



Estudo de Medidas Ativas e Passivas para tornar um Edifício Existente em ZEB com Recurso a Simulação Dinâmica

JOANA RICA LARANJO LOPES

julho de 2023

ESTUDO DE MEDIDAS ATIVAS E PASSIVAS PARA TORNAR UM EDIFÍCIO EXISTENTE EM NZEB COM RECURSO A SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DINÂMICA

Joana Rica Laranjo Lopes

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

ESTUDO DE MEDIDAS ATIVAS E PASSIVAS PARA TORNAR UM EDIFÍCIO EXISTENTE EM NZEB COM RECURSO A SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DINÂMICA

Joana Rica Laranjo Lopes

1200219

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Professora Especialista Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira e coorientação do Engenheiro André Pedro Fernandes Martins Poças.

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

No final deste novo percurso acadêmico, quero agradecer a quem me apoiou direta ou indiretamente e me motivou a fazer uma nova aposta num novo ciclo acadêmico.

Aos meus pais, que me apoiaram sem julgamento por decidir mudar de área e refazer os meus estudos.

Ao meu parceiro, Yosbi Saenz, pelo incentivo, apoio e motivação constante ao longo destes anos. A paciência demonstrada em todos os momentos de dúvida e exaustão e a incansável aposta em mim, foi valorizada em todos os segundos.

página propositadamente em branco

RESUMO

A presente dissertação pretende demonstrar a aplicação do conceito de Zero Building Emissions num edifício de serviços e comércio existente.

O objetivo é conseguir reabilitar o edifício existente, tornando-o mais eficiente. Este género de edifício tem um balanço energético nulo e as suas necessidades energéticas são suprimidas através de sistemas passivos e ativos e fontes renováveis de produção de energia. Este conceito vai de encontro com as normas e objetivos europeus, que se focam na sustentabilidade energética e na descarbonização do planeta.

Ao longo da dissertação aborda-se todos os conceitos relacionados com eficiência energética e faz-se referência ao enquadramento europeu e nacional em relação a legislação em que se enquadra este projeto.

Uma primeira fase baseia-se na análise das soluções construtivas, dos sistemas técnicos existentes para aquecimento de águas sanitárias e climatização, na caracterização do clima onde o edifício do caso de estudo se insere. Esta análise serve para fundamentar os cálculos de consumos energéticos e a elaboração da simulação dinâmica, para cálculo da classificação atual de eficiência energética.

Uma segunda fase serve para estudar medidas de melhoria propostas e aferir o seu impacto no consumo final do edifício e na sua classificação energética, sendo que se analisa cada medida de eficiência individualmente e conclui-se com o impacto global. No estudo de medidas de melhoria, optou-se por realizar melhorias na envolvente, como isolamento térmico e melhoria dos envidraçados, outras estratégias bioclimáticas; adotar sistemas técnicos mais eficientes, como luminárias fluorescentes, sistema de gestão de energia e caldeiras de condensação. Finalmente, a adoção de sistemas de produção de energia renovável, como painéis solares fotovoltaicos, sistemas solares térmicos e energia eólica, permitiu alcançar o objetivo inicial de tornar o edifício em NZEB.

Individualmente, a medida com maior impacto foi a instalação de um sistema solar térmico, apresentando 17,5% de redução de consumo energético não renovável. Com a implementação na globalidade das medidas identificadas foi possível obter 31% de redução do consumo energético não renovável primário.

PALAVRAS-CHAVE

NZEB; Sustentabilidade; Descarbonização; EPBD; HAP.

página propositadamente em branco

ABSTRACT

This dissertation aims to demonstrate the application of the Zero Building Emissions concept in an existing commercial and service building. The goal is to rehabilitate the existing building, making it more efficient. This type of building has a net-zero energy balance, and its energy needs are met through passive and active systems and renewable sources of energy production. This concept aligns with European and national standards and objectives, which focus on energy sustainability and decarbonization of the planet. Throughout the dissertation, all concepts related to energy efficiency are addressed, and reference is made to the European and national framework regarding legislation that encompasses this project.

The first phase is based on the analysis of constructive solutions, existing technical systems for water heating and air conditioning, and the characterization of the climate where the case study building is located. This analysis serves to substantiate the calculations of energy consumption and the development of dynamic simulation to calculate the current energy efficiency rating.

A second phase serves to study proposed improvement measures and assess their impact on the final energy consumption of the building and its energy rating, analyzing each individual efficiency measure and concluding with the overall impact. In the study of improvement measures, the focus was on improving the building envelope, such as thermal insulation and upgrading glazing, as well as adopting other bioclimatic strategies. Additionally, more efficient technical systems were implemented, such as fluorescent lighting fixtures, energy management systems, and condensing boilers. Finally, the adoption of renewable energy production systems, such as photovoltaic solar panels, solar thermal systems, and wind energy, allowed the initial goal of making the building a Nearly Zero Energy Building (NZEB) to be achieved.

Individually, the measure with the greatest impact was the installation of a solar thermal system, presenting a 17.5% reduction in non-renewable energy consumption. With the overall implementation of the identified measures, it was possible to obtain 31% reduction in primary non-renewable energy consumption.

KEYWORDS

NZEB; Sustainability; Decarbonization; EPBD; HAP.

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XV
1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Contextualização	19
1.2. Objetivos da Dissertação	19
1.3. Metodologia	20
1.4. Empresa de Acolhimento	20
1.5. Estrutura da Dissertação	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1. Sustentabilidade.....	23
2.2. Eficiência Energética nos Edifícios.....	25
2.2.1. Utilização de Energia na Europa	26
2.2.2. Utilização de Energia em Portugal	28
2.2.3. Utilização de Energia nos Edifícios.....	29
2.2.4. As Estratégias da UE para a Eficiência Energética dos Edifícios.....	30
2.2.5. A Estratégia Nacional para a Eficiência Energética dos Edifícios	31
2.3. Descarbonização.....	32
2.3.1. Trajetórias para a Neutralidade Carbónica de Portugal	35
2.3.1.1. RNC 2050	35
2.3.1.2. PNEC 2030	37
2.3.2. Descarbonização dos Edifícios	37
2.3.2.1. Edifícios NZEB	39
2.3.2.2. Estratégias para a Otimização Energética dos Edifícios	40
2.3.2.2.1. Estratégias Passivas.....	41
2.3.2.2.2. Estratégias Ativas	44
3. Caso de Estudo.....	49
3.1. Metodologia Aplicada	49
3.2. Caracterização do Edifício	50
3.2.1. Dados Climáticos.....	52
3.2.2. Soluções Construtivas	52
3.2.2.1. Envolvente Opaca.....	53
3.2.2.2. Envolvente Envidraçada	55
3.2.3. Sistemas Técnicos	56
3.2.3.1. Iluminação	57
3.2.3.2. Sistemas de Climatização	60
3.2.3.3. Sistemas de AQS.....	61

3.2.3.4. Energias Renováveis	62
3.2.4. Zonamento Térmico	62
3.3. Caracterização Energética do Edifício	65
3.3.1. Desagregação de Consumos por Principal Consumidor	66
3.3.2. Classificação Energética	68
3.3.3. Medidas de Melhoria da Eficiência Energética	70
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
4.1. Impacto das Medidas de Eficiência Energética	85
4.1.1. Impacto Individual.....	85
4.1.2. Impacto Global.....	91
4.2. Discussão de resultados	92
5. CONCLUSÃO	97
5.1. Conclusões finais	97
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
APÊNDICE A	101
APÊNDICE B	105
APÊNDICE C	106
ANEXO A.....	107
ANEXO B	108
ANEXO C	109
ANEXO D.....	110
ANEXO E	111
ANEXO F	113

