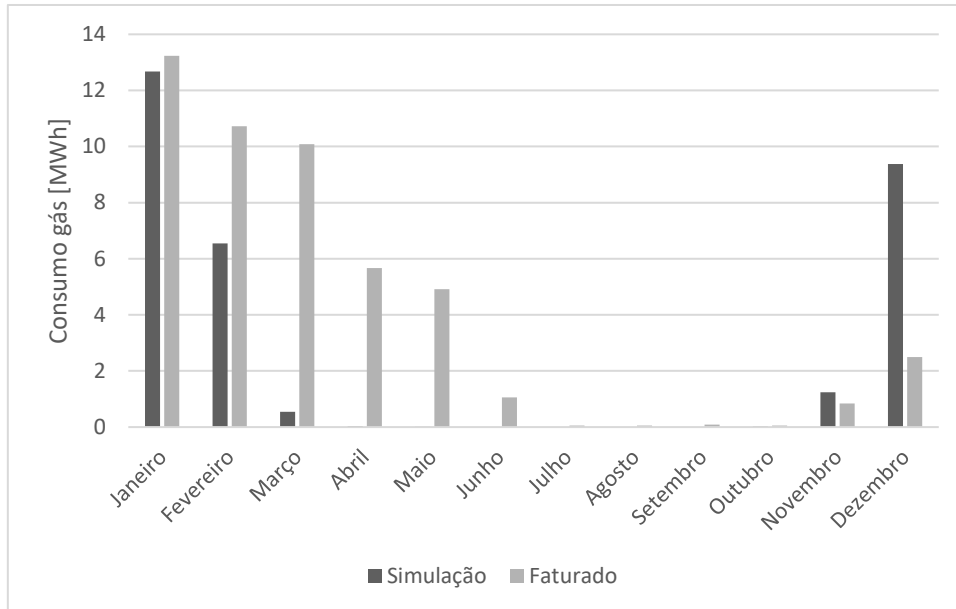


Figura 24-Comparativo entre consumo de gás faturado e simulado

4.3. Calibração do modelo

Como foi possível verificar, existe uma discrepância significativa entre os resultados simulados e os valores reais de consumo energético. De forma a aproximar o modelo aos dados reais, foram realizadas várias calibrações. Sequencialmente e acumulativamente, os resultados dos consumos podem ser consultados com mais detalhe no Apêndice D.4.

4.3.1. Calibração 1

Nesta fase do estudo, procedeu-se a várias alterações nos perfis de funcionamento dos principais equipamentos do edifício, com o objetivo de otimizar o desempenho energético. O Chiller 1 passou a operar apenas nos períodos entre as 10h e as 13h, e entre as 14h e as 17h. No caso do Chiller Servidor, o seu funcionamento foi considerado desligado no intervalo entre as 21h e as 4h. Relativamente à caldeira, foi definido um perfil de operação em que esta funciona a 50% da sua capacidade entre as 8h e as 11h, e novamente entre as 15h e as 18h, operando a 100% entre as 11h e as 15h. Por fim, no que respeita ao servidor, identificado como o principal consumidor de energia (com uma potência instalada de 25 kW), considerou-se que este opera apenas a 25% da sua capacidade nominal.

Após estas alterações, foi realizada uma nova simulação. Como se pode observar na Figura 25, o consumo energético do servidor foi reduzido para metade em relação ao valor inicial.

Consequentemente, o consumo dos sistemas de arrefecimento registou uma redução de cerca de 26%. Esta diminuição refletiu-se também no consumo das bombas de circulação e dos ventiladores associados aos chillers e às UTAs.

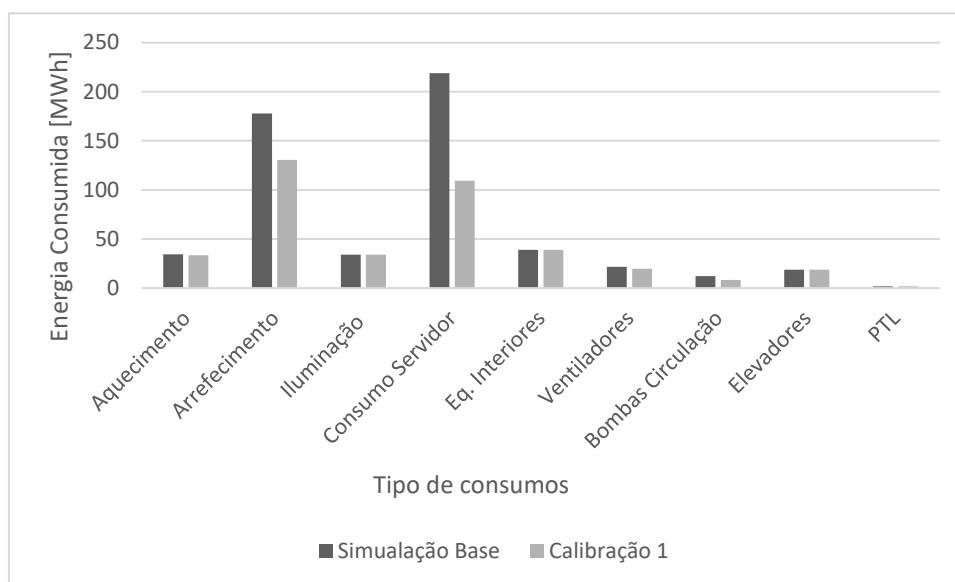


Figura 25-Comparativo entre os consumos da simulação base com a calibração 1.

4.3.2. Calibração 2

Nesta fase, foi considerada a desativação de um dos elevadores, devido à sua reduzida utilização, resultante da sua localização numa zona menos acessível. Assim, o seu funcionamento foi desprezado.

Adicionalmente, os perfis de funcionamento das Unidades de Tratamento de Ar (UTAs) e dos sistemas de climatização foram ajustados para operar a 75% da carga total nos períodos das 9h às 13h e das 14h às 18h, permanecendo desligados nos restantes horários.

Comparando os resultados obtidos nesta calibração com os da anterior, na Figura 26, verificou-se uma redução de 11% nos consumos de arrefecimento e de 7% nos consumos de aquecimento. O consumo anual associado aos elevadores também foi reduzido para metade, uma vez que apenas se considerou o funcionamento de um dos equipamentos.

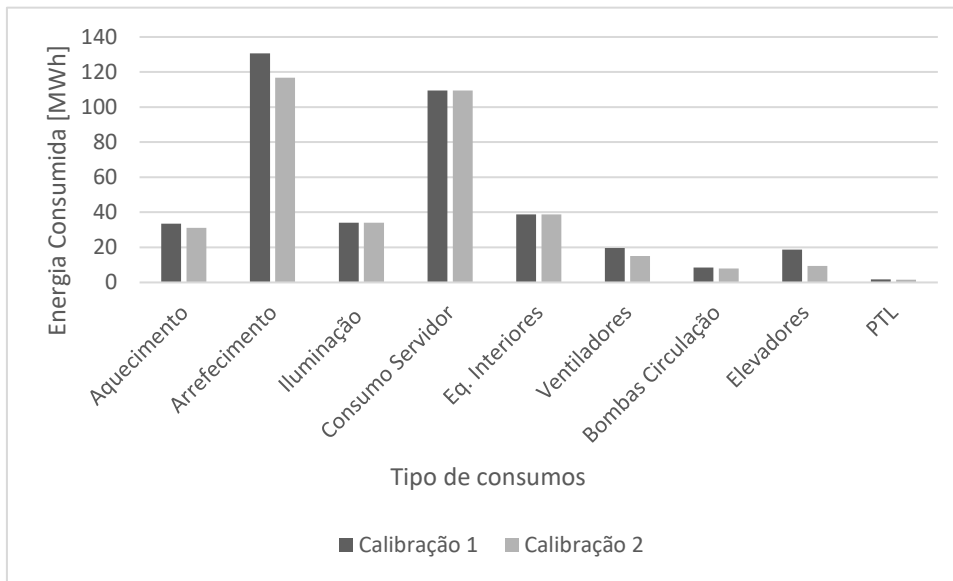


Figura 26-Análise de resultados da calibração 2, e comparativo com a calibração 1.

4.3.3. Calibração 3

O perfil de ocupação foi ajustado devido à ausência de dados concretos sobre o número de utilizadores e os respetivos horários de permanência no edifício, tratando-se de um edifício de natureza administrativa. Assim, considerou-se a presença de ocupantes apenas nos períodos compreendidos entre as 9h e as 13h, e entre as 14h e as 18h.

Também o perfil de funcionamento da iluminação foi revisto, ao que se verifica que a maioria das salas está equipada com várias luminárias, embora nem todas estejam permanentemente em funcionamento. Como o *software* utilizado não permite a modelação de um controlo automático de iluminação, por exemplo, sensores de presença ou luz natural, optou-se por considerar um funcionamento médio de 50% da carga instalada durante os mesmos períodos referidos anteriormente.

A análise dos resultados apresentados na Figura 27 permite concluir que as alterações efetuadas nos perfis de ocupação e iluminação não resultaram numa redução significativa do consumo energético. Ao fim de um ano, o consumo associado à iluminação registou uma diminuição de apenas 8%. Já a diferença global de consumo entre a Calibração 2 e a Calibração 3 foi de aproximadamente 2,4 MWh, evidenciando um impacto relativamente reduzido destas alterações no desempenho energético global do edifício.

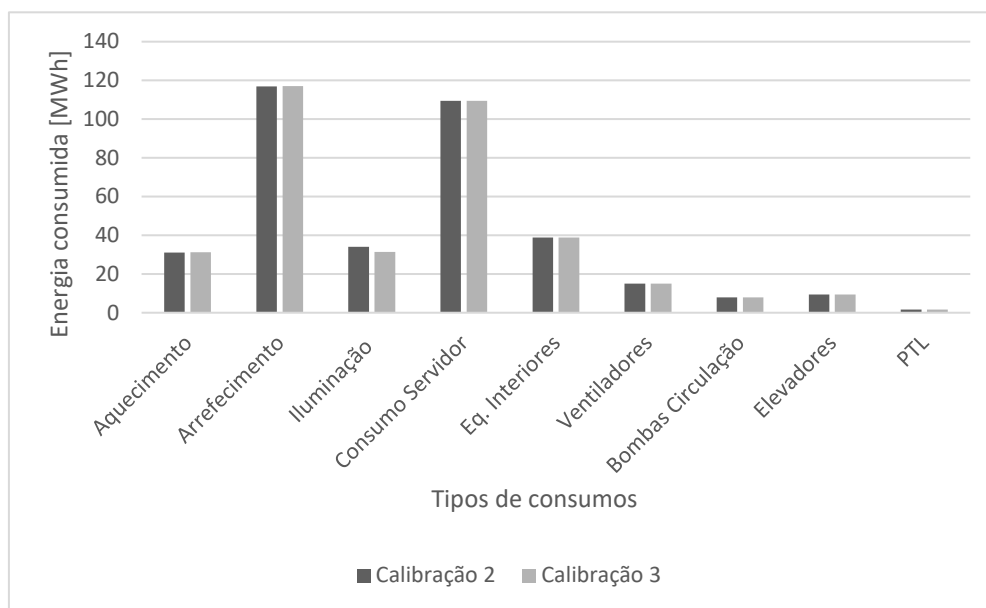


Figura 27-Análise de resultados da calibração 3, e comparativo com a calibração 2.

4.3.4. Calibração 4

Com o objetivo de reduzir o consumo dos equipamentos elétricos durante os períodos em que o edifício se encontra desocupado, foi implementada uma limitação no funcionamento durante o período noturno e aos fins de semana, restringindo-o a 10% da carga total. Esta abordagem reflete a operação em modo de *stand by* da maioria dos equipamentos, que resulta num consumo residual representativo da realidade de edifícios administrativos com baixa atividade fora do horário laboral.

Adicionalmente, foi considerada a suspensão total das atividades no edifício durante a semana do Natal. Nesse período, apenas o servidor e o respetivo chiller dedicados permanecem em funcionamento, por serem sistemas críticos que exigem operação contínua. Esta medida visa reforçar a eficiência energética em épocas de reduzida ou nula ocupação, sem comprometer a integridade dos sistemas essenciais.

A análise dos resultados obtidos permite verificar, através da Figura 28, que o setor que apresentou maior redução de consumo energético nesta calibração foi o dos equipamentos interiores, com uma diminuição de 24%. Também os consumos associados ao aquecimento registaram uma redução de 11%, valor que se justifica essencialmente pelo encerramento do edifício durante a semana do Natal.

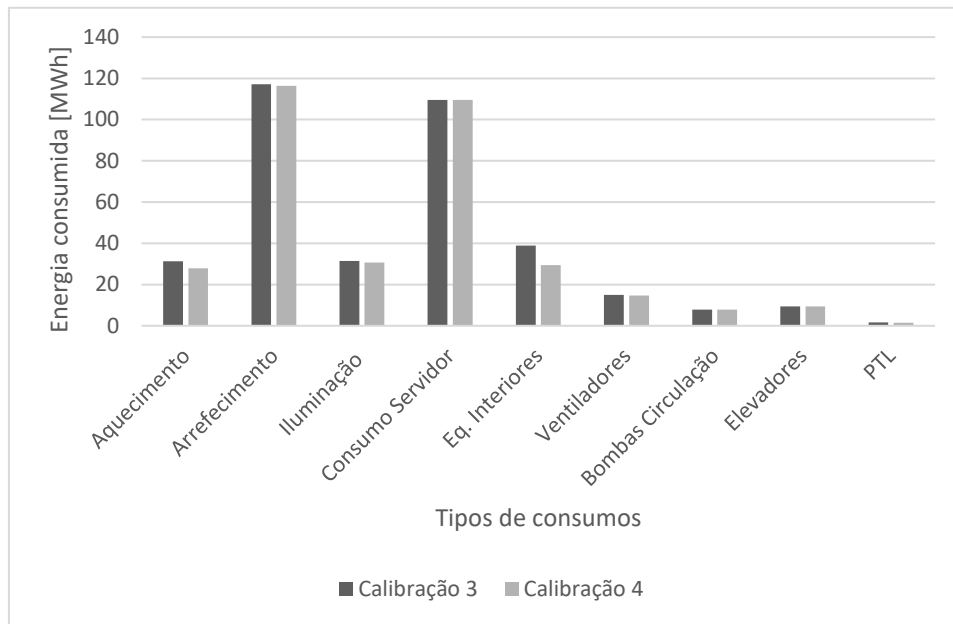


Figura 28-Análise dos consumos da calibração 4 e comparativo com a calibração 3.

4.3.5. Calibração 5

Como se verificou nas calibrações anteriores, houve uma redução significativa dos consumos energéticos totais do edifício. No entanto, o consumo associado ao servidor e ao sistema de arrefecimento manteve-se como o mais representativo no balanço energético global.

Com o objetivo de reduzir esse impacto, procedeu-se à redução da carga atribuída ao servidor, passando de 25% para 10% da sua capacidade total instalada. Esta decisão foi justificada pela ausência de dados concretos relativos ao seu consumo real, bem como pela análise dos resultados obtidos nas simulações, que indicaram que a carga anteriormente considerada não correspondia à realidade observada.

Através da Figura 29, é possível verificar que esta redução de 15% na carga do servidor resultou numa diminuição de 60% no consumo de energia gasta no servidor, evidenciando o peso considerável deste equipamento no desempenho energético do edifício e reforçando a necessidade de um correto dimensionamento e caracterização do seu perfil de utilização.

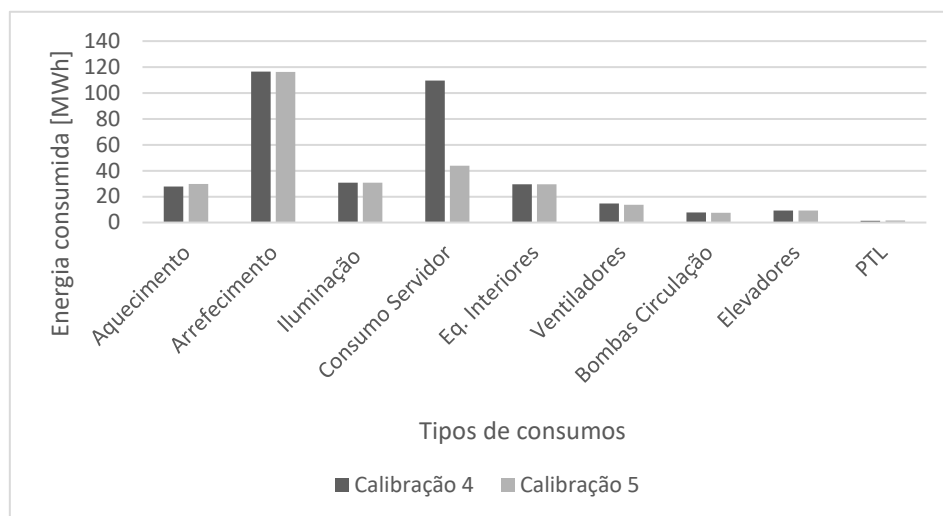


Figura 29-Análise dos resultados da calibração 5, e comparativo com a calibração 4.

4.4. Análise Final

Na sequência das simulações realizadas, verificou-se que o modelo base, construído com os dados inicialmente recolhidos, apresentava consumos energéticos significativamente superiores aos consumos reais registados nas faturas, ultrapassando, em alguns casos, o dobro do valor real. Esta discrepância evidenciou a necessidade de proceder a um processo de calibração do modelo.

Foram, assim, implementadas diversas calibrações com base na identificação dos principais pontos consumidores de energia no edifício, que podem ser consultadas na Tabela 15, como resumo. Como resultado, foi possível aproximar os consumos simulados dos valores reais, conforme se pode observar na Figura 30.