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Áreas de atuação.....	21
Figura 2- Pilares do desenvolvimento sustentável	25
Figura 3- Cronologia Diretivas Europeias	26
Figura 4- Consumo de Energia na Europa (1990 – 2010) ^a	27
Figura 5- Consumo de Energia em Portugal (1990 – 2010) ^a	27
Figura 6- Consumo de Energia em Portugal (1990 vs 2021) ^a	28
Figura 7- Consumo de Energia Percentual em Portugal (1990 vs 2021) ^a	29
Figura 8- Repartição de Energia Percentual num Edifício ^a	30
Figura 9- Cronologia da legislação Nacional ^a	31
Figura 10- Emissões de CO ₂ (1960 a 2010) ^a	32
Figura 11- Consumo por forma de energia nos Estados Membros (2018) ^a	33
Figura 12- Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal (1995 - 2021) ^a	34
Figura 13- Consumo de Energia Primária em Portugal (1995 vs 2021) ^a	34
Figura 14- Representação esquemática da classificação energética	40
Figura 15- Sistema Termossifão ^a	46
Figura 16- Sistema circulação forçada ^a	47
Figura 17 – Plantas dos pisos	50
Figura 18 – Plantas dos pisos (cont.)	51
Figura 19 – Pormenores Construtivos	53
Figura 20 – Pormenores Construtivos (cont.)	54
Figura 21 – Percentagem de número de lâmpadas por tipo	58
Figura 22 – Percentagem de potência por tipo de lâmpada	58
Figura 23 – Zonamento Térmico	63
Figura 24 – Zonamento Térmico (cont.)	64
Figura 25 – Desagregação dos consumos totais reais de energia	67
Figura 26 – Comparação de consumos energéticos	68
Figura 27 – Classe Energética	70
Figura 28 – Método de fixação de Vegetação) ^a	74
Figura 29 – Modelo Proposto Uni Condens 8000 F 115	77
Figura 30 – Implantação UPAC (orientação, aproximada, Este)	80
Figura 31 – Implantação Sistema Solar Térmico	81
Figura 32 – Dados de vento referentes ao ano 2022. ^a	82
Figura 33 – Nova Classe Energética	92
Figura 34 – Consumos Antes vs Após Implementação de Medidas (situação Prevista)	93
Figura 35 – Consumos Antes vs Após Implementação de Medidas (situação Real)	94
Figura 36 – Consumos Antes vs Após Implementação de Medidas (situação Real vs situação Prevista)	95
Figura 37 – Consumos Antes vs Após Implementação de Medidas (situação Real vs situação Prevista)	95

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Impacto ambiental a população, afluência e tecnologia ^a	24
Tabela 2 – Requisitos aplicáveis a edifícios de serviço e comércio com emissões nulas ^a	39
Tabela 3 – Exigências para classificação NZEB	39
Tabela 4 – Soluções Recomendadas [17].....	45
Tabela 5 – Tipologias de Espaços	52
Tabela 6 – Dados Climáticos.....	52
Tabela 7 – Caracterização da envolvente opaca.....	55
Tabela 8 – Caracterização da envolvente envidraçada.....	56
Tabela 9 – Levantamento de lâmpadas	57
Tabela 10 – Densidade de potência instalada.....	59
Tabela 11 – Sistema de climatização centralizada	60
Tabela 12 – Sistema de climatização autónoma	61
Tabela 13 – Requisitos para a eficiência energética mínima	61
Tabela 14 – Sistema de AQS.....	62
Tabela 15 – Sistema solar térmico	62
Tabela 16 – Quadro síntese Zonamento Térmico	65
Tabela 17 – Consumos e custos de energia, emissões de CO ₂ e repartição do custo global de energia	66
Tabela 18 – Validação modelo de simulação	66
Tabela 19 – Repartição dos consumos reais de energia pelos principais utilizadores	66
Tabela 20 – Repartição de energia pelos principais utilizadores – Consumos Previstos.....	67
Tabela 21 – Repartição de energia pelos principais utilizadores – Consumos Referência	68
Tabela 22 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	69
Tabela 23 – Cumprimento Requisitos NZEB.....	70
Tabela 24 – Medidas de Melhoria estudadas	71
Tabela 25 – Impacto da medida nos consumos energéticos	73
Tabela 26 – Impacto da medida nos consumos energéticos	75
Tabela 27 – Transmissão Térmica proposta.....	76
Tabela 28 – Impacto da medida nos consumos energéticos	76
Tabela 29 – Impacto da medida nos consumos energéticos	77
Tabela 30 – Densidade de potência instalada.....	78
Tabela 31 – Impacto da medida nos consumos energéticos	79
Tabela 32 – Impacto da medida nos consumos energéticos	79
Tabela 33 – Impacto da medida nos consumos energéticos	80
Tabela 34 – Impacto da medida nos consumos energéticos	81
Tabela 35 – Impacto da medida nos consumos energéticos	82
Tabela 36 – Impacto da medida nos consumos energéticos	83
Tabela 37 – Resultados das necessidades energia primária previstos	85
Tabela 38 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	85
Tabela 39 – Resultados das necessidades energia primária previstos	86
Tabela 40 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	86
Tabela 41 – Resultados das necessidades energia primária previstos	86

Tabela 42 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	87
Tabela 43 – Resultados das necessidades energia primária previstos	87
Tabela 44 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	87
Tabela 45 – Resultados das necessidades energia primária previstos	88
Tabela 46 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	88
Tabela 47 – Resultados das necessidades energia primária previstos	88
Tabela 48 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	88
Tabela 49 – Resultados das necessidades energia primária previstos	89
Tabela 50 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	89
Tabela 51 – Resultados das necessidades energia primária previstos	90
Tabela 52 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	90
Tabela 53 – Resultados das necessidades energia primária previstos	90
Tabela 54 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética	91
Tabela 55 – Resultados das necessidades energia primária	91
Tabela 56 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética – Impacto Geral	92
Tabela 57 – Cumprimento Requisitos NZEB.....	92
Tabela 58 – Consumos Caso Previsto Atual vs Após Implementação de Medidas	93
Tabela 59 – Consumos Caso Real Atual vs Após Implementação de Medidas	94

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
COP	Coeficiente de Desempenho
EER	Rácio de Eficiência Energética
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
GEE	Gases de Emissão Estufa
GES	Grande Edifício de Comércio e Serviços
HAP	Hourly Analysis Program
IEE	Indicadores de Eficiência Energética
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NECP	Nacional Energy and Climate Plans
NZEB	Near Zero Emissions Building
PHPP	Passive House Planning Package
PIB	Produto Interno Bruto
PNEC 2030	Plano Nacional Energia e Clima para 2021-2030
PRR	Plano de Recuperação e Resiliência
RIEE	Rácio de Classe Energética
RNC 2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050
SACE	Sistemas de Automatização e Controlo de um Edifício
SCE	Sistema Certificação Energética
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
UE	União Europeia

Lista de Símbolos

ε	emissividade	W'/W
g	fator solar	%
U_w	coeficiente de transmissão térmica	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
R	Resistência Térmica	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
λ	Condutibilidade Térmica	$W/m \cdot ^\circ C$
IEE_{pr}	Indicador de eficiência energética previsto	$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$
$IEE_{pr,S}$	Indicador de eficiência energética previsto do tipo S	$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$
$IEE_{pr,T}$	Indicador de eficiência energética previsto do tipo T	$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$
$IEE_{pr,REN}$	Indicador de eficiência energética previsto renovável	$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$
IEE_{ref}	Indicador de eficiência energética de referência	$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$
$IEE_{ref,S}$	Indicador de eficiência energética de referência do tipo S	$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$
$IEE_{ref,T}$	Indicador de eficiência energética de referência do tipo T	$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicial apresentam-se os temas nos quais esta dissertação se baseia, assim como o seu objetivo específico e a estrutura definida para a sua escrita.