Tabela 15 - Tabela resumo das calibrações efetuadas no modelo

Calibração 1	Horário de funcionamento do chiller e caldeira. Potência do servidor ajustada
Calibração 2	Horário das UTAS ajustado. Funcionamento apenas 1 elevador
Calibração 3	Perfil de ocupação e iluminação ajustado
Calibração 4	Potência dos equipamentos ajustados durante o encerramento. Semana Natal encerrado
Calibração 5	Funcionamento do servidor a 10% da potência total

A análise mensal demonstra que, na maioria dos meses, a discrepância entre os consumos simulados e os consumos reais é reduzida. Em particular, nos meses de janeiro, outubro, novembro e dezembro, a diferença entre ambos é inferior a 10%, o que indica que, durante os períodos de climatização para aquecimento, o modelo simula adequadamente o comportamento energético do edifício.

Nos meses de fevereiro, março, abril e maio, observa-se uma variação mais acentuada. Esta poderá ser atribuída a fatores climáticos atípicos, como temperaturas exteriores superiores ou inferiores ao habitual, bem como a possíveis alterações no funcionamento do edifício, nomeadamente o encerramento parcial durante o período da Páscoa.

Por outro lado, nos meses mais quentes — nomeadamente junho, julho e setembro — observa-se a maior discrepância entre os valores simulados e os valores reais, sendo que a simulação apresenta consumos praticamente duplicados. Esta diferença poderá estar associada, em primeiro lugar, ao elevado consumo energético do servidor e às exigências de arrefecimento específicas desse espaço, que, com o aumento das temperaturas exteriores, obriga as unidades produtoras de frio a operar com maior intensidade. Adicionalmente, outro fator que contribui para esta discrepância é a presença de numerosos ventiloconvectores identificados no projeto inicial. Embora estes equipamentos constem como instalados, na realidade nem todos se encontram em funcionamento. Contudo, no modelo de simulação considerou-se que todos os ventiloconvectores operavam corretamente, resultando num sobredimensionamento do consumo energético.

Relativamente às Unidades de Tratamento de Ar, que desempenham um papel fundamental na climatização dos espaços interiores, o projeto disponibilizado revelou-se incompleto e insuficiente para uma modelação rigorosa. Verificou-se a ausência de informação essencial, nomeadamente os caudais de ar em cada espaço, a velocidade do ar nas condutas e as características técnicas específicas das UTAs instaladas. Para além disso, a falta de dados concretos sobre o seu modo de funcionamento introduz um elevado grau de incerteza na simulação.

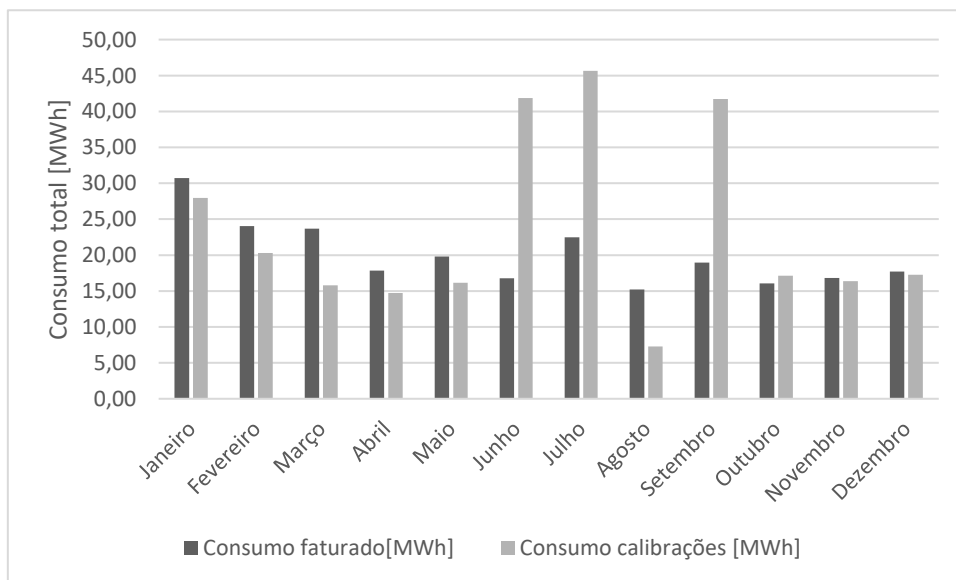


Figura 30- Análise gráfica dos consumos da calibração 5 em relação ao consumo faturado.

Após a conclusão das calibrações e a sua comparação com os consumos reais, obteve-se uma diferença final de 17,5% acima do valor faturado. Este resultado evidencia uma melhoria

significativa face ao modelo inicial, cujos desvios eram substancialmente superiores. A aproximação alcançada deve-se à aplicação de calibrações criteriosas e direcionadas, que permitiram refinar o modelo e torná-lo mais representativo do comportamento real do edifício.

5. Medidas de melhoria e análise financeira

Após a análise dos resultados obtidos na simulação base do edifício, identificaram-se diversos pontos críticos ao nível do desempenho energético, que justificam a aplicação de medidas de melhoria. Estas medidas têm como objetivo reduzir os consumos energéticos e aumentar a eficiência dos sistemas técnicos instalados.

As intervenções propostas foram selecionadas com base na viabilidade técnica, impacto energético e retorno económico, tendo em conta os consumos por tipologia de uso e os equipamentos com maior representatividade na carga total. Cada medida é avaliada individualmente quanto ao seu efeito nos consumos globais do edifício, sendo posteriormente realizada uma análise financeira para aferir a sua rentabilidade.

As simulações correspondentes às medidas de melhoria foram desenvolvidas com base no modelo inicial, mantendo-se constantes os restantes parâmetros, de forma a permitir uma comparação direta com a situação de referência.

A análise financeira tem como objetivo avaliar a viabilidade económica das medidas de melhoria propostas no edifício, permitindo determinar se os investimentos realizados produzem um retorno financeiro positivo ao fim de 15 anos. Para isso, são aplicados indicadores clássicos como o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), o Período de Payback, bem como fatores económicos relevantes como a taxa de inflação e a taxa de juro.

Para avaliar a viabilidade económica do investimento, utiliza-se o Valor Atual Líquido (VAL), que considera os fluxos de caixa futuros atualizados à taxa de desconto. O VAL representa o valor presente dos fluxos de caixa futuros descontados à taxa i . Se o VAL >0 , o investimento é economicamente viável.

$$VAL = \sum_{t=1}^n \frac{R_t - C_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (6)$$

Onde:

- R_t - Receitas ou poupanças no ano;

- S_t - Custos operacionais no ano;
- i - Taxa de desconto (% anual);
- n - Período de análise (anos);
- I_0 - Investimento inicial.

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) representa a taxa de desconto que anula o VAL, permitindo determinar a rentabilidade intrínseca do investimento.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{R_t - C_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (7)$$

A TIR é a taxa de desconto que anula o VAL, ou seja, a taxa que faz com que o valor atual das receitas iguale o investimento inicial. Quanto maior a TIR relativamente à taxa de desconto, mais atrativo é o investimento.

O período de retorno financeiro, corresponde ao número de anos necessários para recuperar o investimento inicial através de fluxos de caixa anuais.

Todos os dados, e resultados, das medidas de melhoria, e análise financeira podem ser consultados em mais detalhes no Apêndice E.

5.1. Medidas de melhoria

Com base na análise efetuada e nas discrepâncias identificadas entre os consumos reais e os valores simulados, foram estudadas diversas medidas de melhoria destinadas a otimizar o desempenho energético do Edifício E. Estas medidas incidem sobre a envolvente opaca e envidraçada, bem como sobre os sistemas técnicos do edifício, visando reduzir as necessidades energéticas, melhorar o conforto térmico e diminuir os custos de exploração. As soluções consideradas incluem a aplicação de isolamento térmico em EPS nas paredes exteriores e em XPS na cobertura, a instalação de películas de controlo solar nos vãos envidraçados, a substituição do chiller do servidor, a substituição da caldeira e do chiller por uma bomba de calor, a renovação dos ventiladores de extração e, por fim, a implementação de um sistema de painéis fotovoltaicos para aproveitamento de energia renovável.

5.1.1. Medida de melhoria 1: Aplicação de isolamento EPS nas paredes exteriores.

A primeira medida de melhoria energética aplicada ao modelo calibrado consistiu na introdução de isolamento térmico nas paredes exteriores do edifício, uma vez que, no modelo base, estas encontravam-se desprovidas de qualquer tipo de isolamento. Para esse efeito, foi selecionado o poliestireno expandido (EPS) com uma espessura de 40 mm, cuja condutividade térmica (λ) é

de 0,037 W/(m.°C), proporcionando uma resistência térmica de 1,08 (m².°C)/W [51]. A ficha técnica detalhada deste material encontra-se disponível no Anexo D.1.

A espessura de 40 mm foi determinada com base nos valores de referência estipulados para elementos opacos verticais na zona climática I1, onde o coeficiente de transmissão térmica admissível é de 0,7 W/(m².°C) [26]. Após a implementação desta medida no modelo, a resistência térmica das paredes exteriores aumentou para 2,11 (m².°C)/W, representando praticamente o dobro da situação inicial. Como consequência, o coeficiente de transmissão térmica das paredes reduziu para 0,47 W/(m².°C), evidenciando uma melhoria significativa no desempenho térmico da envolvente opaca. Com a aplicação deste material, a temperatura média anual do edifício subiu para 23,4 °C, mantendo-se dentro dos parâmetros definidos.

A Tabela 16 apresenta os quantitativos de material necessário e os respetivos impactos ao nível do consumo energético. Para revestir todas as paredes exteriores do edifício, seriam necessários 6030 m² de EPS. Considerando um custo médio, segundo o Cype-Gerador de Preços, de 9,59 €/m², o investimento total na aquisição do material ascende a 57 828 €.

Em termos de desempenho energético, a aplicação deste isolamento permitiu alcançar uma redução de 4,9 MWh no consumo anual de energia, nomeadamente ao nível do sistema de aquecimento. Esta redução deve-se à diminuição das perdas térmicas para o exterior, limitando a entrada de ar frio e, conseqüentemente, as necessidades energéticas para manter o conforto térmico interior. Tendo em conta um custo unitário do gás natural de 0,07 €/kWh, esta poupança energética traduz-se numa economia anual de 316,9 €.

Tabela 16 - Análise energética da aplicação da medida de melhoria 1.

Medida de Melhoria	Poupança Anual de Gás (kWh)	Preço de Gás (€/kWh)	Poupança Anual de Eletricidade (kWh)	Preço de Eletricidade (€/kWh)	Poupança anual energia (€)	Quantidade material aplicar (m2)	Preço material (€/m2)	Custo da Medida (€)
EPS 40 mm	4900	0,07 €	-174	0,15 €	316,90	6030	9,59 €	57 827,70 €

Após a obtenção dos resultados decorrentes da aplicação da medida de melhoria, foi realizada a respetiva avaliação económica, bem como a análise dos riscos associados. Para isso, procedeu-se ao cálculo do tempo de retorno do investimento, considerando um horizonte temporal de 15 anos, uma taxa de inflação anual de 3,6 % e uma taxa de juro de 1,1 %. Os dados obtidos encontram-se na Tabela 17 e indicam que a medida apresentada não é um investimento economicamente viável, onde os custos são elevados. Em contrapartida, seria uma boa medida de forma a melhorar o conforto térmico dos seus ocupantes.

Tabela 17-Análise financeira da medida de melhoria 1.

Medida melhoria	EPS 40 MM
Investimento inicial	57 827,70 €
Poupança anual	316,90 €
Taxa de juro	1,10%
Taxa inflação	3,16%
Taxa de desconto	2,04%
VAL	-53767,20
TIR	-22%
Período de Retorno Financeiro	182 anos

5.1.2. Medida de melhoria 2: Aplicação de isolamento XPS na cobertura.

A segunda medida de melhoria energética aplicada consistiu na introdução de isolamento térmico na cobertura do edifício, utilizando poliestireno extrudido (XPS). O XPS é um material isolante rígido, com elevada resistência à humidade e melhor desempenho térmico em comparação com o EPS.

No modelo base, a cobertura era composta por um elemento pesado, concretamente em betão, o que resultava num coeficiente de transmissão térmica elevado. Com o objetivo de melhorar este desempenho, recorreu-se ao valor de referência definido no Manual do SCE para elementos horizontais na zona climática em análise, estabelecido em $U_{Ref} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Com base nas características técnicas do XPS, detalhadas no Anexo D.2, determinou-se que seria necessária uma espessura de 60 mm para atingir um coeficiente de transmissão térmica na cobertura de $U_{Cobertura} = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Este valor representa uma melhoria substancial, sendo cerca de quatro vezes inferior ao valor correspondente à cobertura no modelo base.

Na tabela 18, é possível verificar as alterações que na aplicação a referida medida. As necessidades de aquecimento diminuíram cerca de 11,9 MWh, no entanto verificou-se um ligeiro aumento de 2,2 MWh nos consumos dos equipamentos de arrefecimento. Este efeito é justificado pelo facto de, no período de inverno, o calor se manter no interior por mais tempo devido ao isolamento, reduzindo assim as necessidades de aquecimento. Por outro lado, no verão, esse mesmo isolamento dificulta a dissipação do calor acumulado, aumentando as exigências do sistema de arrefecimento.

A aplicação desta medida, após feita uma simulação, permite uma poupança anual de 513,58 €, em contrapartida apresenta um custo muito elevado de 56 160 €.

Tabela 18- Análise energética da aplicação da medida de melhoria 2.

Medida de Melhoria	Poupança Anual de Gás (kWh)	Preço de Gás (€/kWh)	Poupança Anual de Eletricidade (kWh)	Preço de Eletricidade (€/kWh)	Poupança anual energia (€)	Quantidade material aplicar (m2)	Preço material (€/m2)	Custo da Medida (€)
XPS 60 mm	11899	0,07 €	-2129	0,15 €	513,58	2700	20,80 €	56 160,00 €

Com base nos resultados obtidos após a implementação desta medida, foi realizada uma avaliação económica e análise de risco. Considerou-se um horizonte temporal de 15 anos, com uma taxa de inflação de 1,5 % e uma taxa de juro de 3 %. Os dados apresentados na Tabela 19 demonstram que esta solução não se revela vantajosa no ponto de vista económico, é dispendiosa face à poupança anual e apresenta um retorno financeiro apenas ao fim de 109 anos.

Tabela 19- Análise financeira da medida de melhoria 2.

Medida melhoria	XPS 60 MM
Investimento inicial	56 160,00 €
Poupança anual	513,58 €
Taxa de juro	1,10%
Taxa inflação	3,16%
Taxa de desconto	2,04%
VAL	-49579,39
TIR	-18%
Período de Retorno Financeiro	109 anos

5.1.3. Medida de melhoria 3: Colocação de películas nos vãos envidraçados

A aplicação de películas nos vãos envidraçados foi considerada como medida de melhoria com o objetivo de aumentar a proteção solar, reduzindo os ganhos solares durante o verão e, consequentemente, as necessidades de arrefecimento. No entanto, esta redução de ganhos solares no verão implica também uma diminuição dos ganhos térmicos no inverno, resultando num aumento das necessidades de aquecimento.

O fator solar inicialmente considerado para os envidraçados do edifício era de 0,75. De acordo com o Manual do SCE, para a zona climática em estudo, o valor de referência recomendado é de 0,25. Após análise de diversas soluções disponíveis no mercado, foi possível identificar uma película com um fator solar compatível com o valor recomendado. As características técnicas desta película encontram-se descritas no Anexo D.3.

Com a implementação desta medida no modelo de simulação, verificou-se um aumento do consumo energético total de 13,9 MWh/ano. Este acréscimo resulta de um aumento das necessidades de aquecimento em 14,5 MWh/ano, compensado apenas por uma ligeira redução de 0,6 MWh/ano nas necessidades de arrefecimento.

Tendo em conta os resultados obtidos, esta medida revelou-se contraproducente no contexto do presente estudo, não contribuindo para uma redução dos consumos nem para a melhoria da eficiência energética do edifício. Pelo contrário, verifica-se um aumento das necessidades energéticas globais, o que inviabiliza a sua aplicação como medida recomendada.

Como não é uma medida que reduza os consumos anuais de energia, a análise financeira não é necessária.

5.1.4. Medida de melhoria 4: Substituição do Chiller do Servidor

Como anteriormente analisado, o servidor do edifício constitui um dos principais pontos de consumo energético, exigindo arrefecimento contínuo e eficaz. Dado que o equipamento atualmente em funcionamento encontra-se tecnologicamente desatualizado, procedeu-se ao contacto com a empresa Trane com o intuito de selecionar uma solução de arrefecimento mais eficiente e adequada às necessidades do espaço.

O equipamento selecionado foi o **chiller ar-água modelo TAE G 081**, equipado com bomba circuladora, e que apresenta uma potência térmica de arrefecimento de 21,66 kW e um coeficiente de eficiência sazonal para arrefecimento (EER) de 5,09. A ficha técnica detalhada do equipamento encontra-se disponível no Anexo D.4.

De acordo com o orçamento obtido, é possível verificar na Tabela 20, que o custo de aquisição do referido equipamento é de 11 872 €. A substituição do chiller antigo por este modelo mais eficiente permitiu alcançar uma poupança anual de 23,7 MWh no consumo elétrico associado aos sistemas de arrefecimento, o que se traduz numa redução anual de 3 555 €, considerando o custo unitário da eletricidade em vigor.

Tabela 20- Análise energética da aplicação da medida de melhoria 4.

Medida de Melhoria	Poupança Anual de Eletricidade (kWh)	Preço de Eletricidade de (€/kWh)	Poupança anual energia (€)	Custo da Medida (€)
Chiller servidor	23700	0,15 €	3 555,00 €	11 872,00 €

Esta medida representa um investimento energeticamente vantajoso, com benefícios significativos a curto e médio prazo. Na Tabela 21 pode-se verificar, que com base na poupança anual estimada, o *payback* é de aproximadamente 3,3 anos, e o VAL e o TIR mostram que esta intervenção é altamente recomendável tanto do ponto de vista técnico como económico.

Tabela 21-Análise financeira da medida de melhoria 4.

Medida melhoria	Chiller Servidor
Investimento inicial	11 872,00 €
Poupança anual	3 555,00 €
Taxa de juro	1,10%
Taxa inflação	3,16%
Taxa de desconto	2,04%
VAL	33 763,82 €
TIR	29%
Período de Retorno Financeiro	3,5 anos

5.1.5. Medida de melhoria 4: Substituição dos ventiladores existentes.

O edifício dispõe, no total, de seis ventiladores dedicados à extração de ar nos sanitários. Face à ausência de informações técnicas sobre os equipamentos existentes, optou-se por considerar a sua substituição no âmbito das medidas de melhoria da eficiência energética, dado que os ventiladores já devem possuir uma idade superior a 20 anos.

Os ventiladores selecionados para este efeito foram os CANAL ENERGY 100, da marca France Air, cuja ficha técnica e características operacionais estão detalhadas no Anexo D.5.

De acordo com os resultados obtidos, apresentados na Tabela 22, a substituição dos ventiladores permitiu alcançar uma redução anual no consumo elétrico de aproximadamente 0,8 MWh, o que corresponde a uma poupança económica de 116,70 € por ano.

Tabela 22- Análise energética da aplicação da medida de melhoria 5.

Medida de Melhoria	Poupança Anual de Eletricidade (kWh)	Preço de Eletricidade de (€/kWh)	Poupança anual energia (€)	Custo da Medida (€)
Ventiladores	778	0,15 €	116,70 €	1 747,00 €

Na Tabela 23, verifica-se que a medida apresenta um custo de aquisição de 1 747 €, com uma poupança anual estimada de 116,7 €. Apesar de ter um período de retorno financeiro de 15 anos, os resultados indicam um VAL negativo e uma TIR de 0 %, o que sugere que a medida não é financeiramente viável ao longo dos 15 anos analisados.

Tabela 23-Análise financeira da medida de melhoria 5.

Medida melhoria	Ventiladores
Investimento inicial	1 747,00 €
Poupança anual	116,70 €
Taxa de juro	1,10%
Taxa inflação	3,16%
Taxa de desconto	2,04%
VAL	- 251,70 €
TIR	0%
Periodo de Retorno Financeiro	15 anos

5.1.6. Medida de melhoria 6: Substituição da caldeira e chiller existentes por uma Bomba de calor ar-água.

A substituição do chiller e da caldeira a gás justifica-se pela idade avançada e reduzida eficiência dos equipamentos existentes, resultando em consumos energéticos elevados e custos operacionais acrescidos. A solução implementada consiste na instalação de um sistema TRANE, modelo CMAF 110, capaz de assegurar simultaneamente as necessidades de aquecimento e arrefecimento, recorrendo exclusivamente a energia elétrica e eliminando o uso de gás natural, o que contribui para a redução das emissões associadas.

Em termos de desempenho, o COP do sistema para aquecimento evoluiu de 0,90 (caldeira) para 2,88 (bomba de calor), enquanto o EER para arrefecimento passou de 1,88 para 3,07, representando um aumento significativo da eficiência sazonal. O custo total de aquisição e instalação do equipamento é de 98 824 €.

De acordo com a Tabela 24, a substituição dos equipamentos originais permite uma poupança anual de 59 434 kWh, o que corresponde a uma redução de 90,6 % no consumo de energia para aquecimento e de 27,9 % no consumo elétrico para arrefecimento. Em termos económicos, esta diminuição do consumo traduz-se numa poupança anual de aproximadamente 6 764,6 €, resultante quer da redução do consumo de gás natural, quer da maior eficiência no consumo de eletricidade.

Tabela 24-Análise energética da aplicação da medida de melhoria 6.

Medida de Melhoria	Poupança Anual de Gás (kWh)	Preço de Gás (€/kWh)	Poupança Anual de Eletricidade (kWh)	Preço de Eletricidade (€/kWh)	Poupança anual de energia (€)	Custo da Medida (€)
Bomba de calor	26 900	0,07	32544	0,15	6 764,60 €	98 824,00 €

A análise financeira, como se pode verificar na Tabela 25, desta medida foi efetuada para um horizonte temporal de 15 anos, considerando o custo total de investimento de 98 824 € e uma poupança anual estimada de 6 764,6 €. Os resultados obtidos indicam um período de retorno simples de 15 anos, um VAL negativo e uma TIR de 0 %. Estes indicadores demonstram que, embora a substituição dos equipamentos existentes por uma bomba de calor não se revele financeiramente vantajosa no horizonte temporal considerado, apresenta um impacto ambiental bastante significativo. De facto, verifica-se uma redução de aproximadamente 17081 kg CO₂ (51%) nas emissões anuais de CO₂, evidenciando uma clara melhoria do desempenho energético e ambiental do edifício. Esta redução ultrapassa a meta de 40% de diminuição das emissões de GEE até 2030, estabelecida pelas políticas europeias e nacionais no âmbito da transição energética, reforçando assim o contributo desta medida para a sustentabilidade e descarbonização do setor dos edifícios.

Tabela 25-Análise financeira da medida de melhoria 6.

Medida melhoria	Bomba de Calor
Investimento inicial	98 824,00 €
Poupança anual	6 764,60 €
Taxa de juro	1,10%
Taxa inflação	3,16%
Taxa de desconto	2,04%
VAL	- 12 147,79 €
TIR	0%
Período de Retorno Financeiro	15

5.1.7. Medida de melhoria 7: Aplicação de painéis fotovoltaicos na cobertura.

A presente medida visa o aproveitamento de fontes de energia renovável, tirando partido da ampla área disponível na cobertura do edifício. Conforme ilustrado na Figura 31, foi realizada a modelação da instalação de aproximadamente 440 m² de painéis fotovoltaicos, o que corresponde a cerca de 200 módulos. A disposição dos painéis foi definida com base na análise da cobertura através da plataforma Google Maps, permitindo identificar as zonas úteis e as áreas obstruídas. Os módulos fotovoltaicos selecionados são da marca *Phono Solar*, com dimensões de 2278×1134×35 mm, potência nominal de 550 W e um rendimento de 21,29 %. A respetiva documentação técnica encontra-se disponível no Anexo D.7.

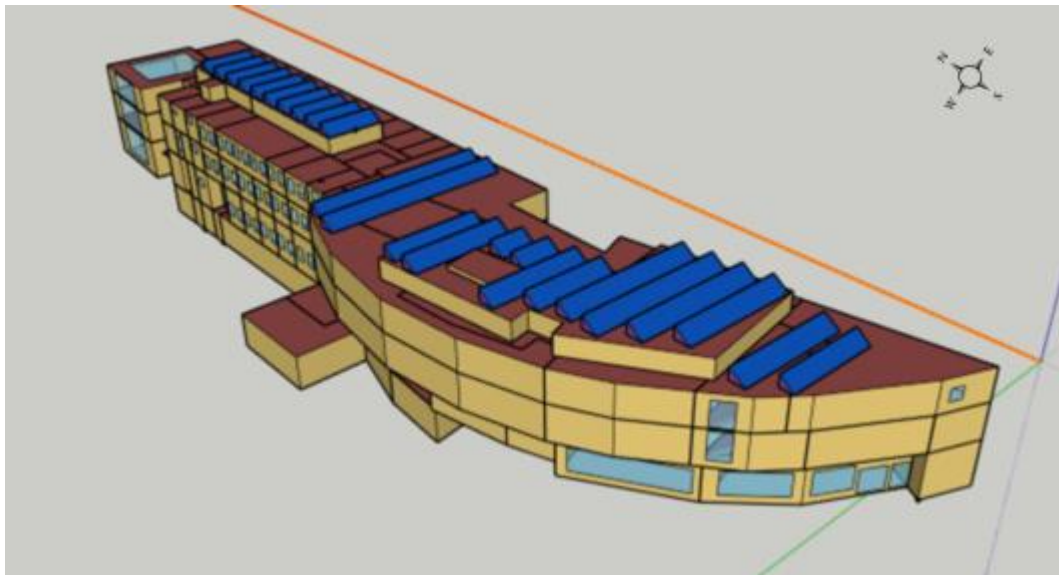


Figura 31 - Implementação dos painéis fotovoltaicos na cobertura

Recorreu-se à ferramenta *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* para determinar o ângulo de inclinação ótimo dos painéis fotovoltaicos na Península Ibérica. Com base nesse estudo, concluiu-se que, para a região do Porto, o ângulo ideal é de 35° [54].

Considerando o modelo de painel selecionado e a distribuição apresentada anteriormente, estimou-se uma produção anual de energia elétrica fotovoltaica de 158 281 kWh/ano, conforme indicado na Tabela 26, o que representa cerca de 56 % da necessidade energética anual do edifício. Deste valor, 78 905 kWh/ano são autoconsumidos, enquanto os 79 376 kWh/ano excedentes são injetados na rede elétrica, com uma tarifa de retorno de 0,01 €/kWh. Assim, verifica-se que 50 % da energia gerada é aproveitada internamente.

A energia gasta pelo edifício anualmente é de 282 175 kWh, pelo que é necessário adquirir da rede 203 270 kWh/ano, verificando-se um aproveitamento de fontes renováveis correspondente a cerca de 28 % do consumo anual.

A produção média por painel é de 793,2 kWh/ano, o que equivale a 359,7 kWh/m². ano. Este baixo nível de autoconsumo justifica-se pelo facto de o edifício se encontrar encerrado durante o mês de agosto e aos fins de semana, períodos em que o consumo energético é substancialmente reduzido, originando a necessidade de exportar parte da energia produzida.

Tabela 26-Produção e consumo, anual, de energia fotovoltaica no edifício.

	kWh/ano	%
Produção energia solar	158281	56%
Consumo total edifício	282175	100%
Energia solar consumida	78905	50%
Energia solar exportada	79376	28%
Energia comprada	203270	72%

Para a estimativa dos custos associados à implementação da medida, foi contactada uma empresa especializada na instalação de sistemas fotovoltaicos. Conforme apresentado na Tabela 27, o custo total da solução, incluindo o fornecimento e instalação dos painéis, é de aproximadamente 60 000 €. Com base na produção anual de energia e considerando o autoconsumo e a energia exportada, estima-se uma poupança anual de 12 639,25 €.

A análise financeira, realizada para um horizonte temporal de 15 anos, evidencia a viabilidade do investimento. O VAL é elevado, a Taxa Interna de Rentabilidade atinge os 20 % e o período de retorno financeiro é de apenas 5 anos, o que demonstra um desempenho económico bastante favorável da medida.

Tabela 27- Análise financeira da medida de melhoria 7.

Medida melhoria	Fotovoltaicos
Investimento inicial	60 000,00 €
Poupança anual	12 639,25 €
Taxa de juro	1,10%
Taxa inflação	3,16%
Taxa de desconto	2,04%
VAL	101 949,31 €
TIR	20%
Periodo de Retorno Financeiro	5

5.2. Análise das medidas de melhoria

Após a implementação e análise das medidas de melhoria energética previamente estudadas, procede-se a uma avaliação global da sua eficácia e viabilidade económico-financeira.

A aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores e na cobertura não se revelou financeiramente vantajosa, uma vez que os custos de investimento são bastante elevados, traduzindo-se num tempo de retorno demasiado longo. A análise dos resultados demonstra que a solução construtiva inicialmente definida para o projeto apresenta já boas características térmicas, pelo que a introdução de EPS e XPS conduziu apenas a uma redução marginal dos consumos associados aos sistemas de aquecimento e arrefecimento. Sendo que estas duas medidas apesar de possuírem um custo elevado, acabam por trazer melhorias para o conforto térmico dos ocupantes no seu interior.

Relativamente à aplicação de películas de proteção solar nos vãos envidraçados, verificou-se igualmente que esta medida não é economicamente rentável. Embora permita reduzir os ganhos solares no período de verão, resultando numa ligeira diminuição dos consumos de arrefecimento, no inverno a situação é inversa: a limitação dos ganhos solares passivos obriga

a um maior esforço dos equipamentos de aquecimento, conduzindo a consumos anuais superiores face à situação de referência.

A substituição do chiller dedicado ao *data center* revelou-se uma das medidas mais eficazes do ponto de vista energético. Sendo este equipamento um dos principais consumidores do edifício, a sua substituição por uma unidade mais recente e eficiente possibilitou uma redução de 20,4% no consumo anual de energia. Do ponto de vista financeiro, esta medida apresenta um tempo de retorno de aproximadamente 3,5 anos, configurando-se como um investimento altamente vantajoso.

No caso da substituição dos ventiladores de extração dos sanitários, os resultados indicam um impacto energético reduzido, devido à sua baixa utilização e ao peso pouco significativo no consumo global do edifício. O tempo de retorno estimado é de 15 anos, não se tratando, por isso, de uma medida prioritária do ponto de vista de investimento.

A aquisição e instalação de uma bomba de calor para assegurar o aquecimento e arrefecimento dos espaços através dos ventiloconvetores representa uma medida de elevado custo inicial (98 824 €), com um tempo de retorno estimado em 15 anos. No entanto, esta tecnologia proporciona uma redução de 91% no consumo energético destinado ao aquecimento e de 28% no consumo associado ao arrefecimento. Para além da poupança direta, importa destacar os benefícios ambientais decorrentes da transição do uso de gás natural para eletricidade, tornando o edifício mais sustentável. Após o 16.º ano de operação, verifica-se ainda uma redução anual acumulada na fatura energética de aproximadamente 6 746 €, reforçando a viabilidade desta solução a longo prazo.

Por fim, a instalação de um sistema fotovoltaico revelou-se uma das medidas mais promissoras. Para uma área instalada de 440 m² de painéis solares, obteve-se uma cobertura de 56% das necessidades anuais de energia do edifício. Deste total, 28% corresponde a autoconsumo e 28% a energia exportada para a rede elétrica. Esta medida apresenta um retorno financeiro de apenas 5 anos, evidenciando-se como altamente rentável. Para além da poupança económica, destaca-se o contributo direto para a utilização de uma fonte renovável, gratuita e limpa, reduzindo a dependência energética e as emissões de gases com efeito de estufa.

5.2.1. Medidas de melhoria escolhidas

Para a etapa final, foi realizada uma simulação integrando as medidas de melhoria correspondentes ao chiller do servidor, à bomba de calor e ao sistema fotovoltaico. Os resultados obtidos evidenciam uma redução de 29% no consumo de energia primária, face à simulação da calibração final, o modelo mais próximo dos consumos reais, resultando num total de 201,7 MWh/ano.

Conforme apresentado na Tabela 28, a produção solar corresponde a 78 % do consumo anual, dos quais 71,3 MWh (45 %) são utilizados em regime de autoconsumo e os restantes 55 % são exportados para a rede elétrica. Ainda assim, é necessário adquirir 130,4 MWh/ano à rede, o que significa que 65 % da energia consumida é proveniente da rede e 35 % é assegurada pela produção fotovoltaica.

Tabela 28 - Produção e consumo, anual, de energia fotovoltaica no edifício

	MWh/ano	%
Consumo anual	201,7	100%
Produção energia solar	158,3	78%
Energia solar consumida	71,3	45%
Energia solar exportada	87	55%
Energia comprada	130,4	65%

Verifica-se uma poupança anual de 94,1 MWh/ano, resultante da redução do consumo associado aos equipamentos de arrefecimento e do aproveitamento da energia proveniente do sistema fotovoltaico. Do total produzido, 87 MWh/ano são exportados para a rede elétrica e regista-se ainda uma diminuição de 26 900 kWh no consumo de gás. Em termos económicos, esta redução traduz-se numa poupança anual de 16 869,81€. Os valores detalhados encontram-se apresentados na Tabela 29 e descritos em maior pormenor no Apêndice E.

Tabela 29-Análise energética da aplicação das medidas de melhoria aplicadas.

Medida de Melhoria	Poupança Anual de Eletricidade (kWh)	Preço de Eletricidade (€/kWh)	Energia exportada para a rede (kWh)	Preço da energia exportada (€/kWh)	Poupança Anual de Gás (kWh)	Preço de Gás (€/kWh)	Poupança anual energia (€)
Final	94112	0,15 €	87001	0,01 €	26900	0,07 €	16 869,81 €

A análise desta medida, apresentada na Tabela 30, demonstra a sua viabilidade económica. O investimento inicial é de 170 696 €, um valor elevado, mas que permite alcançar uma poupança de 16 869,81 € na fatura anual, correspondendo a uma redução de 46 % face aos consumos do modelo calibrado. Os resultados financeiros evidenciam um Valor Atual Líquido positivo, uma Taxa Interna de Rentabilidade favorável e um período de retorno simples de 9 anos, confirmando tratar-se de uma medida vantajosa tanto do ponto de vista económico como da sustentabilidade energética no contexto deste caso de estudo.

Tabela 30- Análise financeira das medidas de melhoria aplicadas.

Medida melhoria	Bomba de calor + Chiller + Painei Fotovoltaico
Investimento inicial	170 696,00 €
Poupança anual	16 869,81 €
Taxa de juro	1,10%
Taxa inflação	3,16%
Taxa de desconto	2,04%
VAL	104 492,06 €
TIR	9%
Período de Retorno Financeiro	10

Todas estas medidas podem ser apoiadas pelo Fundo Ambiental, criado para melhorar a Eficiência Energética em Edifícios de Serviço, que comparticipa até 70 % com um valor máximo de 200 000€, sendo que neste estudo, as medidas aplicadas e o próprio edifício são elegíveis para esse apoio [24], [25]. Além de que alteração destes equipamentos contribui para a redução dos GEE, cumprindo as metas Portuguesas e Europeias.