1.1. Contextualização

O desenvolvimento sustentável foi definido pela primeira vez em 1978 na Comissão Mundial de Ambiente e Desenvolvimento (World Commission on Environment and Development). Segundo o Brundlant Report, o desenvolvimento sustentável pode ser entendido como “...*development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*”. [1]

A Sustentabilidade necessita de um balanço entre três pilares:

- I. Económico
- II. Ambiental
- III. Social

O pilar que recebe mais atenção é comumente o ambiental, uma vez que se foca na redução da pegada carbónica, utilização dos corpos de água potáveis, reciclagem e uso de embalagens passíveis de decomposição, entre outros elementos.

Uma vez que o setor de construção exige um consumo de energia muito elevado, este torna-se um setor passível de melhoramento ambiental e económico. Ou seja, o setor de construção civil, mais especificamente os edifícios, consome cerca de um terço de toda a energia primária mundial [2], pelo que a Comissão Europeia se viu forçada a implementar modificações na forma de construção.

A Comissão Europeia definiu, portanto, diretivas de construção de edifícios com necessidades energéticas quase nulas, NZEB, na publicação da Diretiva nº 2010/31/EU, mais comumente conhecida por EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*). A União Europeia, contudo, já antevê novas exigências para os edifícios com a reformulação da EPBD neste ano 2023, nomeadamente que em 2030 os novos edifícios passem a ser ZEB (Zero Emission Buildings).

Atualmente, os edifícios construídos a partir do ano 2020 devem ser construídos por forma a obter uma classificação NZEB e os edifícios existentes estão pendentes de renovações que os levem de encontro à mesma classificação. Desta forma, a sua eficiência energética melhora e possivelmente irão de encontro com as possíveis alterações espectáveis na nova Diretiva.

1.2. Objetivos da Dissertação

A presente Dissertação é desenvolvida no âmbito do Mestrado de Engenharia Mecânica – Vertente Energia, e tem por objetivo apresentar temas como sustentabilidade e descarbonização de edifícios de comércio e serviço. Serão apresentadas estratégias de eficiência energética que se devem implementar em edifícios de comércio e serviço existentes por forma a torná-los NZEB.

As estratégias a apresentar são classificadas como passivas ou ativas e aplicam-se à envolvente do edifício e/ou a sistemas técnicos existentes em dito edifício.

1.3. Metodologia

Em primeiro lugar foi definido o tópico de investigação: “Estudo de Medidas Ativas e Passivas para tornar um Edifício Existente em NZEB com recurso a Simulação Energética Dinâmica”.

Após a decisão do tema a abordar definiu-se quais os conceitos que se deveriam abordar nesta revisão bibliográfica por forma a escrever uma extensiva exposição prévia do tema em estudo.

O passo seguinte baseou-se na pesquisa de legislação europeia e nacional, diretivas e estudos relevantes que abordam os conceitos de sustentabilidade, descarbonização e eficiência energética. Neste passo utilizaram-se enúmeras bases de dados e fontes bibliográficas. De seguida identificou-se toda a informação relevante e quais os documentos que se deveriam incluir nesta revisão bibliográfica.

Após a seleção, analisou-se e sintetizou-se a informação por forma a se poder escrever uma revisão bibliográfica bem fundamentada.

De seguida apresentou-se o caso de estudo, fazendo referência a toda a informação relevante, incluindo as soluções construtivas, os sistemas técnicos existentes para climatização e aquecimento de águas sanitárias, bem como, a caracterização do clima onde o edifício se insere. Esta análise serviu para fundamentar os cálculos de consumos energéticos e a elaboração da simulação dinâmica, para cálculo da classificação atual de eficiência energética.

Após o cálculo da classificação energética, procedeu-se ao estudo de medidas de melhoria de eficiência energética do edifício e aferiu-se o seu impacto no consumo final de energia primária do edifício e na sua classificação energética, sendo que se analisou cada medida de eficiência energética individualmente e concluiu-se com o impacto global.

Por fim, realizou-se uma análise dos resultados por forma a verificar se o objetivo inicial de tornar o edifício em NZEB foi atingido.

1.4. Empresa de Acolhimento

A presente revisão bibliográfica está a ser realizada em conjunto com a empresa Smartwatt, com o Co-Orientador Eng.º André Poças.

A Smartwatt faz parte do Grupo Bonera, que conta com mais de 70 anos de experiência na área da energia. O seu propósito é o fornecimento de produtos e serviços para o setor energético que melhoram a qualidade de vida das pessoas, a eficiência da economia e contribuem para a transição para um mundo sustentável.

A Smartwatt desenvolve soluções baseadas em inteligência artificial, engenharia e sistemas de monitorização para otimização dos recursos energéticos (Figura 1).

Um dos seus principais focos é a realização de auditorias energéticas, seja na indústria, transportes ou edifícios de serviço e comércio, sendo que se realiza certificações energéticas e se estudam medidas de eficiências energéticas adaptadas a cada caso específico. Desta forma, conseguem encontrar soluções à medida de cada cliente, focando-se nas suas principais necessidades.

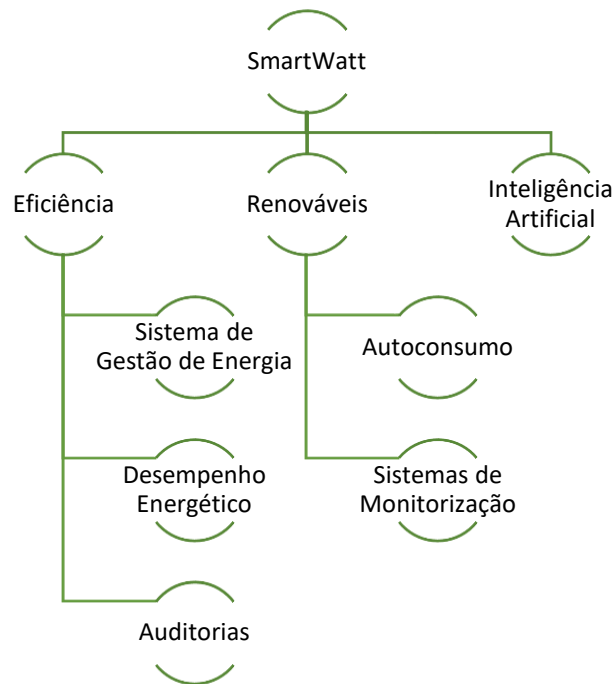


Figura 1- Áreas de atuação

O Eng.º André Poças trabalha nesta empresa há 13 anos, é formado em Engenharia Mecânica, sendo membro da Ordem dos Engenheiros e, também, Técnico Reconhecido no SGCIE. Dentro da empresa é responsável pelo departamento de Eficiência, no qual estou integrada.