6. Conclusões e trabalhos futuros

Após a realização desta dissertação, que envolveu o desenvolvimento de um caso de estudo e a análise detalhada dos respetivos resultados, é possível afirmar que foram cumpridos todos os objetivos inicialmente propostos. O presente capítulo tem como finalidade apresentar as principais conclusões do trabalho realizado, bem como identificar potenciais linhas de continuidade para trabalhos futuros.

O estudo permitiu compreender de forma aprofundada todo o processo associado à simulação dinâmica de um edifício, desde a revisão da legislação aplicável, à modelação arquitetónica, levantamento e caracterização dos equipamentos existentes, até à análise e interpretação dos resultados obtidos. A legislação portuguesa e europeia tem vindo a reforçar a necessidade de uma gestão mais eficiente do consumo energético nos edifícios, impondo critérios cada vez mais rigorosos no sentido de minimizar os consumos e promover a utilização de fontes renováveis.

O trabalho revelou-se complexo e exigente, tendo sido necessário modelar o edifício em detalhe, com um total de 163 zonas térmicas e uma área útil de 9 467 m². O edifício em estudo recorria a energia elétrica e gás natural para climatização dos espaços. A análise aos consumos faturados revelou a ausência de consumo de gás natural em dezembro de 2023, coincidindo com um aumento significativo no consumo elétrico. Após contacto com o responsável de manutenção, foi confirmado que a caldeira tinha sido substituída por uma bomba de calor, o que justificou essa alteração nos padrões de consumo.

A simulação inicial apresentou um consumo total 236 % superior ao registado nas faturas, valor que evidenciou discrepâncias associadas à potência e funcionamento real dos equipamentos de climatização. Após uma análise detalhada, concluiu-se que o servidor é o principal consumidor de energia do edifício, representando cerca de 39 % do consumo total, mesmo considerando na simulação apenas metade da potência nominal. Os equipamentos de arrefecimento representaram 32 % do consumo, dos quais 36 % são atribuídos ao chiller do servidor, o que reforça a hipótese de sobredimensionamento deste sistema.

As necessidades térmicas do edifício, isto é, a energia útil que o edifício necessita de receber ou remover para manter as condições interiores de conforto, totalizam 187,9 MWh/ano, sendo as necessidades de arrefecimento predominantes. O consumo de gás natural simulado foi cerca de 30 % inferior ao faturado, diferença que poderá estar relacionada com a não consideração do sistema de AQS, a inatividade do ginásio e eventuais condições exteriores mais amenas durante o período analisado.

O processo de calibração teve como objetivo aproximar o modelo da realidade, ajustando parâmetros relacionados com o funcionamento dos equipamentos de climatização e do servidor. Dadas as limitações de informação, foi possível atingir um desvio final de 17 % face aos consumos reais, um valor considerado satisfatório, ainda que ligeiramente superior ao limite de ± 10 % estabelecido para validação total do modelo. Este resultado confirmou que o

servidor é o principal responsável pelo consumo energético do edifício, e que existe margem de melhoria no controlo e operação dos sistemas de AVAC.

Após a calibração, foram estudadas diversas medidas de melhoria com o objetivo de reduzir o consumo energético e as emissões de CO₂, tornando-o mais eficiente. Entre as medidas analisadas, a aplicação de isolamento térmico na cobertura e nas paredes revelou uma redução pouco significativa nos consumos, sendo economicamente pouco viável devido ao elevado custo de implementação. As películas de controlo solar, embora eficazes na redução de ganhos solares no verão, provocaram um aumento de aproximadamente 14 MWh/ano nas necessidades de aquecimento, devido à limitação da penetração da radiação solar no inverno.

A substituição da caldeira e do chiller principal por uma bomba de calor reversível resultou numa redução substancial dos consumos anuais de energia. Embora financeiramente o investimento não apresente retorno positivo num horizonte de 15 anos, a medida permitiu uma redução de cerca de 51 % nas emissões de CO₂, ultrapassando a meta nacional para 2030 (redução mínima de 40 %), o que a torna ambientalmente recomendável. O chiller do servidor revelou-se igualmente uma intervenção vantajosa, tanto do ponto de vista energético como económico.

A instalação de 440 m² de painéis fotovoltaicos na cobertura mostrou-se particularmente eficaz, permitindo a produção de cerca de 56 % do consumo total do edifício. Esta medida destaca-se pela sua viabilidade financeira e impacto ambiental positivo, representando um passo significativo na integração de fontes de energia renovável.

Por fim, a combinação das três medidas mais relevantes, substituição por bomba de calor, instalação de novo chiller para o servidor e implementação de painéis fotovoltaicos, que proporcionou uma redução global de 46 % face ao consumo calibrado, com benefícios diretos em termos de sustentabilidade, emissões e possibilidade de candidatura a incentivos do Fundo Ambiental. Estas conclusões demonstram que o edifício tem potencial para evoluir no sentido de um edifício de balanço energético quase nulo, servindo de referência para futuras intervenções no campus do ISEP.

6.1. Trabalhos futuros

Embora o modelo desenvolvido e as análises realizadas tenham permitido compreender de forma abrangente o comportamento energético do edifício, existem várias oportunidades de aprofundamento que poderão contribuir para a melhoria da precisão e robustez dos resultados obtidos.

Em primeiro lugar, recomenda-se a implementação de um sistema de monitorização em tempo real do servidor e dos equipamentos de AVAC, de modo a recolher dados contínuos de funcionamento, potências instantâneas e temperaturas de operação. Esta monitorização permitiria validar com maior rigor os perfis de utilização e ajustar o modelo de simulação de forma mais representativa da realidade. A obtenção de dados reais de consumo e de regimes

de funcionamento é essencial para reduzir incertezas, melhorar a calibração e permitir uma gestão energética mais eficiente do edifício.

Dado os excelentes resultados obtidos com a produção de energia solar, considera-se fundamental aprofundar o estudo da implementação de painéis fotovoltaicos na cobertura. O potencial de aproveitamento verificado demonstra que esta solução poderá assumir um papel determinante na autoprodução energética do edifício. Assim, recomenda-se a realização de um estudo mais detalhado e rigoroso sobre a configuração ideal do sistema, avaliando a orientação, inclinação e possíveis sombreamentos, de modo a maximizar a produção anual de energia.

Adicionalmente, deve ser analisada a possibilidade de armazenamento da energia excedentária produzida nos meses de verão, período em que a produção solar é elevada e a utilização do edifício é reduzida. O armazenamento permitiria utilizar essa energia nos meses de maior procura, reduzindo a dependência da rede elétrica e aumentando a taxa de autoconsumo. Esta abordagem contribuiria significativamente para a otimização do desempenho energético global, alinhando o edifício com os princípios de eficiência, sustentabilidade, gestão inteligente de energia e aproximando de um edifício NZEB.

Referências

- [1] J. Yang, Y. Yu, T. Ma, C. Zhang, e Q. Wang, «Evolution of energy and metal demand driven by industrial revolutions and its trend analysis», *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, vol. 19, n. 3, pp. 256–264, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2021.12.028>.
- [2] Brundtland G, Khalid M, Al-Athel SA, C.B, Fadika L, e et al, «Report of the World Commission on Environment and Development : note /», p. 374 p. :, Ago. 1987, [Em linha]. Disponível em: <http://digitallibrary.un.org/record/139811>
- [3] «Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas». Acedido: 19 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>
- [4] Ministério dos Negócios Estrangeiros, *Decreto n.º 14/2003, de 4 de abril*. Acedido: 21 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto/14-2003-224623>
- [5] «Protocolo de Quioto». Acedido: 19 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://apambiente.pt/clima/protocolo-de-quioto>
- [6] Ministério dos Negócios Estrangeiros, *Decreto n.º 7/2002, de 25 de março*. Acedido: 21 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto/7-2002-300578?_ts=1703169772760
- [7] L. Atwoli *et al.*, «Llamamiento a la acción urgente para limitar el aumento de la temperatura global, restaurar la biodiversidad y proteger la salud», *Gac Sanit*, vol. 35, n. 6, pp. 512–514, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2021.08.001>.
- [8] *DECISÃO (UE) 2016/1841 DO CONSELHO*. 2016. Acedido: 21 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32016D1841>
- [9] «Energia elétrica de fontes renováveis atinge 47% em 2024», Energias renováveis em ascensão: 37% da eletricidade da UE. Acedido: 28 de Abril de 2025. [Em linha]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250319-1>
- [10] H. H. Pourasl, R. V. Barenji, e V. M. Khojastehnezhad, «Solar energy status in the world: A comprehensive review», *Energy Reports*, vol. 10, pp. 3474–3493, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.022>.
- [11] Presidência do Conselho de Ministros, *Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de julho*. Acedido: 26 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>
- [12] DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, «Estatísticas rápidas - nº 227 - outubro 2023». Acedido: 9 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/media/25dhomb5/dgeg-arr-2023-10.pdf>

Referências

- [13]: DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística, : «Balanço Energético Nacional 2022». Acedido: 26 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/media/vt3bqpmn/dgeg-ben-2022.pdf>
- [14] EDP, «Central solar flutuante da EDP em Alqueva já produz energia».
- [15] Presidência do Conselho de Ministros, *Decreto-Lei n.º 114/2021, de 15 de dezembro*.
- [16] T. e C. Ministério das Obras Públicas, *Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro*. Acedido: 29 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/40-1990-334611>
- [17] do P. e da A. do T. Ministério do Equipamento, *Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de maio*. Acedido: 29 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/118-1998-517194>
- [18] Ministério da Economia e do Emprego, *Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto*. Acedido: 29 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/118-2013-499237>
- [19] Presidência do Conselho de Ministros, *Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro*. 2020.
- [20] Z. Ke *et al.*, «Research on energy efficiency and decarbonization pathway of nearly zero energy buildings based on system dynamic simulation», *Developments in the Built Environment*, vol. 17, p. 100310, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100310>.
- [21] S. M. Silva, R. Mateus, L. Marques, M. Ramos, e M. Almeida, «Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal – Energy, economics and environmental life cycle analysis», *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 156, pp. 59–74, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.04.053>.
- [22] V. F. Mendes, A. S. Cruz, A. P. Gomes, e J. C. Mendes, «A systematic review of methods for evaluating the thermal performance of buildings through energy simulations», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 189, p. 113875, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113875>.
- [23] INE, «Consumo de Energia no Setor Doméstico», *Resultados preliminares do Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico - 2020*. Acedido: 2 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: [file:///C:/Users/Bruno%20Coelho/Downloads/19ICESD_2020%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Bruno%20Coelho/Downloads/19ICESD_2020%20(2).pdf)
- [24] Planeamento e Ambiente e Ação Climática, *Portaria n.º 136-A/2022, de 7 de abril*. 2022, pp. 2–12.
- [25] Fundo Ambiental, *Investimento TC-C13-i03 – Eficiência Energética em edifícios de serviços*. 2022, pp. 1–29.
- [26] Fundo Ambiental, *Investimento TC-C13-i02 – Eficiência Energética em Edifícios da Administração Pública Central*. 2025, pp. 1–29.
- [27] Direção Geral de Energia e Geologia, «Eficiência Energética», Eficiência Energética de Edifícios . Acedido: 29 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/edificios/>
- [28] Direção Geral de Energia e Geologia, «Manual SCE». Acedido: 29 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2021/07/Manual-SCE.pdf>
- [29] D. Sood *et al.*, «Zone-wise occupancy schedules developed using Time Use Survey data for building energy performance simulations», *Data Brief*, vol. 49, p. 109453, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109453>.
- [30] A. M. Raimundo, N. B. Saraiva, e A. V. M. Oliveira, «Thermal insulation cost optimality of opaque constructive solutions of buildings under Portuguese temperate climate»,

- Build Environ*, vol. 182, p. 107107, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107107>.
- [31] S. Nazari, P. K. MirzaMohammadi, B. Sajadi, P. Pilehchi Ha, S. Talatahari, e P. Sareh, «Designing energy-efficient and visually-thermally comfortable shading systems for office buildings in a cooling-dominant climate», *Energy Reports*, vol. 10, pp. 3863–3881, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.062>.
- [32] A. Jahanbin, P. Valdiserri, e G. Semprini, «Multi-objective study on an innovative system for domestic hot water production: A pilot building in Southern Europe», *Energy Build*, vol. 293, p. 113181, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113181>.
- [33] K. Choi *et al.*, «Review of infiltration and airflow models in building energy simulations for providing guidelines to building energy modelers», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 181, p. 113327, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113327>.
- [34] Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação, *Ato Original Análise Jurídica Regulamentação Outros Tipos Portaria n.º 138-I/2021, de 1 de julho*. 2021.
- [35] D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert, e B. T. Griffith, «Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs», *Build Environ*, vol. 43, n. 4, pp. 661–673, Abr. 2008, doi: [10.1016/j.buildenv.2006.10.027](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027).
- [36] Jan Hensen, «ABOUT THE CURRENT STATE OF BUILDING PERFORMANCE SIMULATION AND IBPSA », 2006.
- [37] Ricardo João Silva Monteiro, «Comparação dos Programas Cypeterm e RCCTE-STE no âmbito da Simulação Dinâmica de Edifícios», 2014.
- [38] D. B. Crawley *et al.*, «EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program», *Energy Build*, vol. 33, n. 4, pp. 319–331, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6).
- [39] Pedro Manuel Alves Gouveia, «CARACTERIZAÇÃO DOS IMPACTES DA ENVOLVENTE NO DESEMPENHO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS», 2008. Acedido: 2 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/RHIYzZeXZicsE4GgF6BxENrd4GymUEtj8uMy>
- [40] E. Anderson *et al.*, «Broad Overview of Energy Efficiency and Renewable Energy Opportunities for Department of Defense Installations», Jan. 2011, doi: [10.2172/1023698](https://doi.org/10.2172/1023698).
- [41] C. Wang e S. Pouramini, «Multi-objective modified satin Bowerbird optimization algorithm used for simulation-based energy consumption optimization of yearly energy demand of lighting and cooling in a test case room», *Energy*, vol. 292, p. 130508, Abr. 2024, doi: [10.1016/J.ENERGY.2024.130508](https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2024.130508).
- [42] Escritório de EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ENERGIA RENOVÁVEL, «OpenStudio», SOFTWARE OPENSTUDIO (ENERGYPLUS) PARA MODELAGEM ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS INTEIROS. Acedido: 3 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/openstudio>
- [43] OpenStudio, «OpenStudio». [Em linha]. Disponível em: <https://openstudio.net/>
- [44] Unmethours, «unmethours». [Em linha]. Disponível em: <https://unmethours.com/questions/>
- [45] «CYPETHERM SCE-CS Plus». Acedido: 3 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://info.cype.com/pt/produto/cypetherm-sce-cs-plus/>
- [46] Google Maps, «Localização geográfica do ISEP». Acedido: 6 de Setembro de 2025. [Em linha]. Disponível em: <https://www.google.pt/maps/place/Instituto+Superior+de+Engenharia+de+Porto+-+Instituto+Polit%C3%A9cnico+de+Porto/@41.1777159,->

Referências

- 8.6093259,312m/data=!3m1!1e3!4m10!1m2!2m1!1sisep+!3m6!1s0xd246449b419e1c1:0x16a6fd2fcace4efe!8m2!3d41.1781321!4d-8.6084467!15sCgRpc2VwWgYiBGlzZXCSARJwb2x5dGVjaG5pY19zY2hvb2yaASRDaGREU1VoTk1HOW5TMFZKUTBGbINVTIRaMHRNY1dwUIJSQULgAQA!16zL20vMDY4MTRq?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDkwMy4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- [47] LNEG, «CLIMAS-SCE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, Versão 1.05.»
- [48] Laboratório Nacional de Engenharia Civil, *“Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios - Versão Atualizada 2006.*
- [49] U.S. Department of Energy, «EnergyPlus™ Version 25.1.0 Documentation », em *Input Output Reference*, 2025, 1.9.29. Acedido: 29 de Maio de 2025. [Em linha]. Disponível em:
https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v25.1.0/InputOutputReference.pdf
- [50] ASHRAE Research, *ASHRAE HANDBOOK - FUNDAMENTALS 2021.*
- [51] Engº Davide Lourenço, «Auditoria Energética », Lisboa, Abr. 2022.
- [52] E. 16798-1:2019 European Committee for Standardization, *Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6, Brussels, Belgium: CEN, 2019.*
- [53] Saltik Burcin e Muhy Al-Din Salar Salah, *Regulamentação dos limites de temperatura interna confortável para projetos arquitetónicos sustentáveis em climas mediterrâneos.* 2025.
- [54] E. González-González, J. Martín-Jiménez, M. Sánchez-Aparicio, S. Del Pozo, e S. Lagüela, «Evaluating the standards for solar PV installations in the Iberian Peninsula: Analysis of tilt angles and determination of solar climate zones», *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 49, p. 101684, 2022, doi:
[https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101684.](https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101684)

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Bruno Oliveira Coelho

ISEP, Porto, 19 de agosto de 2025

Declaração de Integridade

Apêndice A – Características físicas dos materiais de construção

- **A.1** - As características físicas dos materiais de construção, paredes e pavimentos, da seguinte tabela, foram retiradas do Manual do SCE e do ITE-50.

Material	Espessura [m]	Densidade [kg/m ³]	Cor do material	Absortância solar [α]	Condutibilidade térmica [W/m.°C]	Resistência [m ² . °C / W]
Argamassa Tradicional	0,01	1900	Castanho	0,8	1,3	0,0077
Tijolo Perfurado	0,15	1000	Tijolo	0,5	0,3846	0,39
Tijolo Perfurado	0,11	1000	Tijolo	0,5	0,4074	0,27
Rsi Horizontal	-		-			0,13
Rse Horizontal	-		-			0,04
Caixa de ar	0,06		-			0,18
Argamassa Tradicional	0,02	1900	Creme	0,4	1,3	0,0154
Pavimento pesado	0,36	2000	Cinza		1,116	0,3226

- **A.2** - Na seguinte tabela pode-se consultar as características físicas dos materiais utilizados para os vãos envidraçados. Estes valores foram retirados Manual do SCE e do ITE50.

Tipo de vidro	Material	Espessura [mm]	Coefficiente de transmissão térmica [W/m.°C]	Fator solar
Tijolo de vidro	Vidro fosco	-	1,8	0,57
Vidro Duplo Fixo	Vidro duplo incolor	4 a 8 mm + 5	3,9	0,75
Vidro Duplo Giratório	Vidro duplo incolor	4 a 8 mm + 5	4,3	0,75

Apêndice B – Características físicas dos equipamentos de iluminação

- B.1 - Listagem e potência das luminárias instaladas em todo o edifício.

Luminária	Quant.	Designação-Modelo	Potência Unitária [W]	Potência Total [W]
L1.1	10	OleveonF B 1500 6000-840 PC ET	44	440
L1.2	85	OleveonF 15 L 4000-840 PC ET	28	2380
L1.3	1	OleveonF 15 B 26-74/16 ML-840 PC (Satge0) ET	17	17
L2.1	9	OleveonF B 1200 4000-840 PC ETDD	28	252
L2.2	1	OleveonF 12 L 2300-840 ET ET	19	19
L3.1	22	2345 G2 WD1 20/14/10 ML-8MC ET 840	17	374
L3.2	5	OleveonF 6 B 2000-840 ETDD PC ETDD	16	80
L4.1	8	2350 G3 D3 PW19 6000-840 ETDD	54	432
L4.2	3	2350 G3 D3 PW19 6000-840 ETDD	54	162
L4.3	8	2350 G4 D3 PW19 60/40/ML-8MC ET (stage 4)	38	304
L5.1	19	AVALON 30W 3000 K DIF. PRISM EXTENSIVO	30	570
L6.1	13	2340 G2 WD2 LED 22/16/ML-8MC ET	20	260
L6.2	10	Aviela C01 AO 400-840 ET 01 ET	8	80
L7.1	25	DOWNLIGHT ELIT "E" LED TIPO4 4000K CRISTAL OPAL	29	725
L9.1	24	Siella G5 D2 PW19 30-40/2ML-840 ET (3000lm) ET	25	600
L9.2	118	Siella G5 D2 PW19 30-40/2ML-840 ET (4000lm) ET	33	3894
L9.3	47	Siella G5 D3 PW19 44-60/2ML-840 ET (4400lm) ET	36	1692
L9.4	6	Siella G5 D3 PW19 44-60/2ML-840 ET (6000lm) ET	50	300
L9.5	8	Siella G8 M46 PW19 28-40/3ML-8MC ET (stage 6) ET	33	264
L10.1	239	2325 G3 C07 S OA LED 20/14/08/ML-840 ET	16	3824
L11.1	16	Tugra 12 PVW 45-840 ET PC 23 ET	33	528
L11.2	39	Tugra 12 PXW 45-840 ET IP69K 23 ET	33	1287
L11.3	16	Tugra 15 PL 50-840 ET 23 ET	5	80
L11.4	17	Tugra 6 PL 23-840 ET 23 ET	20	340
Total [W]				18904

Apêndice B - Características físicas dos equipamentos de iluminação

- **B.2** - Características físicas para a luminárias, obtidos através no ASHRAE FUNDAMENTALS.

Luminária	Quant.	Designação-Modelo	Potência Unitária (W)	Fraction Radiant	Fraction Visible	Return Air Fraction
L1.1	10	OleveonF B 1500 6000-840 PC ET	44	0,27	0,27	0
L1.2	85	OleveonF 15 L 4000-840 PC ET	28	0,27	0,27	0
L1.3	1	OleveonF 15 B 26-74/16 ML-840 PC (Satge0) ET	17	0,27	0,27	0
L2.1	9	OleveonF B 1200 4000-840 PC ETDD	28	0,27	0,27	0
L2.2	1	OleveonF 12 L 2300-840 ET ET	19	0,27	0,27	0
L3.1	21	2345 G2 WD1 20/14/10 ML-8MC ET 840	17	0,27	0,27	0
L3.2	5	OleveonF 6 B 2000-840 ETDD PC ETDD	16	0,27	0,27	0
L4.1	8	2350 G3 D3 PW19 6000-840 ETDD	54	0,27	0,27	0
L4.2	3	2350 G3 D3 PW19 6000-840 ETDD	54	0,27	0,27	0
L4.3	8	2350 G4 D3 PW19 60/40/ML-8MC ET (stage 4)	38	0,27	0,27	0
L5.1	19	AVALON 30W 3000 K DIF. PRISM EXTENSIVO	30	0,27	0,27	0
L6.1	13	2340 G2 WD2 LED 22/16/ML-8MC ET	20	0,27	0,27	0
L6.2	10	Aviela C01 AO 400-840 ET 01 ET	8	0,2	0,13	0,54
L7.1	25	DOWNLIGHT ELIT "E" LED TIPO4 4000K CRISTAL O	29	0,2	0,13	0,54
L9.1	24	Siella G5 D2 PW19 30-40/2ML-840 ET (3000lm) ET	25	0,27	0,27	0
L9.2	118	Siella G5 D2 PW19 30-40/2ML-840 ET (4000lm) ET	33	0,27	0,27	0
L9.3	47	Siella G5 D3 PW19 44-60/2ML-840 ET (4400lm) ET	36	0,27	0,27	0
L9.4	6	Siella G5 D3 PW19 44-60/2ML-840 ET (6000lm) ET	50	0,27	0,27	0
L9.5	8	Siella G8 M46 PW19 28-40/3ML-8MC ET (stage 6) ET	33	0,2	0,13	0,54
L10.1	239	2325 G3 C07 S OA LED 20/14/08/ML-840 ET	16	0,2	0,13	0,54
L11.1	16	Tugra 12 PVW 45-840 ET PC 23 ET	33	0,27	0,27	0
L11.2	39	Tugra 12 PXW 45-840 ET IP69K 23 ET	33	0,27	0,27	0
L11.3	16	Tugra 15 PL 50-840 ET 23 ET	35	0,27	0,27	0
L11.4	17	Tugra 6 PL 23-840 ET 23 ET	20	0,27	0,27	0

Apêndice C – Características físicas dos equipamentos de climatização e ventilação

- C.1 - Características técnicas dos ventiloconvectores FVC da Trane.

Modelo	FVC 02	FVC 03	FVC 04	FVC 06	FVC 08
Marca	Trane	Trane	Trane	Trane	Trane
Caudal Ar [m3/s]	0,0536	0,0739	0,1036	0,1514	0,2078
Temperatura min. Arrefecimento [°C]	12	12	12	12	12
Temperatura máx. Aquecimento [°C]	35	35	35	35	35
Motor Ventilador					
Potência Absorvida [W]	48	60	99	109	134
Pressão estática [Pa]	30	30	50	50	50
Eficiência do ventilador	0,0335	0,0369	0,0523	0,0694	0,0775
Eficiência do motor	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Categoria de consumos	Consumo FanCoil	Consumo FanCoil	Consumo FanCoil	Consumo FanCoil	Consumo FanCoil
Cooling Water					
Caudal Água [m3/s]	6,278E-05	8,33333E-05	0,0001425	0,000191111	0,0002375
Caudal Ar [m3/s]	0,0536	0,0739	0,1036	0,1514	0,2078
Temperatura Entrada Água [°C]	7	7	7	7	7
Temperatura Interior [°C]	25	25	25	25	25
Heating water					
Caudal Água [m3/s]	2,97222E-05	4,30556E-05	5,63889E-05	7,55556E-05	0,0000925
Caudal Ar [m3/s]	0,0536	0,0739	0,1036	0,1514	0,2078
Capacidade Aquecimento [W]	1300	1800	2400	3200	4000
Temperatura Entrada Água [°C]	70	70	70	70	70
Temperatura Ar Conforto da Sala [°C]	20	20	20	20	20
Temperatura Retorno Água [°C]	60	60	60	60	60
Temperatura Ar Máx. [°C]	35	35	35	35	35

- **C.2** - Características técnicas dos chillers existentes no edifício.

Designação	Chiller 1	Chiller 2
Marca	Trane	Ferrolli
Modelo	RTAB 212	RPA72
Quantidade	1	2
Circuito	Edifício	Data Center
Capacidade Arrefecimento [W]	333000	21500
Nº ventiladores	6	2
Potência ventiladores [kW]	1,88	
Rotação ventiladores [rpm]	915	
Corrente nominal [A]	256	
Volume evaporador [l]	118	1,8
Gás refrigerante	R404A	R410A
COP	1,88	2,6

- **C.3** - Característica técnica da caldeira da Blowtherm.

Designação	Caldeira
Marca	Blowtherm
Modelo	Pack P/AR
Capacidade aquecimento [kW]	350
Consumo nominal [kW]	367
COP	406
	0,90

- **C.4 - Características dos equipamentos de expansão direta.**

	Modelo AC 1	Modelo AC 2
Designação	E0119	E0123
Funcionamento	Ocupação Interior	Ocupação Interior
Caudal ar Uni. Inte. [m3/s]	0,2233	0,14
Caudal ar Uni. Ext. [m3/s]	0,82	0,675
Ventilador		
Perda de carga [Pa]	20	20
Consumo Nominal [W]	48	32
Eficiência	0,0931	0,0875
Caudal máx [m3/s]	0,305	0,2333
Aquecimento		
Capacidade Nominal [W]	6800	5800
E - Eficiência (Manual SCE)	2,5	2,5
F - Coeficiente idade: 10-20 anos	0,9	0,9
COP = E*F	2,25	2,25
Caudal Ar [m3/h]	0,2233	0,14
Arrefecimento		
Capacidade Nominal [W]	6100	5000
E - Eficiência (Manual SCE)	2,5	2,5
F - Coeficiente idade: 10-20 anos	0,9	0,9
COP = E*F	2,25	2,25
Caudal Ar [m3/h]	0,2233	0,14
Condensador	Ar	Ar
Quantidade	2	1

- **C.5 - Características dos ventiladores utilizados na modelação.**

Designação	VD	VEIS01	HOTTE 1	HOTTE 2	VEIS02	VEIS03	VEIS04	VEIS05	VEIS06
Caudal [m3/s]	2,1667	0,0278	0,0556	0,7778	0,0278	0,0139	0,0139	0,0278	0,0278
Espaço	E001	E201	E204	E205	E214/125	E227	E237	E242	E247

- **C.6 - Características técnicas das UTAS utilizadas na modelação:**

Designação	UTA6	UTA5	UTA P2	UTA2	UTA4
Caudal	0,9722	0,833333	1,602778	1,1691	0,9743

Apêndice D – Resultados obtidos nos modelos de calibração

- D.1 – Temperaturas médias anuais, por zonas térmicas do edifício em estudo.

Zona Térmica	Temperatura °C	Zona Térmica	Temperatura °C
THERMAL ZONE: ARQUIVO	20,6	THERMAL ZONE: E213	20,8
THERMAL ZONE: BALN FEM	20,5	THERMAL ZONE: E214	20
THERMAL ZONE: BALN MASC	20,3	THERMAL ZONE: E215	20
THERMAL ZONE: COBERTURA P4	19,8	THERMAL ZONE: E217	20,1
THERMAL ZONE: COBERTUTA P5	19,9	THERMAL ZONE: E217 A	20,2
THERMAL ZONE: CORETE P1	22,9	THERMAL ZONE: E222	24
THERMAL ZONE: CORETE P2	24	THERMAL ZONE: E223	25,2
THERMAL ZONE: CORETE P3	23,9	THERMAL ZONE: E223 2	24,1
THERMAL ZONE: CORETE P4	21,3	THERMAL ZONE: E225 1	24,9
THERMAL ZONE: E001	19,9	THERMAL ZONE: E226	23,5
THERMAL ZONE: E002	19,6	THERMAL ZONE: E227	24,4
THERMAL ZONE: E002A	18,7	THERMAL ZONE: E228	24,9
THERMAL ZONE: E003	19,5	THERMAL ZONE: E229	25
THERMAL ZONE: E004	19	THERMAL ZONE: E230	24
THERMAL ZONE: E004A	18,7	THERMAL ZONE: E231	24,3
THERMAL ZONE: E005	20,3	THERMAL ZONE: E232	24,1
THERMAL ZONE: E010	19,3	THERMAL ZONE: E233	24,3
THERMAL ZONE: E012	19,4	THERMAL ZONE: E235	24,8
THERMAL ZONE: E071	19,6	THERMAL ZONE: E236	24,8
THERMAL ZONE: E072	19,7	THERMAL ZONE: E237	24,3
THERMAL ZONE: E073	19,9	THERMAL ZONE: E238	24,1
THERMAL ZONE: E074/075	20	THERMAL ZONE: E239	24
THERMAL ZONE: E076	19,8	THERMAL ZONE: E240	23,4
THERMAL ZONE: E081	19,6	THERMAL ZONE: E242	23,8
THERMAL ZONE: E082	19,4	THERMAL ZONE: E243	24,3
THERMAL ZONE: E091	19,2	THERMAL ZONE: E244	24,1
THERMAL ZONE: E101/102	20,4	THERMAL ZONE: E248	22,4
THERMAL ZONE: E101B	21,5	THERMAL ZONE: E249	26,9
THERMAL ZONE: E101C	20,9	THERMAL ZONE: E250	23,4
THERMAL ZONE: E110/110A	20,5	THERMAL ZONE: E251	24,1
THERMAL ZONE: E111	20,9	THERMAL ZONE: E252	24,3
THERMAL ZONE: E113	22,1	THERMAL ZONE: E253	24,4
THERMAL ZONE: E117/133	23,1	THERMAL ZONE: E254	24,4
THERMAL ZONE: E118	23	THERMAL ZONE: E272/273	23,2
THERMAL ZONE: E119	23,2	THERMAL ZONE: E274 1	22,5
THERMAL ZONE: E120	22,6	THERMAL ZONE: E276/277	24,3
THERMAL ZONE: E121	22,7	THERMAL ZONE: E277	23,3

Apêndice D – Resultados obtidos nos modelos de calibração

Zona Térmica	Temperatura °C	Zona Térmica	Temperatura °C
THERMAL ZONE: E122/124	23,5	THERMAL ZONE: E278	23,4
THERMAL ZONE: E123	22,7	THERMAL ZONE: E279	20
THERMAL ZONE: E125	22,8	THERMAL ZONE: E284	23,2
THERMAL ZONE: E126	22,5	THERMAL ZONE: E285	22,7
THERMAL ZONE: E127	23,1	THERMAL ZONE: E286	21,4
THERMAL ZONE: E133A	24	THERMAL ZONE: E291	21,5
THERMAL ZONE: E135	23,9	THERMAL ZONE: E292	22,8
THERMAL ZONE: E136	23,9	THERMAL ZONE: E300	20,4
THERMAL ZONE: E139	23,7	THERMAL ZONE: E301	22,3
THERMAL ZONE: E140	23,6	THERMAL ZONE: E303	20,5
THERMAL ZONE: E140A	23,5	THERMAL ZONE: E307	23,9
THERMAL ZONE: E141	21,1	THERMAL ZONE: E308	24,5
THERMAL ZONE: E145A	23,1	THERMAL ZONE: E309	40,5
THERMAL ZONE: E145B	22,8	THERMAL ZONE: E311	24,9
THERMAL ZONE: E145C	22,1	THERMAL ZONE: E312	23,7
THERMAL ZONE: E145D	21,9	THERMAL ZONE: E314 1	24,7
THERMAL ZONE: E146	23,3	THERMAL ZONE: E315	25
THERMAL ZONE: E161	22,8	THERMAL ZONE: E321	22
THERMAL ZONE: E162	22,5	THERMAL ZONE: E323	24,7
THERMAL ZONE: E163	22,3	THERMAL ZONE: E325	23
THERMAL ZONE: E164	22,2	THERMAL ZONE: E326	23,9
THERMAL ZONE: E172/173	23,5	THERMAL ZONE: E361/375	27,1
THERMAL ZONE: E174 1	22,2	THERMAL ZONE: E361A	24,7
THERMAL ZONE: E175/176	22,5	THERMAL ZONE: E362	23,6
THERMAL ZONE: E176A	22,3	THERMAL ZONE: E371/372	22,2
THERMAL ZONE: E177	21,9	THERMAL ZONE: E373 1	22,6
THERMAL ZONE: E178	21,8	THERMAL ZONE: E375	23,1
THERMAL ZONE: E181/182	22	THERMAL ZONE: E378/318	24,4
THERMAL ZONE: E183	21,5	THERMAL ZONE: E379	29,9
THERMAL ZONE: E185	20,3	THERMAL ZONE: E384	24,8
THERMAL ZONE: E191	21,4	THERMAL ZONE: E385	22,5
THERMAL ZONE: E192	21,4	THERMAL ZONE: E386	21,5
THERMAL ZONE: E201	22,6	THERMAL ZONE: E391	22
THERMAL ZONE: E202	23	THERMAL ZONE: E392	22,4
THERMAL ZONE: E203	22,3	THERMAL ZONE: E401	22,3
THERMAL ZONE: E203 P3	21,4	THERMAL ZONE: E402 1	22,2
THERMAL ZONE: E204	22,3	THERMAL ZONE: E402 2	21,8
THERMAL ZONE: E205	22,9	THERMAL ZONE: E471	21,2
THERMAL ZONE: E206	22	THERMAL ZONE: E492	21,3
THERMAL ZONE: E207	21,4	THERMAL ZONE: ELEV GARAGEM	19,6
THERMAL ZONE: E207 P3	21,3	THERMAL ZONE: ESCADAS P1	21,5
THERMAL ZONE: E208	20,8	THERMAL ZONE: SALA 1	22,2
THERMAL ZONE: E208 P3	20,6	THERMAL ZONE: SAUNA	20,1
THERMAL ZONE: E210	21,7	THERMAL ZONE: TURCO	20,2
THERMAL ZONE: E210 P3	21,1	Média	22,5

- **D.2** – Análise, detalhada, dos consumos de eletricidade simulados e faturados, da modelação final.