1.5. Estrutura da Dissertação

A presente Dissertação encontra-se estruturado em 2 capítulos adicionais:

- I. Capítulo 2: Aprofundar o conceito de sustentabilidade e apresentar a evolução das diretivas europeias. Neste capítulo realiza-se o enquadramento legal respetivo.

Apresenta-se o tema de Descarbonização que está intimamente interligado com sustentabilidade energética, focando-se na trajetória da Comissão Europeia para a neutralidade carbónica.

Este capítulo também se foca no conceito de NZEB e de eficiência energética, apresentando medidas ativas e passivas que se podem utilizar para reduzir o consumo energético.

- I. Capítulo 3: É apresentado o caso de estudo, onde se realiza toda a sua caracterização, incluindo envolvente e sistemas técnicos. De seguida demonstra-se como foi realizada a

simulação dinâmica, a classificação energética do edifício atual e as medidas de melhoria a serem consideradas.

- II. Capítulo 4: Tem por objetivo apresentar resultados da implementação das medidas de melhoria, tanto individualmente como em conjunto.
- III. Capítulo 5: Aqui serão expostas as principais conclusões retiradas de todo o processo e são sugeridas algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo do texto, irá abordar-se os temas de sustentabilidade, abrindo as portas para as diretivas europeias que se focam na melhoria energética dos edifícios.

Ao falar da EPBD, irá fazer-se um enquadramento da situação inicial da Europa e Portugal aquando da sua primeira publicação em 2002 e a evolução / diferenças até ao ano de 2021. Por fim, identificar-se-ão as medidas que foram propostas na última revisão da EPBD para a melhoria energética e descarbonização até à meta de 2050.

De modo a enquadrar a pesquisa na legislação nacional, também se irá apresentar a evolução da mesma no que diz respeito à eficiência energética dos edifícios, fazendo referências aos diversos documentos legislativos.

De seguida irá abordar-se o tema da descarbonização. A descarbonização é uma prioridade na Europa e em Portugal e é uma forma de substituir os combustíveis fósseis por energias renováveis. A descarbonização tem como objetivo diminuir e, a longo prazo, eliminar a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa.

O Acordo de Paris, em 2015, foi indispensável para que os países aprovassem a limitação do aumento da temperatura global do planeta em 2°C.

Aborda-se, ainda, o conceito de edifício altamente eficiente do ponto de vista energético e quais os requisitos existentes na legislação atual que definem um edifício com necessidades de energia quase nulas. Além desta informação, faz-se uma abordagem do movimento mais conhecido e associado a edifícios NZEB, assim como o tipo de medidas ativas e passivas possíveis de implementação num edifício por forma a torná-lo energeticamente mais eficiente.

2.1. Sustentabilidade

A sustentabilidade é um conceito abrangente e, embora muitos estudiosos se dediquem a definir de forma mais precisa o que realmente é o desenvolvimento sustentável, isso não é uma tarefa simples do ponto de vista científico. No entanto, Porritt [3] argumentou que alcançar o desenvolvimento sustentável está associado a quatro condições distintas:

- I. Materiais finitos não devem ser extraídos a um ritmo mais rápido do que aquele que conseguem ser repostos na crosta terrestre;
- II. Materiais artificiais não devem ser produzidos a um ritmo superior ao que podem ser decompostos por processos naturais;
- III. A Biodiversidade dos ecossistemas deve ser mantida, sendo que os recursos renováveis devem ser consumidos a um ritmo mais lento do que podem ser naturalmente reabastecidos;
- IV. As necessidades humanas básicas devem ser satisfeitas de forma equitativa e eficiente.

Estas condições de sustentabilidade são extremamente ambiciosas e difíceis de atingir em termos de engenharia e colocam imensas restrições no desenvolvimento económico.

Contudo, existe outra forma de medir o desenvolvimento sustentável. Esta refere-se à *IPAT*, uma equação para analisar as perturbações ambientais, inicialmente concebido por Holdren and Ehrlich [4]:

$$(Environmental) Impact = Population * Affluence * Technology \quad (1)$$

Em que:

Affluence – é o consumo económico por pessoa e medido pelo *Produto Interno Bruto* (PIB);

Technology – representa o dano ambiental por unidade de consumo.

Segundo Meadows et al [5], o frame temporal de redução dos vários termos da equação IPAT encontra-se entre 50 e 100 anos. A Tabela 1 apresenta um resumo do impacto ambiental dos três fatores da equação (1). Cada coluna reflete frames temporais individuais, significando que cada país coloca uma ênfase diferente em cada componente da equação de sustentabilidade.

Num país industrializado, onde a população é estável, o foco tem de ser, preferencialmente, na produtividade de recursos (componente de tecnologia). Já em países em desenvolvimento, uma vez que as populações estão em rápido crescimento, ambos os fatores população como produtividade dos recursos são necessárias de forma a assegurar o desenvolvimento sustentável. Por outro lado, pode haver uma necessidade de haver uma partilha de riqueza mais equitativa a longo prazo.

Tudo isto implica que haja uma convergência do PIB per capita entre os países em desenvolvimento e os países desenvolvidos – algo que acarreta muitas dificuldades políticas.

Apesar das dificuldades mencionadas anteriormente, o efeito multiplicador da equação IPAT sugere que haja reduções no impacto ambiental muito significativas, a longo prazo.

Tabela 1 – Impacto ambiental a população, afluência e tecnologia ^a

População	Afluência		Tecnologia	
	$\frac{Capital\ Social}{Pessoa}$	$\frac{Produção\ de\ Material}{Capital\ Social}$	$\frac{Energia}{Prod.\ Material}$	$\frac{Impacto\ Amb.}{Energia}$
Ferramentas Aplicáveis				
Planeamento familiar Alfabetização feminina Bem-estar social O papel das mulheres Propriedade de terra	Valores Preços Custo Completo O que se quer O que é suficiente	Vida do Produto Escolha do material Quantidade de Material Desenho Reciclagem, Re-uso	Eficiência na utilização final Eficiência da conversão Eficiência da distribuição Integração de sistemas Redesenho do processo	Fontes benignas Escala Atenuação técnica Compensações
Escala temporal de grandes mudanças				
~ 50 – 100 anos	~ 0 – 50 anos	~ 0 – 20 anos	~ 0 – 30 anos	~ 0 – 50 anos

^aFonte: Adaptado de Meadows et al [5]

Em resumo e independentemente da definição de sustentabilidade e/ou desenvolvimento sustentável em que cada país se baseie, os três pilares enumerados na Contextualização continuam a ser o centro da questão (Figura 2).

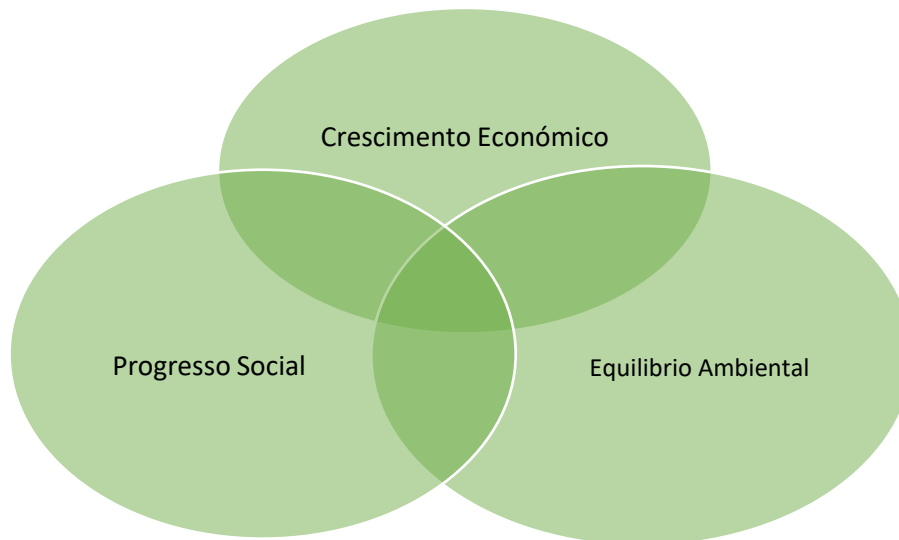


Figura 2- Pilares do desenvolvimento sustentável

2.2. Eficiência Energética nos Edifícios

A UE, ciente do impacto que os edifícios têm de atingir e com o objetivo do aumento do desenvolvimento sustentável, publicou em 2002 uma diretiva conhecida com EPBD. Esta diretiva era um conjunto de guias com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético de todos os edifícios da Comissão Europeia [6].

Em 2010, a EPBD sofreu reformulações e foi publicada a Diretiva 2010/31 UE do Parlamento Europeu e do Conselho.

Ambas as diretivas advêm de uma necessidade de responder ao acordado no Protocolo de Quioto, que expressa uma necessidade de manter a subida de temperatura global abaixo dos 2°C e reduzir as emissões de *Gases Efeito Estufa* (GEE) em, pelo menos, 20% [7] em relação aos valores de 1990 até 2020.

Ao longo dos anos, o Conselho Europeu verificou que seria necessário aumentar a eficiência energética na UE, caso contrário não se conseguiria cumprir o Protocolo de Quioto, dando origem a uma nova Diretiva Europeia, 2012/27/UE, posteriormente reformulada em 2018, a par da nova reformulação da EPBD, em nova reformulação prevista para o 1º semestre de 2023.

Definidas as estratégias e necessidades, as prioridades energéticas foram revistas e estabelecidas metas faseadas para 2020, 2030 e 2050 [8]:

- I. Metas para 2020 (período entre 2010 – 2020): reduzir os GEE em 20%; melhorar eficiência energética em, pelo menos, 20%; aumentar o consumo de energias renováveis em, pelo menos, 20%.

- II. Metas para 2030: reduzir os GEE em 40% (em comparação a 1990); aumentar consumo de energias renováveis em, pelo menos, 27%; melhorar eficiência energética em, pelo menos 27% (havendo a possibilidade de elevar a meta aos 30%).
- III. Metas para 2050: reduzir entre 80% a 95% os GEE em relação aos níveis de 1990.

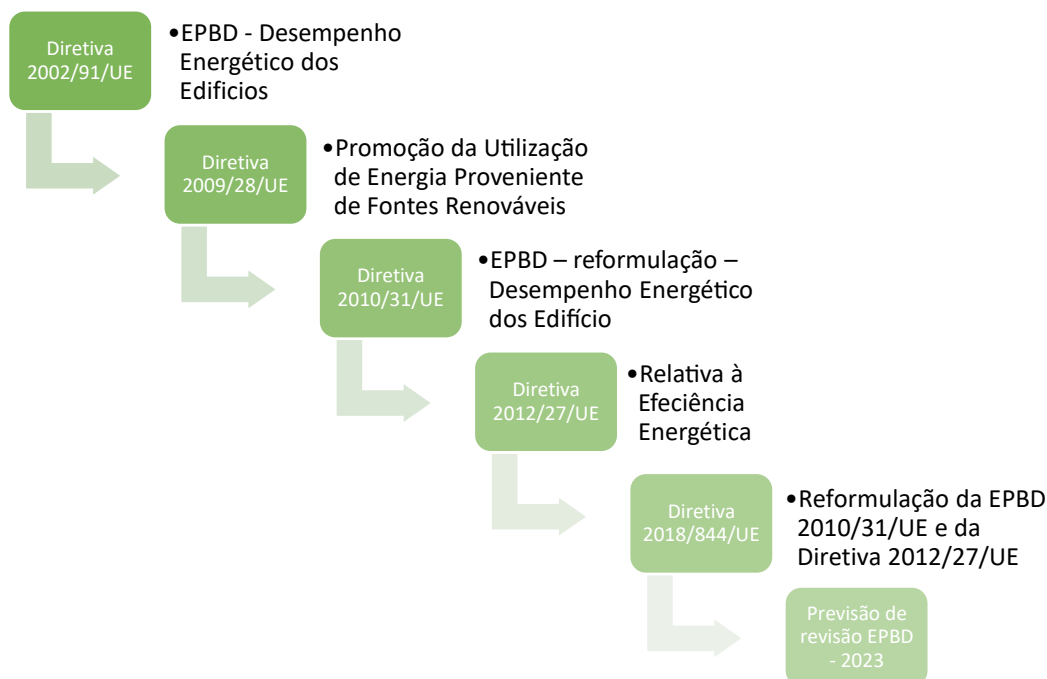


Figura 3- Cronologia Diretivas Europeias

2.2.1. Utilização de Energia na Europa

Na Europa, o setor dos edifícios representa cerca de 40% das necessidades energéticas totais, sendo que 27% dizem respeito a edifícios do setor residencial e 13% a edifícios de serviço e/ou comércio (entre 1990 e 2010). De entre todos os setores económicos na Europa, este é o setor com maior consumo de energia e por isso com maior necessidade de melhoria.

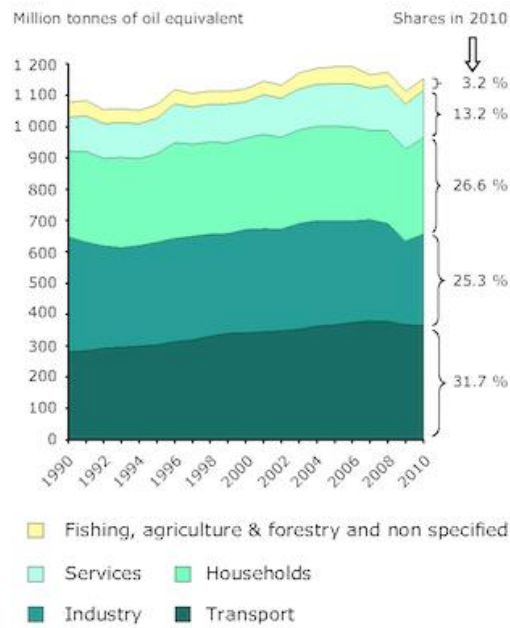


Figura 4- Consumo de Energia na Europa (1990 – 2010) ^a

^aFonte: Site eea.europa.eu [9]

Em relação a Portugal, e no mesmo período, cerca de 30% da energia consumida é referente ao setor dos edifícios.