	Consumo Eletricidade [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	32758,21	17503,20
Fevereiro	28918,33	13322,93
Março	31461,4	13608,53
Abril	30266,43	12185,63
Mai	32347,96	14872,47
Junho	75383,16	15714,13
Julho	81801,14	22434,23
Agosto	23098,85	15163,63
Setembro	75155,39	18843,30
Outubro	34158,67	16028,07
Novembro	30867,7	15968,53
Dezembro	31497,64	15198,87
Total	507714,88	190843,53

- **D.3** – Análise, detalhada, dos consumos de gás simulados e faturados, da modelação final.

	Consumo Gás [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	12675,44	13236,21
Fevereiro	6551,11	10727,81
Março	549,57	10086,12
Abril	26,17	5670,16
Mai	3,98	4911,81
Junho	0	1061,70
Julho	0	52,50
Agosto	0	52,50
Setembro	0	93,34
Outubro	14,62	52,50
Novembro	1237,24	845,86
Dezembro	9374,24	2496,74
Total	30432,37	49287,24

- **D.4** – Análise, detalhada, dos consumos de eletricidade e gás natural, nos 5 modelos de calibração.

	Calibração 1	
	Consumo Gás [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	12299,28	13236,21
Fevereiro	6363,19	10727,81
Março	480,85	10086,12
Abril	31,04	5670,16
Maio	4,36	4911,81
Junho	0,00	1061,70
Julho	0,00	52,50
Agosto	0,00	52,50
Setembro	0,00	93,34
Outubro	17,53	52,50
Novembro	1237,00	845,86
Dezembro	9099,22	2496,74
Total	29532,47	49287,24

	Calibração 1	
	Consumo Eletricidade [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	23940,9	17503,20
Fevereiro	20952,46	13322,93
Março	22655,24	13608,53
Abril	21675,55	12185,63
Maio	23599,45	14872,47
Junho	48713,99	15714,13
Julho	52802,25	22434,23
Agosto	12905,44	15163,63
Setembro	48514,06	18843,30
Outubro	24462,94	16028,07
Novembro	22362,94	15968,53
Dezembro	22653,18	15198,87
Total	345238,4	190843,53

	Calibração 2	
	Consumo Gás [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	11381,36	13236,21
Fevereiro	5968,36	10727,81
Março	466,73	10086,12
Abril	32,48	5670,16
Maio	4,85	4911,81
Junho	0,00	1061,70
Julho	0,00	52,50
Agosto	0,00	52,50
Setembro	0,00	93,34
Outubro	17,66	52,50
Novembro	1176,68	845,86
Dezembro	8447,14	2496,74
Total	27495,26	49287,24

	Calibração 2	
	Consumo Eletricidade [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	22105,43	17503,20
Fevereiro	19376,75	13322,93
Março	21011,89	13608,53
Abril	20097,75	12185,63
Maio	21697,67	14872,47
Junho	46886,06	15714,13
Julho	50845,46	22434,23
Agosto	12817,79	15163,63
Setembro	46788,85	18843,30
Outubro	22694,28	16028,07
Novembro	20714,94	15968,53
Dezembro	20984,42	15198,87
Total	326021,29	190843,53

Apêndice D – Resultados obtidos nos modelos de calibração

	Calibração 3	
	Consumo Gás [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	11703,56	13236,21
Fevereiro	6135,72	10727,81
Março	485,04	10086,12
Abril	34,18	5670,16
Maiο	4,65	4911,81
Junho	0,00	1061,70
Julho	0,00	52,50
Agosto	0,00	52,50
Setembro	0,00	93,34
Outubro	19,14	52,50
Novembro	1213,08	845,86
Dezembro	8662,69	2496,74
Total	28258,06	49287,24

	Calibração 3	
	Consumo Eletricidade [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	21661,94	17503,20
Fevereiro	19027	13322,93
Março	20665,53	13608,53
Abril	19798,42	12185,63
Maiο	21404,4	14872,47
Junho	46738,04	15714,13
Julho	50657,94	22434,23
Agosto	12810,52	15163,63
Setembro	46628,39	18843,30
Outubro	22413,46	16028,07
Novembro	20365,49	15968,53
Dezembro	20611,49	15198,87
Total	322782,62	190843,53

	Calibração 4	
	Consumo Gás [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	11964,81	13236,21
Fevereiro	6308,67	10727,81
Março	501,12	10086,12
Abril	36,18	5670,16
Maiο	4,68	4911,81
Junho	0,00	1061,70
Julho	0,00	52,50
Agosto	0,00	52,50
Setembro	0,00	93,34
Outubro	20,26	52,50
Novembro	1256,66	845,86
Dezembro	5012,47	2496,74
Total	25104,85	49287,24

	Calibração 4	
	Consumo Eletricidade [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	20922,19	17503,20
Fevereiro	18359,73	13322,93
Março	19922,72	13608,53
Abril	19074,98	12185,63
Maiο	20658,36	14872,47
Junho	46049,79	15714,13
Julho	49943,67	22434,23
Agosto	11955,67	15163,63
Setembro	45926,26	18843,30
Outubro	21661,47	16028,07
Novembro	19652,41	15968,53
Dezembro	17062,74	15198,87
Total	311189,99	190843,53

Apêndice D – Resultados obtidos nos modelos de calibração

	Calibração 5	
	Consumo Gás [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	12815,56	13236,21
Fevereiro	6762,78	10727,81
Março	549,32	10086,12
Abril	44,32	5670,16
Mai	5,03	4911,81
Junho	0,00	1061,70
Julho	0,00	52,50
Agosto	0,00	52,50
Setembro	0,00	93,34
Outubro	23,55	52,50
Novembro	1339,60	845,86
Dezembro	5365,19	2496,74
Total	26905,35	49287,24

	Calibração 5	
	Consumo Eletricidade [kWh]	
	Simulação	Faturado
Janeiro	14227,36	17503,20
Fevereiro	12613,27	13322,93
Março	14336,67	13608,53
Abril	13794,85	12185,63
Mai	15255,29	14872,47
Junho	40963,63	15714,13
Julho	44731,3	22434,23
Agosto	6391,32	15163,63
Setembro	40822,98	18843,30
Outubro	16198,7	16028,07
Novembro	14109,98	15968,53
Dezembro	10995,27	15198,87
Total	244440,62	190843,53

Apêndice E – Análise detalhada das medidas de melhoria

- Análise financeira, com poupança anual, fluxo de caixa e fluxo atualizado, das medidas de melhoria aplicadas. Onde estão visíveis financeiros anuais por cada medida aplicável. Estes cálculos foram efetuados com ajuda das equações representadas no Capítulo 5.

Medida Melhoria: EPS 40 MM				Medida Melhoria: XPS 60 MM			
Ano	Poupança	Fluxo caixa	Fluxo Atualizado	Ano	Poupança	Fluxo caixa	Fluxo Atualizado
0	- €	-57 827,70 €	- 57 827,70 €	0	- €	-56 160,00 €	- 56 160,00 €
1	316,90 €	316,90 €	310,57 €	1	513,58 €	513,58 €	503,32 €
2	316,90 €	316,90 €	304,37 €	2	513,58 €	513,58 €	493,27 €
3	316,90 €	316,90 €	298,29 €	3	513,58 €	513,58 €	483,42 €
4	316,90 €	316,90 €	292,34 €	4	513,58 €	513,58 €	473,77 €
5	316,90 €	316,90 €	286,50 €	5	513,58 €	513,58 €	464,31 €
6	316,90 €	316,90 €	280,78 €	6	513,58 €	513,58 €	455,04 €
7	316,90 €	316,90 €	275,17 €	7	513,58 €	513,58 €	445,95 €
8	316,90 €	316,90 €	269,68 €	8	513,58 €	513,58 €	437,05 €
9	316,90 €	316,90 €	264,29 €	9	513,58 €	513,58 €	428,32 €
10	316,90 €	316,90 €	259,01 €	10	513,58 €	513,58 €	419,77 €
11	316,90 €	316,90 €	253,84 €	11	513,58 €	513,58 €	411,38 €
12	316,90 €	316,90 €	248,77 €	12	513,58 €	513,58 €	403,17 €
13	316,90 €	316,90 €	243,80 €	13	513,58 €	513,58 €	395,12 €
14	316,90 €	316,90 €	238,93 €	14	513,58 €	513,58 €	387,23 €
15	316,90 €	316,90 €	234,16 €	15	513,58 €	513,58 €	379,49 €

Apêndice E – Análise detalhada das medidas de melhoria

Medida Melhoria: Chiller servidor			
Ano	Poupança	Fluxo caixa	Fluxo Atualizado
0	- €	-11 872,00 €	- 11 872,00 €
1	3 555,00 €	3 555,00 €	3 484,01 €
2	3 556,00 €	3 556,00 €	3 415,40 €
3	3 557,00 €	3 557,00 €	3 348,14 €
4	3 558,00 €	3 558,00 €	3 282,20 €
5	3 559,00 €	3 559,00 €	3 217,56 €
6	3 560,00 €	3 560,00 €	3 154,20 €
7	3 561,00 €	3 561,00 €	3 092,08 €
8	3 562,00 €	3 562,00 €	3 031,19 €
9	3 563,00 €	3 563,00 €	2 971,49 €
10	3 564,00 €	3 564,00 €	2 912,97 €
11	3 565,00 €	3 565,00 €	2 855,60 €
12	3 566,00 €	3 566,00 €	2 799,36 €
13	3 567,00 €	3 567,00 €	2 744,23 €
14	3 568,00 €	3 568,00 €	2 690,19 €
15	3 569,00 €	3 569,00 €	2 637,20 €

Medida Melhoria: Ventiladores			
Ano	Poupança	Fluxo caixa	Fluxo Atualizado
0	- €	- 1 747,00 €	- 1 747,00 €
1	116,70 €	116,70 €	114,37 €
2	116,70 €	116,70 €	112,09 €
3	116,70 €	116,70 €	109,85 €
4	116,70 €	116,70 €	107,65 €
5	116,70 €	116,70 €	105,50 €
6	116,70 €	116,70 €	103,40 €
7	116,70 €	116,70 €	101,33 €
8	116,70 €	116,70 €	99,31 €
9	116,70 €	116,70 €	97,33 €
10	116,70 €	116,70 €	95,38 €
11	116,70 €	116,70 €	93,48 €
12	116,70 €	116,70 €	91,61 €
13	116,70 €	116,70 €	89,78 €
14	116,70 €	116,70 €	87,99 €
15	116,70 €	116,70 €	86,23 €

Medida Melhoria: Bomba de Calor			
Ano	Poupança	Fluxo caixa	Fluxo Atualizado
0	- €	-98 824,00 €	- 98 824,00 €
1	6 764,60 €	6 764,60 €	6 629,52 €
2	6 764,60 €	6 764,60 €	6 497,13 €
3	6 764,60 €	6 764,60 €	6 367,39 €
4	6 764,60 €	6 764,60 €	6 240,24 €
5	6 764,60 €	6 764,60 €	6 115,63 €
6	6 764,60 €	6 764,60 €	5 993,51 €
7	6 764,60 €	6 764,60 €	5 873,82 €
8	6 764,60 €	6 764,60 €	5 756,53 €
9	6 764,60 €	6 764,60 €	5 641,58 €
10	6 764,60 €	6 764,60 €	5 528,92 €
11	6 764,60 €	6 764,60 €	5 418,51 €
12	6 764,60 €	6 764,60 €	5 310,31 €
13	6 764,60 €	6 764,60 €	5 204,27 €
14	6 764,60 €	6 764,60 €	5 100,35 €
15	6 764,60 €	6 764,60 €	4 998,50 €

Medida Melhoria: Painéis Fotovoltáicos			
Ano	Poupança	Fluxo caixa	Fluxo Atualizado
0	- €	- 60 000,00 €	- 60 000,00 €
1	12 639,25 €	12 639,25 €	12 386,86 €
2	12 639,25 €	12 639,25 €	12 139,50 €
3	12 639,25 €	12 639,25 €	11 897,09 €
4	12 639,25 €	12 639,25 €	11 659,52 €
5	12 639,25 €	12 639,25 €	11 426,69 €
6	12 639,25 €	12 639,25 €	11 198,51 €
7	12 639,25 €	12 639,25 €	10 974,89 €
8	12 639,25 €	12 639,25 €	10 755,73 €
9	12 639,25 €	12 639,25 €	10 540,95 €
10	12 639,25 €	12 639,25 €	10 330,46 €
11	12 639,25 €	12 639,25 €	10 124,17 €
12	12 639,25 €	12 639,25 €	9 922,00 €
13	12 639,25 €	12 639,25 €	9 723,87 €
14	12 639,25 €	12 639,25 €	9 529,69 €
15	12 639,25 €	12 639,25 €	9 339,39 €

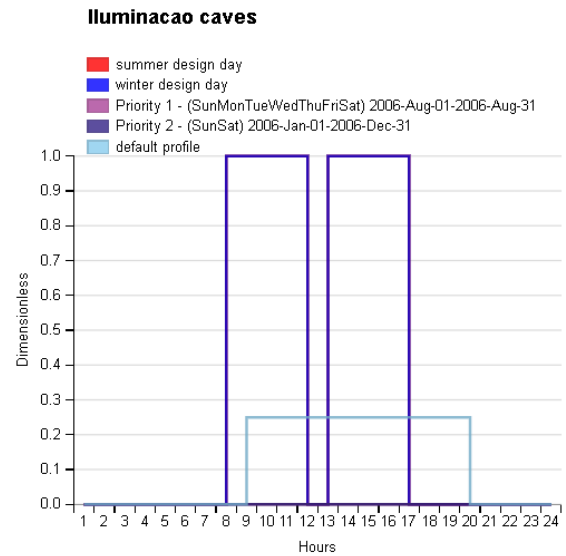
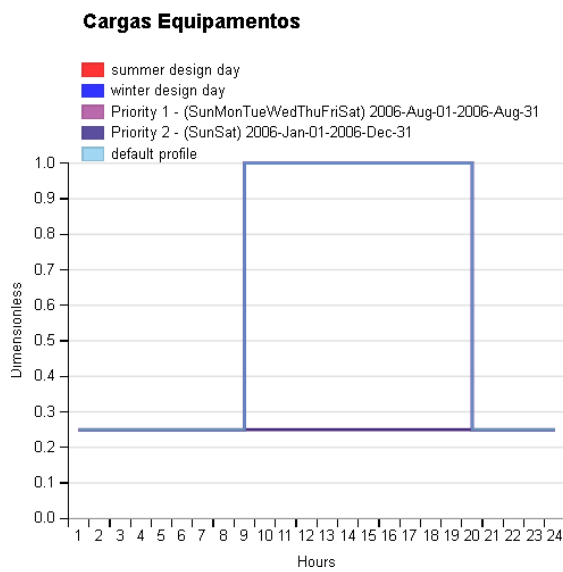
Medida Melhoria: BC + Chiller + Painei Fotovoltaico			
Ano	Pupança	Fluxo caixa	Fluxo Atualizado
0	- €	-170 696,00 €	- 170 696,00 €
1	21 476,91 €	21 476,91 €	21 048,04 €
2	21 476,91 €	21 476,91 €	20 627,73 €
3	21 476,91 €	21 476,91 €	20 215,82 €
4	21 476,91 €	21 476,91 €	19 812,13 €
5	21 476,91 €	21 476,91 €	19 416,50 €
6	21 476,91 €	21 476,91 €	19 028,77 €
7	21 476,91 €	21 476,91 €	18 648,79 €
8	21 476,91 €	21 476,91 €	18 276,39 €
9	21 476,91 €	21 476,91 €	17 911,43 €
10	21 476,91 €	21 476,91 €	17 553,75 €
11	21 476,91 €	21 476,91 €	17 203,22 €
12	21 476,91 €	21 476,91 €	16 859,69 €
13	21 476,91 €	21 476,91 €	16 523,02 €
14	21 476,91 €	21 476,91 €	16 193,07 €
15	21 476,91 €	21 476,91 €	15 869,72 €

- Resultados detalhados de todos os tipos de consumo, por cada medida de melhoria aplicada, e simulação final.

	Aquecimento	Arrefecimento	Iluminação	Consumo Servidor	Eq. Interiores	Ventiladores	Bombas Circulação	Elevadores	PTL	Total
Calibração final [kWh]	29686	116342	30647	43800	29467	13817	7589	9342,3	1484,3	282175
Medida melhoria 1 [kWh]	25019	116836	30647	43800	29467	13725	7361	9342,3	1251	277448
Medida melhoria 2 [kWh]	18353	119086	30647	43800	29467	13692	7100	9342,3	917,65	272405
Medida melhoria 3 [kWh]	44186	115694	30647	43800	29467	13692	7100	9342,3	2209,3	296138
Medida melhoria 4 [kWh]	29686	92647	30647	43800	29467	13817	7650	9342,3	1484,3	258541
Medida melhoria 5 [kWh]	29686	116342	30647	43800	29467	13017	7589	9342,3	1484,3	281375
Medida melhoria 6 [kWh]	2786	83808	30514	43800	29467	12669	10717	9342,3	139,3	223243
Medida melhoria 7 [kWh]	29686	116342	30647	43800	29467	13817	7589	9342,3	1484,3	282175
Simulação final [kWh]	2786	93511	1618	43800	29467	13547	7519	9342,3	139,3	201730

Anexo A – Perfis de funcionamento da modelação

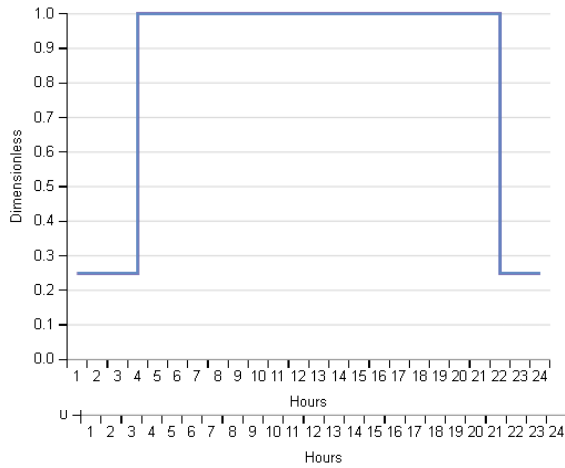
Neste anexo encontram-se representados todos os perfis de funcionamento dos equipamentos.