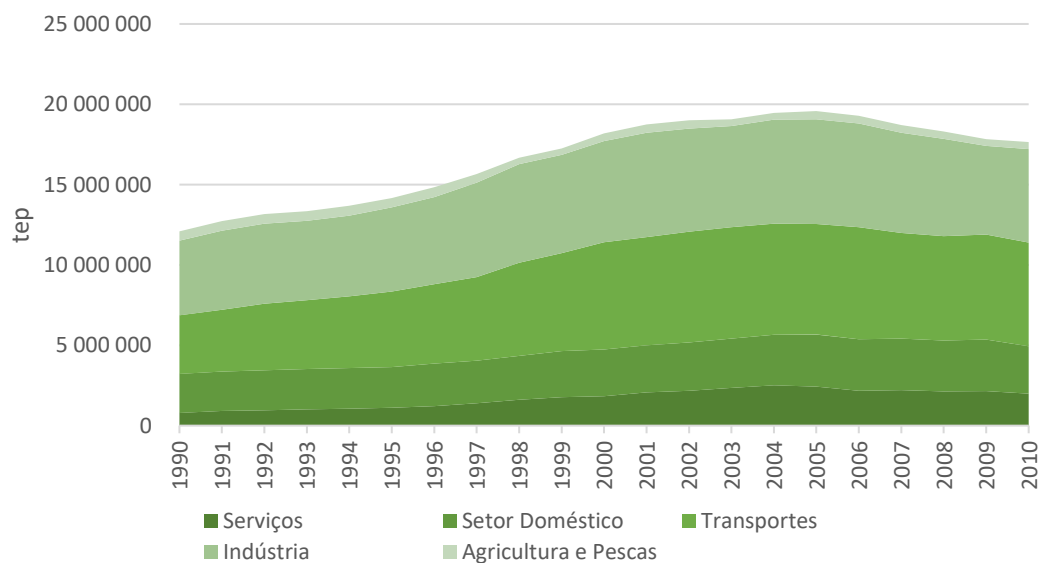


Figura 5- Consumo de Energia em Portugal (1990 – 2010) ^a

^aFonte: Site dgeg.gov.pt [10]

Como se pode verificar, pela análise das Figura 4 e Figura 5 o consumo de energia nos edifícios (setor doméstico e serviços) começou a aumentar desde 1990. Este fenómeno deveu-se ao aumento da necessidade de conforto térmico dos ocupantes, uma vez que o período passado no interior também aumentou.

Face a esta situação, sentiu-se a necessidade de substituir o uso de combustíveis fósseis por energias provenientes de fontes renováveis e apostar no uso de equipamentos com melhor eficiência energética.

2.2.2. Utilização de Energia em Portugal

Atualmente, e segundo a Comissão Europeia [11], os edifícios são responsáveis por 36% da emissão de gases de efeito estufa. Contudo, cerca de 35% dos edifícios existentes têm mais de 50 anos [12] e cerca de 75% são energeticamente pobres. Já a renovação dos edifícios dá-se em apenas 1% destes todos os anos.

Em Portugal, notaram-se aumentos significativos no consumo de energia no setor dos transportes e edifícios de serviços, em comparação com 1990 (Figura 6). Uma vez que o país passou por um período de pandemia, era de esperar que o setor doméstico fosse o que tivesse um aumento mais significativo.

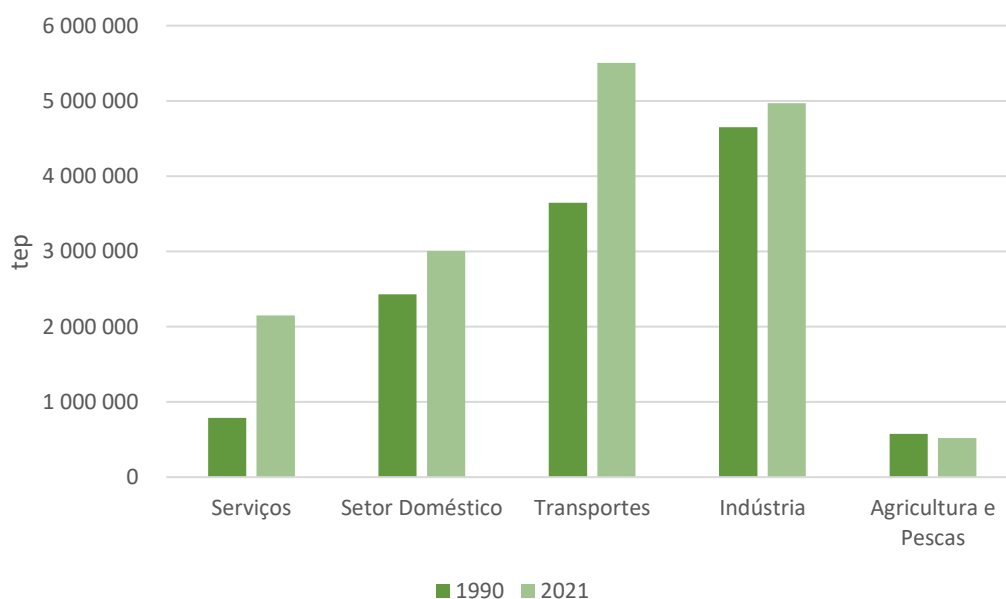


Figura 6- Consumo de Energia em Portugal (1990 vs 2021) ^a

^aFonte: Site dgeg.gov.pt [10]

Em termos percentuais, o setor de transportes verificou um aumento de 3,9% face a 1990 e os edifícios de serviços verificou um aumento de 6,8%. Já os restantes setores verificaram descidas percentuais entre 1,5% e os 7,7% (Figura 7).

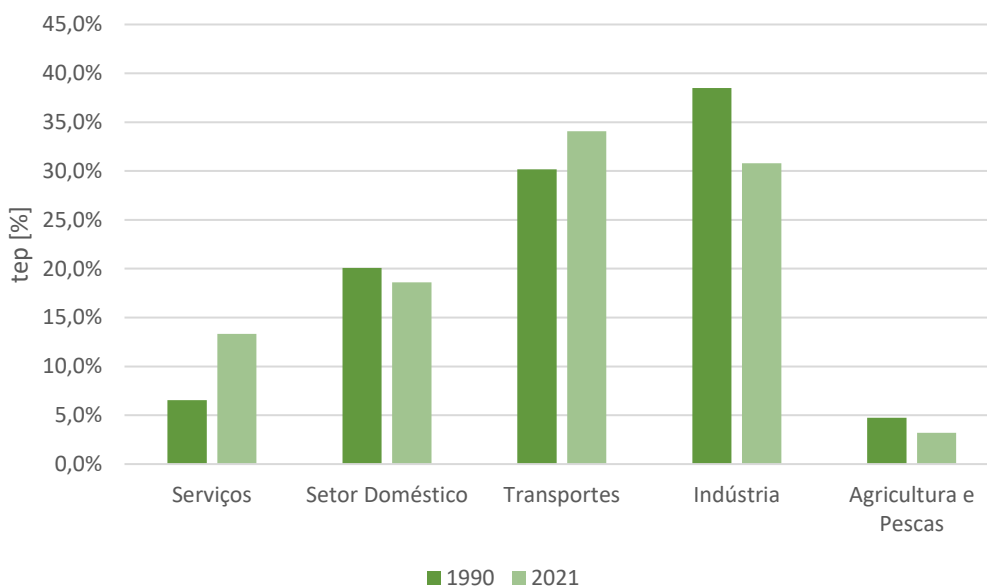


Figura 7- Consumo de Energia Percentual em Portugal (1990 vs 2021) ^a

^aFonte: Site dgeg.gov.pt [10]

Perante esta realidade e graças aos avanços tecnológicos, as diretivas de 2010 e 2012 foram alteradas.

A revisão mais recente foca-se no desenvolvimento energético sustentável e descarbonizado, assente em medidas cujo objetivo é a redução das emissões de gases de estufa, até 2050, a diretiva 2018/844/UE. Nesta revisão também são introduzidas estratégias de renovação dos edifícios dos Estados-Membros por forma a os converter em edifícios descarbonizados e de elevada eficiência energética [13].

Assim, a fim de alcançar os objetivos estabelecidos, torna-se necessário transformar, também, os edifícios existentes em edifícios com necessidades energéticas quase nulas - NZEB. Estes edifícios apresentam alta eficiência energética, consumindo menos energia e incorporando sistemas de geração de energia por recurso a fontes renováveis.

2.2.3. Utilização de Energia nos Edifícios

O setor dos serviços (inclui todos os edifícios comerciais e públicos, como por exemplo, escolas, restaurantes, hospitais, museus, escritórios, entre outros) tem uma grande variedade de utilizações de energia, seja equipamentos de climatização, equipamentos de produção de água quente sanitária, iluminação e equipamentos elétricos [14]. A Figura 8 mostra a típica repartição de utilização de energia num edifício não residencial.

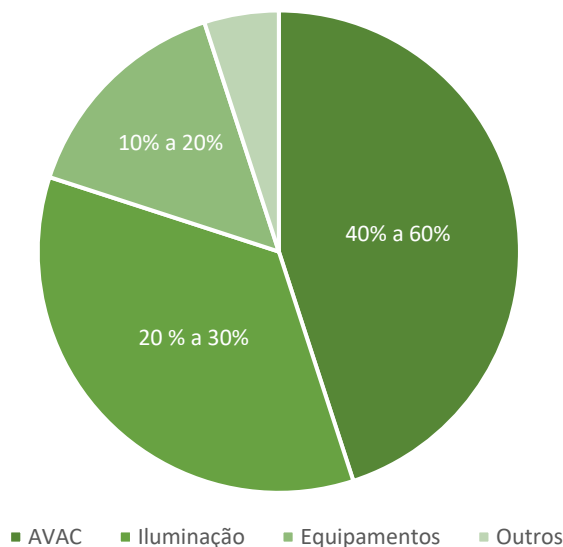


Figura 8- Repartição de Energia Percentual num Edifício ^a

^aFonte: Site dgeg.gov.pt

Como se pode analisar na figura anterior, a maior percentagem de utilização de energia dá-se nos sistemas de climatização e, de seguida, na iluminação. A partir desta análise entende-se a urgência de tornar os edifícios mais eficientes energeticamente.

2.2.4. As Estratégias da UE para a Eficiência Energética dos Edifícios

De acordo com a Comissão Europeia, as medidas propostas [15] na EPBD são:

- I. Os países da UE devem estabelecer fortes estratégias de renovação a longo prazo, visando a descarbonização dos stocks nacionais de edifícios até 2050, com marcos indicativos para 2030, 2040 e 2050. As estratégias devem contribuir para alcançar os objetivos de eficiência energética dos planos nacionais de energia e clima (NECP);
- II. Os países da UE têm de estabelecer requisitos mínimos de desempenho energético otimizados em termos de custos para novos edifícios, para edifícios existentes em grandes obras de renovação, e para a substituição ou adaptação de elementos de construção como sistemas de aquecimento e arrefecimento, telhados e paredes;
- III. A partir de 2021, todos os novos edifícios devem ser quase edifícios de energia zero (NZEB) e, desde 2019, todos os novos edifícios públicos devem ser NZEB;
- IV. Quando um edifício é vendido ou alugado, devem ser emitidos certificados de desempenho energético e estabelecidos esquemas de inspeção para sistemas de aquecimento e ar condicionado;
- V. Em relação à electromobilidade, são introduzidos requisitos mínimos para parques de estacionamento com uma determinada dimensão e outras infra-estruturas mínimas para edifícios mais pequenos;

- VI. As tecnologias afetas a “edifícios inteligentes” são incentivadas com a solicitação de instalação de sistemas para controlo e regulação de diferentes aspetos do edifício, como a regulação da temperatura num espaço interior;
- VII. Os países da UE devem também elaborar listas de medidas financeiras nacionais para melhorar a eficiência energética dos edifícios;
- VIII. os países da UE devem fazer renovações energeticamente eficientes em pelo menos 3% da área total dos edifícios detidos e ocupados pelos governos centrais.

2.2.5. A Estratégia Nacional para a Eficiência Energética dos Edifícios

A legislação nacional sofreu uma grande evolução por forma a cumprir com as obrigações impostas ao Estados Membros pela União Europeia (Figura 9).

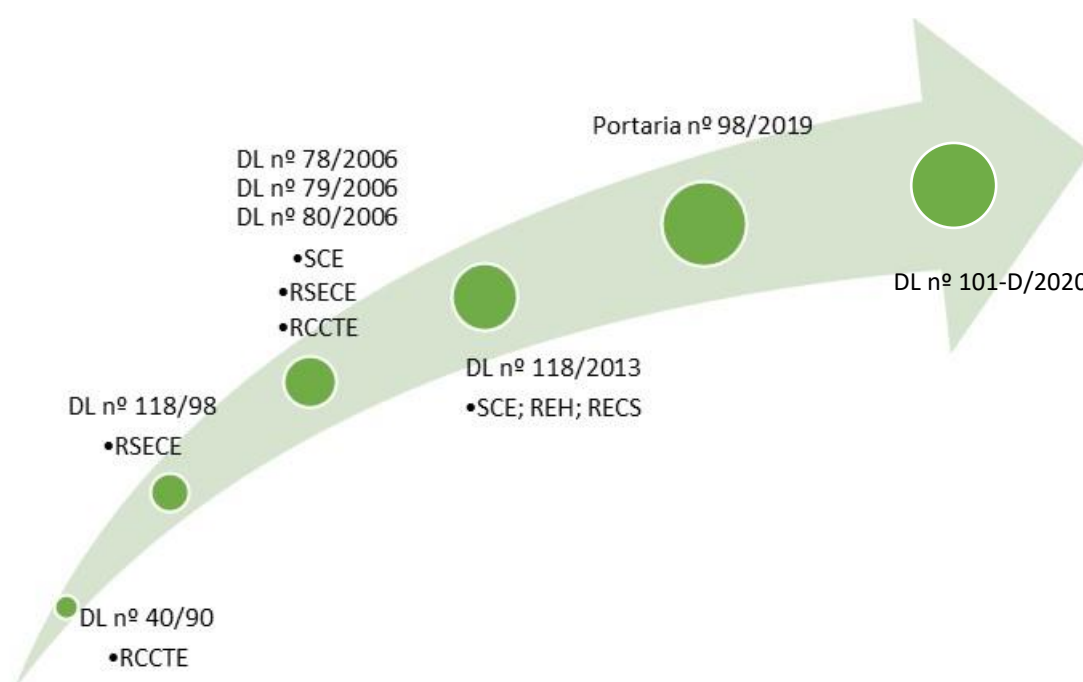


Figura 9- Cronologia da legislação Nacional ^a

^aFonte: Site sce.pt [16]

No âmbito desta dissertação apenas se fará referência à legislação atualmente em vigor, isto é, o DL nº. 101-D/2020 [17].