Anexo A – Perfis de funcionamento da modelação

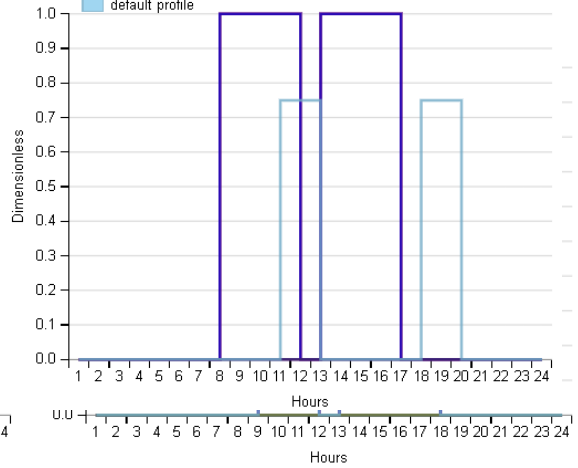
Funcionamento Agua Fria Chiller Data Center

- summer design day
- winter design day
- default profile



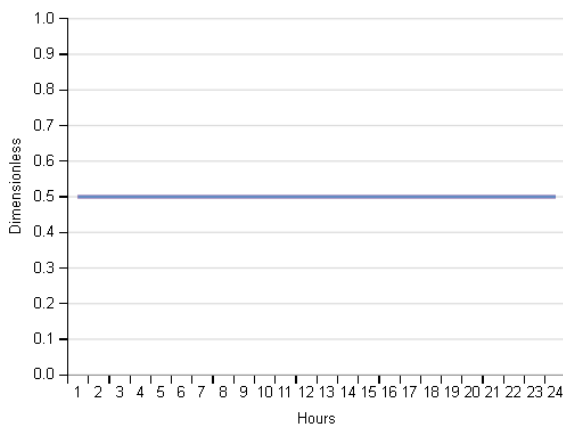
Funcionamento Hotte

- summer design day
- winter design day
- Priority 1 - (SunMonTueWedThuFriSat) 2006-Aug-01-2006-Aug-31
- Priority 2 - (SunSat) 2006-Jan-01-2006-Dec-31
- default profile



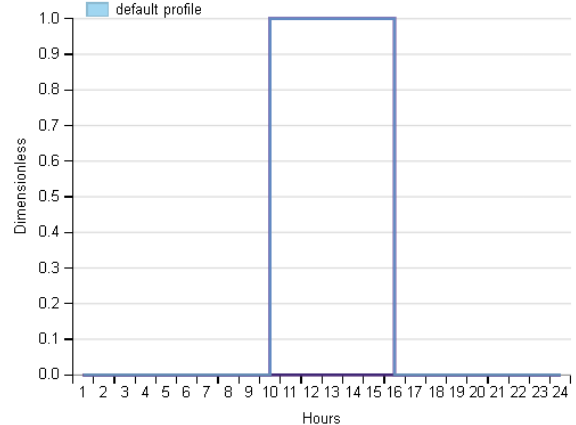
Funcionamento Servidor

- summer design day
- winter design day
- default profile

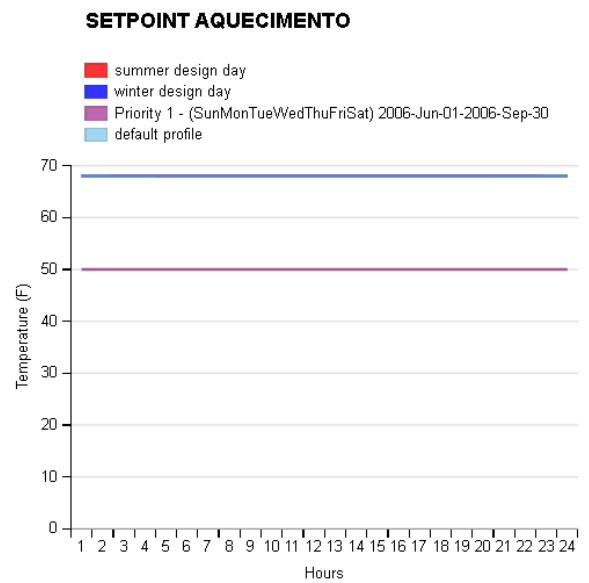
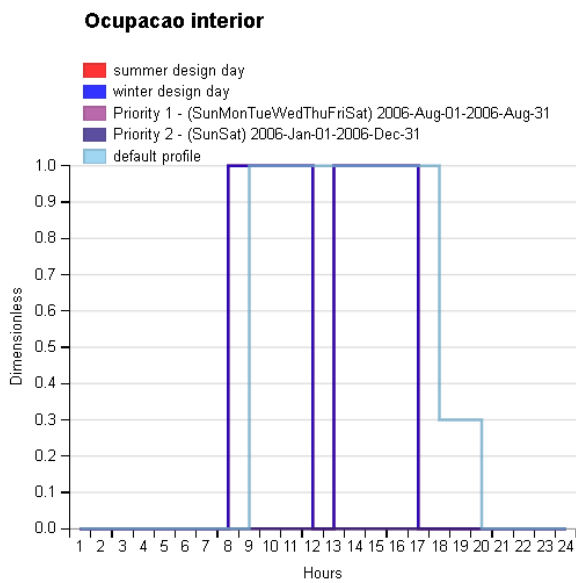
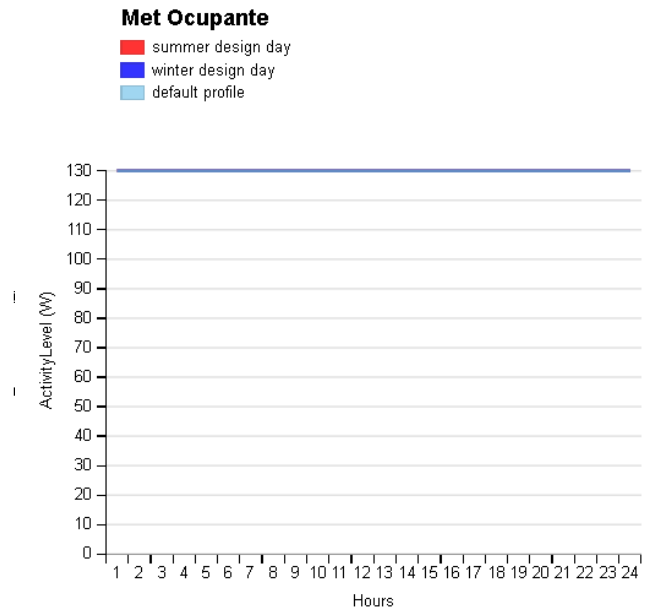
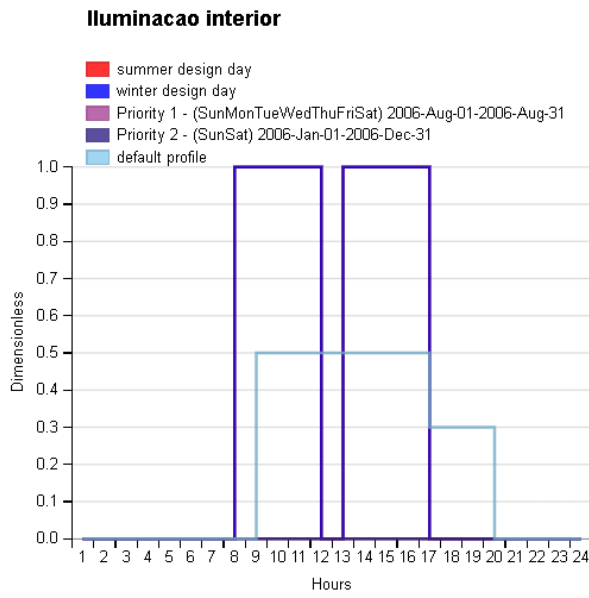


Funcionamento UTA 4

- summer design day
- winter design day
- Priority 1 - (SunMonTueWedThuFriSat) 2006-Jun-01-2006-Sep-30
- Priority 2 - (SunMonWedThuFriSat) 2006-Jan-01-2006-Dec-31
- default profile

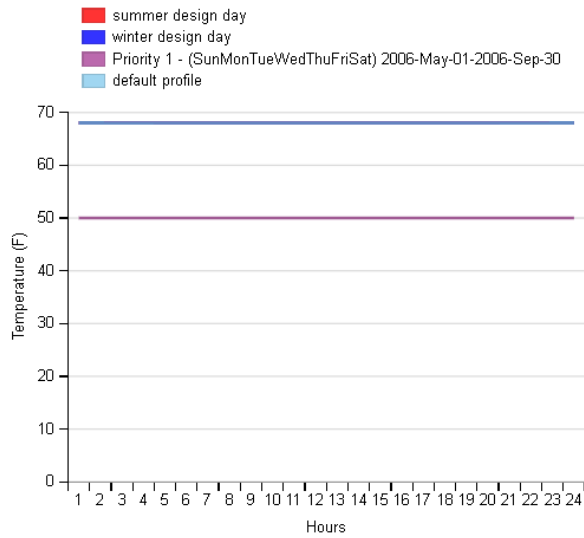


Anexo A – Perfis de funcionamento da modelação

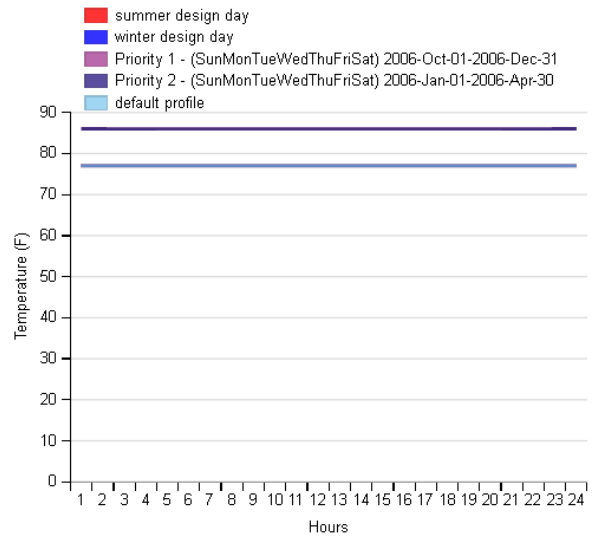


Anexo A – Perfis de funcionamento da modelação

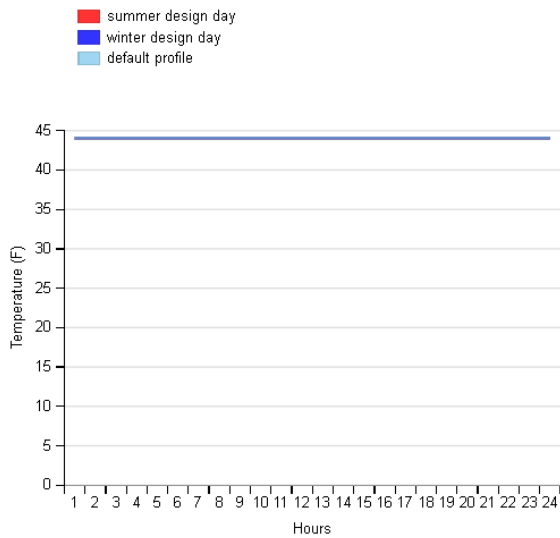
SETPOINT AQUECIMENTO DATA CENTER



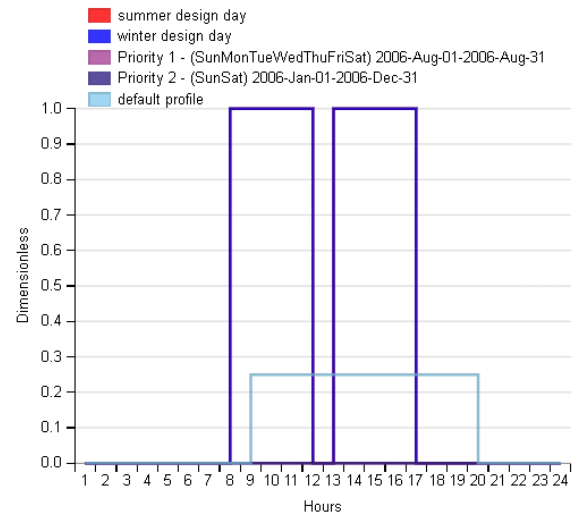
SETPOINT ARREFECIMENTO



TEMPERATURA REDE AGUA FRIA GERAL



Ventilador Desenfumagem



Anexo B – Dados Auditoria Energética

- Tabela dos equipamentos de climatização do edifício E, retirada do relatório da Auditoria Energética ao edifício E.

NºEqui	TIPO DE EQUIPAMENTO	COD	Marca	Modelo	Local
E0001	CHILLER	E400 CHL01	Trane	RTAB-212	E400
E0002	BOMBA CALOR	E400 BC01	SANYO	SPW-C1305DXHN8	E400
E0003	CALDEIRA	E403 CAL01	Blowthem/Sant'Andrea	Pack P/AR 350 - KB 40 G	E403
E0006	BOMBA CIRC.	E403 BC 01	ITUR	N4-50/250B/4	E403
E0007	BOMBA CIRC.	E403 BC 02	ITUR	N4-50/250B/4	E403
E0008	BOMBA CIRC.	E403 BC 03	ITUR	N4-50/250B/3	E403
E0009	BOMBA CIRC.	E403 BC 04	ITUR	N4-50/250B/3	E403
E0010	BOMBA CIRC.	E403 BC 05	ITUR	N4-32/250B/1,5	E403
E0011	BOMBA CIRC.	E403 BC 06	ITUR	N4-32/250B/1,5	E403
E0012	BOMBA CIRC.	E403 BC 07	ITUR	N4-32/250B/1,5	E403
E0013	BOMBA CIRC.	E403 BC 08	ITUR	N4-32/250B/1,5	E403
E0014	BOMBA CIRC.	E403 BC 09	ITUR	N4-65/200B/3	E403
E0015	BOMBA CIRC.	E403 BC 10	ITUR	N4-65/200B/3	E403
E0022	ROOFTOP	E400 UC01	Trane	WCH200A700A	E400
E0119	SPLIT UNID. INT.	E127 SP01 UI01	ACSON	A6CK60AR-ACOBAR	E127
E0120	SPLIT UNID. EXT.	E900 SP01 UE	ACSON	A5LC50CR-FCCOAR	E900
E0121	SPLIT UNID. INT.	E127 SP02 UI01	ACSON	A6CK60AR-ACOBAR	E127
E0122	SPLIT UNID. EXT.	E900 SP02 UE	ACSON	A5LC50CR-FCCOAR	E900
E0123	SPLIT UNID. INT.	E127 SP03 UI01	SANYO	SAP-XR184EH	E111
E0124	SPLIT UNID. EXT.	E900 SP03 UE	SANYO	SAPCR184EHA	E900
E0125	SPLIT UNID. INT.	E127 SP04 UI01	ELECTRA		E308
E0126	SPLIT UNID. EXT.	E900 SP04 UE	ELECTRA		E900
E0129	CHILLER	E400 CHL02	FERROLI	RPA72	E400
E0130	CHILLER	E400 CHL03	FERROLI	RPA72	E400

Nota: Tendo em conta que alguns dos equipamentos já ultrapassaram a sua vida útil e por heterogeneidade de cálculo considerou-se EER=2,9 e COP=3,0 (valores de referência)

Anexo C – Características físicas do sistema de expansão direta

- Tabela retirada do catálogo da Mitsubishi onde possui algumas das características técnicas utilizadas na modelação dos sistemas de expansão direta.

Inverter > Série MSZ-AP VG(K)									
Tipo		Modelo Mural - Inverter							
Modelo		MSZ-AP20VGK	MSZ-AP25VGK	MSZ-AP35VGK	MSZ-AP42VGK	MSZ-AP50VGK	MSZ-AP60VGK	MSZ-AP71VGK	
Unidade Interior		MSZ-AP20VGK	MSZ-AP25VGK	MSZ-AP35VGK	MSZ-AP42VGK	MSZ-AP50VGK	MSZ-AP60VGK	MSZ-AP71VGK	
Unidade Exterior		MUZ-AP20VG	MUZ-AP25VG	MUZ-AP35VG	MUZ-AP42VG	MUZ-AP50VG	MUZ-AP60VG	MUZ-AP71VG	
Alimentação Eléctrica		U. Ext. (V-50Hz) 230/Unidade Exterior							
ARREFECIMENTO	Capacidade Nominal Min-Max	kW	2.0	2.5	3.5	4.2	5.0	6.1	7.1
	Consumo Nominal	kW	0.6-2.7	0.9-3.4	1.1-3.8	0.9-4.5	1.4-5.4	1.4-7.3	2.0-8.7
	Consumo anual eléctrico ²	kWh/a	81	101	142	188	236	288	345
	SEER ³		8.6	8.6	8.6	7.8	7.4	7.4	7.2
AQUECIMENTO	Capacidade Nominal Min-Max	kW	2.5	3.2	4.0	5.4	5.8	6.8	8.1
	Consumo Nominal	kW	0.600	0.780	1.030	1.490	1.600	1.670	2.120
	Capacidade declarada (kW)	à temp. referência	2.3 (-10°C)	2.4 (-10°C)	2.9 (-10°C)	3.8 (-10°C)	4.2 (-10°C)	4.6 (-10°C)	6.7 (-10°C)
	Consumo anual eléctrico ²	à temp. limite funcion.	2.2 (-15°C)	2.4 (-15°C)	2.6 (-15°C)	4.2 (-15°C)	4.7 (-15°C)	3.7 (-15°C)	5.4 (-15°C)
CORRENTE	Corrente funcionamento (Max)	A	7.0	7.1	8.5	9.9	13.6	14.1	16.4
	Consumo Nominal	kW	0.019	0.026	0.026	0.032	0.032	0.049	0.045
UNIDADE INTERIOR	Corrente funcionamento (Max)	A	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4
	Dimensões (mm)	AxLxP	250x760x178	299x798x219	299x798x219	299x798x219	299x798x219	325x1100x257	325x1100x257
	Peso	kg	8.2	10.5	10.5	10.5	10.5	16	17
	Caudal de Ar (Sil-Min-Med-Max-SMax)	m ³ /h (Arrefecimento)	210-234-276-330-414	294-354-426-522-684	294-354-426-522-684	324-390-462-558-684	360-432-504-600-756	588-678-804-936-1098	582-690-798-924-1068
	Nível de ruído (SPL)	dB(A) (Arrefecimento)	21-26-30-35-42	19-24-30-36-42	19-24-30-36-42	21-29-34-38-42	28-33-36-40-44	29-37-41-45-48	30-37-41-45-49
	Nível de ruído (PWL)	dB(A) (Arrefecimento)	21-26-30-35-42	19-24-34-39-45	19-24-31-38-45	21-29-35-40-45	28-33-38-43-48	30-37-41-45-48	30-37-41-45-51
	Dimensões (mm)	AxLxP	550x800x285	550x800x285	550x800x285	550x800x285	714x800x285	714x800x285	880x840x330
	Peso	kg	31	31	31	35	40	40	55
	Caudal de Ar (Sil-Min-Med-Max-SMax)	m ³ /h (Arrefec./Aquec.)	1932/1788	1932/1788	1932/2028	1824/1962	2430/2430	2952/2952	3006/3006
	Nível de ruído (SPL)	dB(A) (Arrefec./Aquec.)	47/48	47/48	49/50	50/51	52/52	56/57	56/55
UNIDADE EXTERIOR	Nível de ruído (PWL)	dB(A) (Arrefecimento)	59	59	61	61	64	69	69
	Corrente funcionamento (Max)	A	6.8	6.8	8.2	9.6	13.3	13.6	16.0
	Dimensão disjuntor	A	10	10	10	10	16	16	20
	Diâmetro da tubagem	Líquido	6.35(1/4")	6.35(1/4")	6.35(1/4")	6.35(1/4")	6.35(1/4")	6.35(1/4")	6.35(1/4")
		Gás	9.52(3/8")	9.52(3/8")	9.52(3/8")	9.52(3/8")	9.52(3/8")	12.7(1/2")	12.7(1/2")
	Comprim. máx. tubagem	m (Ext-Int)	20	20	20	20	20	30	30
D. INSTALAÇÃO	Altura máx. tubagem	m (Ext-Int)	12	12	12	12	12	15	15
	Refrigerante R32 ¹	Pré-carga kg/GWP/TCO; eq	0.55/675/0.38	0.55/675/0.37	0.55/675/0.37	0.70/675/0.47	1.00/675/0.68	1.05/675/0.71	1.50/675/1.02
Temperatura exterior de funcionamento	Arrefecimento (°C)		-10~+46	-10~+46	-10~+46	-10~+46	-10~+46	-10~+46	-10~+46
	Aquecimento (°C)		-15~+24	-15~+24	-15~+24	-15~+24	-15~+24	-15~+24	-15~+24

¹ Fugas de refrigerante contribuem para as alterações climáticas. Um refrigerante com menor potencial de aquecimento (GWP) contribuirá menos para o aquecimento global que um refrigerante com GWP mais elevado, caso ocorra uma fuga para a atmosfera. Esta aplicação contém um fluido refrigerante com um GWP igual a 675. Isto significa que se 1kg deste refrigerante se dispersar na atmosfera, o impacto no aquecimento global seria 675 vezes superior a 1kg de CO₂ durante um período de 100 anos. Não tente nunca interferir com o circuito do refrigerante ou desmontar o produto sozinho, peça sempre a um profissional.

² Consumo de energia baseado em resultados de testes standard. Valores exactos dependem do modo de utilização da aplicação e da sua localização.

³ SEER, SCOP e outras descrições relacionadas são baseadas no REGULAMENTO DELEGADO DA COMISSÃO (EU) Nº626/2011. As condições de temperatura para o cálculo do SCOP baseiam-se em valores de "estação média".

Anexo D – Características dos materiais utilizados nas medidas de melhoria

- **D.1** – Neste anexo está representada a ficha técnica do EPS 40 mm aplicado na medida de melhoria 1. O mesmo foi obtido através do contacto com o fabricante DANOTHERM.

Placa de isolamento térmico de poliestireno expandido estabilizado e autoextinguível, aplicado em sistema DANOTHERM SATE EPS.

Apresentação

- Comprimento (cm): 100
- Largura (cm): 50
- Espessura (mm): 40
- m² / embalagem: 7.5
- Superfície (m²): 0.5
- Cor: Branco
- Código de produto: 715324

Dados técnicos

Conceito	Valor	Norma
Densidade (kg/m ³)	16 (±10%)	EN 1602
Absorção de água a longo prazo (%)	<5	EN 12086
Condutividade térmica declarada (W/mK)	0.037	EN 12667 / EN 12939
Resistência à compressão (kPa)	65	EN 826
Resistência à flexão (kPa)	148	EN 12089
Permeabilidade ao vapor de água (μ)	50	EN 12086
Reação ao fogo	E	EN 13501-1
Esquadria (mm/m)	2	EN 824
Resistência à tração perpendicular das faces (kPa)	180	EN 1607

Anexo D – Características dos materiais utilizados nas medidas de melhoria

Resistência térmica (m ² K/W)	1,05	-
Tolerância de largura (± mm)	2	EN 822
Tolerância de espessura (mm)	2	EN 823
Tolerância de comprimento (± mm)	2	EN 822

- **D.2** – Neste anexo está representada a ficha técnica do XPS 60 mm aplicado na medida de melhoria 2. O mesmo foi obtido através do contacto com o fabricante DANOTHERM.

DANOPREN PR-P é uma placa rígida de espuma de poliestireno extrudido (XPS) com juntas perimetrais "macho-fêmea" em diferentes espessuras. Fabricado sem CFC's, HCFC's nem HFC's.

Código de Designação para Marcação CE:
XPS-EN13164-T1-CS(10Y)200-WL(T)0,7-DS(70)

Apresentação

- Comprimento (cm): 260
- Largura (cm): 60
- Espessura (mm): 60
- Código de produto: 482104


Dados técnicos

Conceito	Valor	Norma
Densidade (kg/m ³)	32	EN 1602
Absorção de água por total imersão (Vol.%)	≤ 0,7	EN 12087
Calor específico (J/kg·K)	1450	-
Capilaridade	NULA	-
Coefficiente linear de dilatação térmica (mm/m·K)	0.07	-
Condutividade térmica declarada (W/mK)	0.036	EN 12667
Resistência à tração perpendicular das faces (kPa)	NPD	-
Absorção de água por ciclos gelo-degelo (Vol. %)	≤ 1	EN 12091
Resistência térmica (m ² K/W)	1.65	EN 12667
Temperaturas de serviço mín (°C)	-50	-
Temperaturas de serviço máx (°C)	75	-

Anexo D – Características dos materiais utilizados nas medidas de melhoria

- **D.4** – Neste anexo está representada a ficha técnica do chiller do servidor escolhido em contacto com a TRANE.

Unit overview	
Unit model	TAE G 081
Compressor type	Scroll
Refrigerant type	R454B
SEPR HT	5.09
SEPR MT	3.27
Exchanger type	Immersed finned coil
Hydraulic circuit materials	Ferrous (atmospheric and pressurised)
Water pump	P3 pump
Coils type	Cu/Al
Power supply	400V±10% /3ph-PE /50Hz



Project conditions	
	Cooling
Outdoor air dry bulb temperature	35.0 C
Fluid Entering Temperature	12.0 C
Fluid Leaving Temperature	7.0 C
Fluid Type	Water
Fouling Factor	0.000000 m2-deg K/kW

Unit performance data at project conds	
	Cooling
Gross Capacity	21.42 kW
Net Capacity	21.86 kW
Total Gross Absorbed Power	8.87 kW
Total Net absorbed power	8.29 kW
Gross EER	2.41 EER (kW/kW)
Net EER	2.61 EER (kW/kW)

Hydraulic module	
	Cooling
Design flow rate	1.03 L/s
Available head - user side	272.9 kPa
Pump power absorbed	0.80 kW

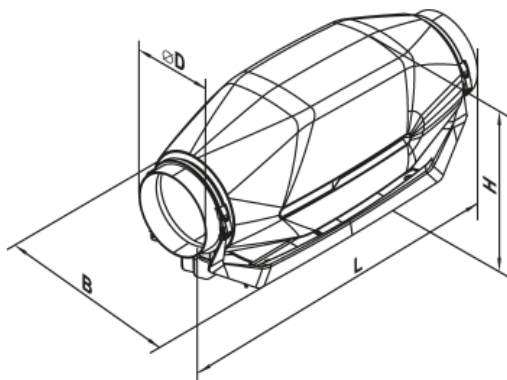
Exchanger data	
Exchanger water size	140.00 L
Minimum water flow	0.53 L/s
Maximum water flow	2.67 L/s
Fluid connections dimensions	1.500 in

Fans data	
Fan type	EC fans
Number of fans	1
Total Air Flow Rate	8150.00 m3/hr
Fans power absorbed	0.58 kW
Available static pressure	0.0 Pa

- **D.5** – Neste anexo estão representadas as características técnicas dos ventiladores utilizados. A documentação foi enviada pela própria marca, France Air, e o modelo do ventilador é o CANAL FAST ECM 100/125.

DESCRIÇÃO TÉCNICA

ATRAVANCAMENTOS E PESOS



Modelos	Dimensões [mm]				Pesos [kg]
	Ø	B	L	H	
100 / 125	100	253	752	273	5
100 / 125	125		679		
150 / 160	150		606		
150 / 160	160				

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelos	Ø [mm]	Caudal máx. [m³/h]	Velocidade de rotação [tr/min]	Intensidade nominal [A]	Potência [W]	Frequência [Hz]	Nível de pressão sonora a 3 m [dB(A)]
100/125	100	295	3138	0,36	39	50/60	31
100/125	125	450		0,37			33
150/160	150	600	3506	0,49	55		38
150/160	160						

Anexo D – Características dos materiais utilizados nas medidas de melhoria

- **D.6** – Neste anexo está representada da Bomba de Calor escolhida para substituição do Chiller e da caldeira. O fabricante é a TRANE, e o modelo é o CMAF 110 HE LN.

Apresentação geral da unidade		
Modelo da unidade	Sintesis™ Balance	
Modelo	CMAF 110 HE LN	
Aplicação da unidade	Baixas temperaturas do ar ambiente	
Tipo de compressor	Scroll	
Refrigerante	Full refrigerant charge R454B	
Eta s,c / SEER	198 % / 4,97	Compliance not applicable
Eta s,h / SCOP	180 % / 4,08	Compliance not applicable
SEPR HT	5,82	Compliance not applicable
Recuperação de calor	Recuperação de calor incluída	
Free cooling	Sem opção	
Módulo hidráulico do circuito de arrefecimento	Sinal ligado/desligado da bomba	
Módulo hidráulico do circuito de aquecimento	Sinal ligado/desligado da bomba	
Fonte de alimentação da unidade	400 V 50 Hz trifásica	



Condições de projeto			
	Arrefecimento		Aquecimento
Temperatura do termómetro seco do ar exterior	35,0 C		7,0 C
Humidade relativa			90 %
Temperatura do fluido de entrada	12,0 C		50,0 C
Temperatura do fluido de saída	7,0 C		55,0 C
Tipo de fluido e concentração	Água		Água
Fator de obstrução	0,000200 m2-deg K/kW		0,000020 m2-deg K/kW
Elevação	0,0 m		0,0 m

Dados de desempenho da unidade						
	Arrefecimento		(1)	Aquecimento		(2)
Capacidade bruta	381,32 kW			390,03 kW		
Capacidade líquida	380,92 kW			390,36 kW		
Potência total absorvida bruta	122,93 kW			134,63 kW		
Potência total absorvida	124,20 kW			135,59 kW		
EER/COP bruto	3,10 EER (kW/kW)			2,90 COP (kW/kW)		
EER/COP líquido	3,07 EER (kW/kW)			2,88 COP (kW/kW)		
Caudal de projeto	18,18 L/s			18,90 L/s		
Descida de pressão do permutador de calor no lado de água	39,3 kPa			27,1 kPa		
Descida de pressão do filtro	6,7 kPa			7,2 kPa		
Fluxo mínimo do permutador de calor no lado de água	9,20 L/s			5,90 L/s		
Fluxo máximo do permutador de calor no lado de água	27,70 L/s			29,90 L/s		
Variação de caudal máximo permitida	1,82 L/s			1,89 L/s		

Anexo D – Características físicas do sistema de expansão direta

- **D.7** – Neste anexo encontram-se a ficha técnica com as características usadas para os painéis fotovoltaicos, da marca Phono. O modelo é o PS550M6H-24/TH

Electrical Typical Values

Model	PS535M6-24/TH		PS540M6-24/TH		PS545M6-24/TH		PS550M6-24/TH		PS555M6-24/TH	
	1000V	1500V	PS535M6H-24/TH	PS540M6H-24/TH	PS545M6H-24/TH	PS550M6H-24/TH	PS555M6H-24/TH	STC	NOCT	STC
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Rated Power (Pmpp)	535	403	540	407	545	411	550	414	555	418
Rated Current (Imp)	12.97	10.46	13.06	10.54	13.15	10.61	13.24	10.68	13.33	10.75
Rated Voltage (Vmp)	41.25	38.53	41.35	38.62	41.45	38.71	41.55	38.80	41.64	38.89
Short Circuit Current (Isc)	13.52	10.91	13.62	10.99	13.72	11.07	13.82	11.15	13.92	11.23
Open Circuit Voltage (Voc)	49.29	46.73	49.39	46.82	49.49	46.92	49.59	47.01	49.69	47.11
Module Efficiency (%)	20.71		20.90		21.10		21.29		21.48	

STC(Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², AM 1.5, Cell Temperature 25°C

NOCT (Nominal Operation Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/s

Mechanical Characteristics

Cell Type	Monocrystalline
Dimension (L x W x H)	Length: 2278mm (89.69 inch) Width: 1134mm (44.65 inch) Height: 35mm (1.38 inch)
Weight	28.0kg (61.72 lbs)
Glass	3.2mm toughened glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Cable (Including Connector)	4mm ² (IEC), (+): 450mm,(-): 250mm or Customized Length
Junction Box	IP 68 Rated

Temperature Ratings

Voltage Temperature Coefficient	-0.26%/°C
Current Temperature Coefficient	+0.042%/°C
Power Temperature Coefficient	-0.33%/°C
Power Tolerance	0~+3%
NOCT	45±2°C

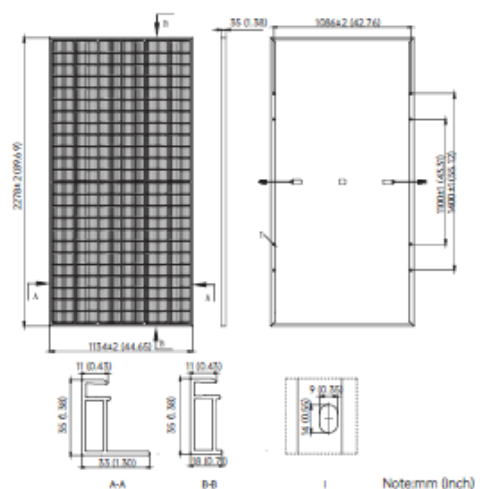
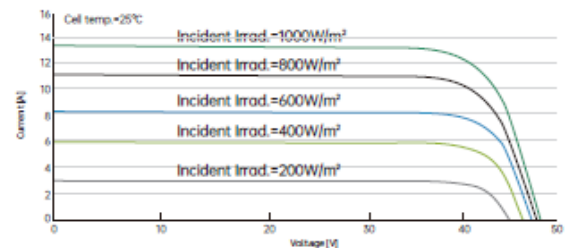
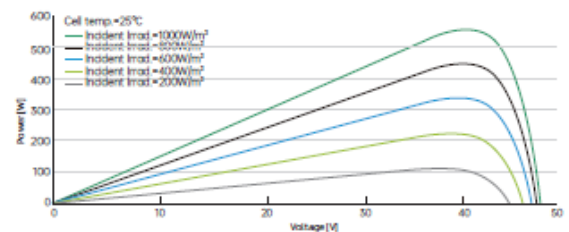
Absolute Maximum Rating

Operating Temperature	From -40 to + 85°C
Hail Diameter @ 80km/h	Up to 25mm
Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Maximum Series Fuse Rating	25A
PV Module Classification	II
Fire Rating (IEC61730)	C
Maximum System Voltage	DC 1000V/1500V

Packing Configuration

Container	20' GP	40' HQ
Pieces/Container	155	620
Pcs/Pallet	31	31
Pallets/Container	5	20

Electrical Characteristics



Anexo D – Características dos materiais utilizados nas medidas de melhoria