O Decreto-Lei nº. 101-D/2020, publicado a 7 de dezembro, estabelece os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, com o objetivo de assegurar e promover a melhoria do respetivo desempenho energético. Esta melhoria é alcançável através do estabelecimento de requisitos aplicáveis à sua modernização e renovação. Este decreto-lei também regulamenta o *Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)*, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944.

Cada estado-membro tem a possibilidade de definir o seu próprio conceito NZEB. Na legislação portuguesa, a Portaria nº42/2019, publicada em 30 de janeiro, estabelece os requisitos para edifícios de comércio e serviços, visando as necessidades quase nulas de energia (NZEB). As alterações significativas incluem limites máximos para Indicadores de Eficiência Energética (IEES) e classificação energética (RIEE). A partir de 31 de janeiro de 2019, os edifícios públicos devem ter classificação energética A ou A+, e a partir de 1º de janeiro de 2021, os demais edifícios abrangidos pelo SCE devem seguir essa exigência. Isso demonstra o comprometimento do legislador em melhorar a eficiência energética dos edifícios, permitindo que o setor privado se adapte gradualmente a esse novo patamar.

2.3. Descarbonização

A descarbonização é um processo que consiste em reduzir as emissões de carbono na atmosfera, mais especificamente o CO₂. Ao se conseguir isto, pretende-se alcançar a neutralidade carbônica através da transição energética.

Com a industrialização mundial, o ser humano aumentou as emissões de CO₂ e, por conseguinte, causou o aumento do efeito estufa e aquecimento global. [18]

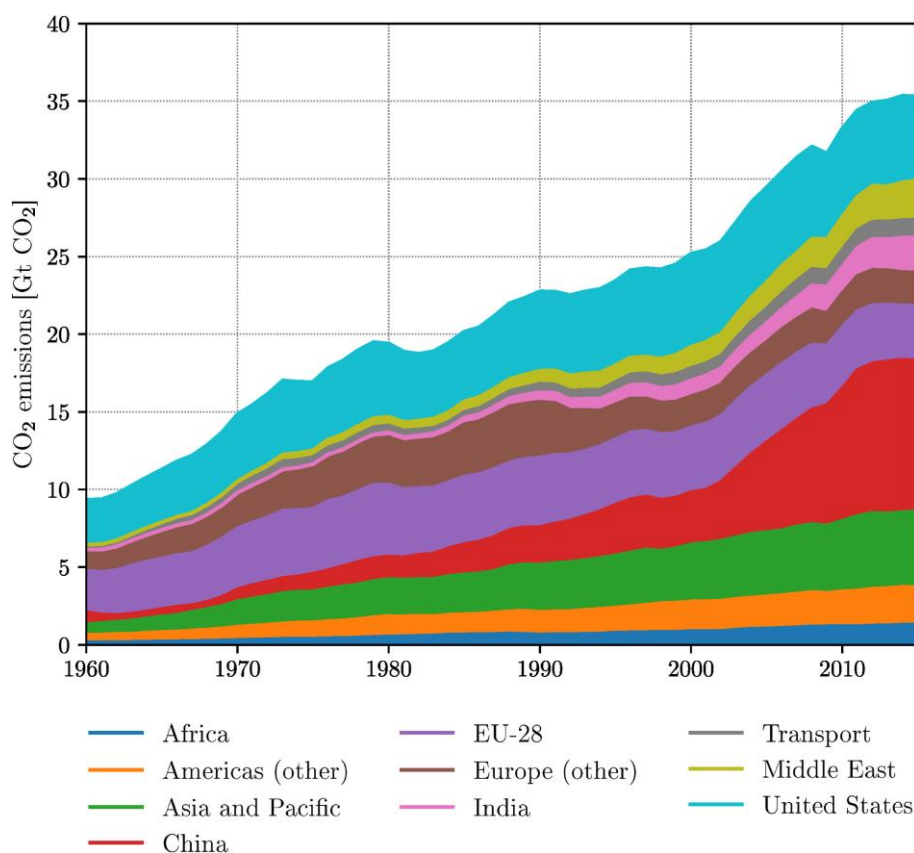


Figura 10- Emissões de CO₂ (1960 a 2010) ^a

^aFonte: [18]

A sociedade atual é totalmente dependente da energia, seja esta extraída a partir de combustíveis fósseis ou energias renováveis. A energia obtida diretamente da natureza é chamada de energia primária, a qual, muitas vezes, não é possível consumir sem que haja a sua transformação. Todo e qualquer processo de transformação não é 100% eficiente e gera desperdício, ou seja, causa poluição. No caso dos combustíveis fósseis, a sua combustão origina GEE, nomeadamente dióxido de carbono, cuja concentração na atmosfera aumenta exponencialmente gerando alterações climáticas.

Reconhecendo a energia como um bem necessário, os governos de todos os países admitem que a segurança do abastecimento energético constitui uma área estratégica crucial e, por isso, a conquista pela disponibilidade de recursos energéticos tem sido responsável por muitos conflitos no mundo [19]. Os estados-membros são fortemente dependentes de energias fósseis e desde 1990 houve um aumento da sua utilização (Figura 11).

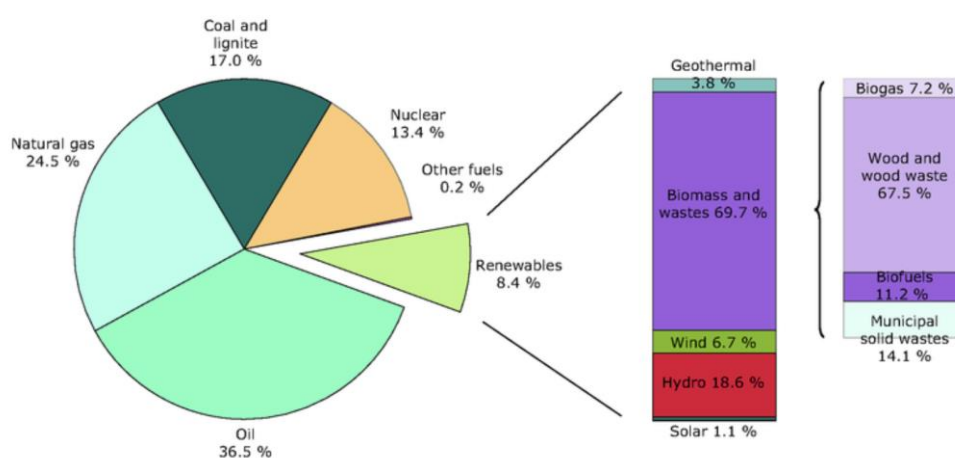


Figura 11- Consumo por forma de energia nos Estados Membros (2018) ^a

^aFonte: Site eea.europa.eu [20]

Na década de 90, tal como em toda a Europa, Portugal registou um aumento de emissões de GEE, atingindo o pico de emissões em 2005. Desde aí, as emissões destes gases têm vindo a diminuir e assim consolidando a trajetória adotada de descarbonização da economia nacional.

Como se pode analisar pela Figura 12, a dependência de Portugal de combustíveis de origem fóssil tem vindo a diminuir desde 2005, mais especificamente o consumo de Petróleo. Por outro lado, o consumo de energia produzida através de energias renováveis tem começado a demonstrar um aumento significativo desde 2014. Em termos percentuais, pode-se analisar a Figura 13 de forma a constatar os contrastes entre 1995 e 2021.

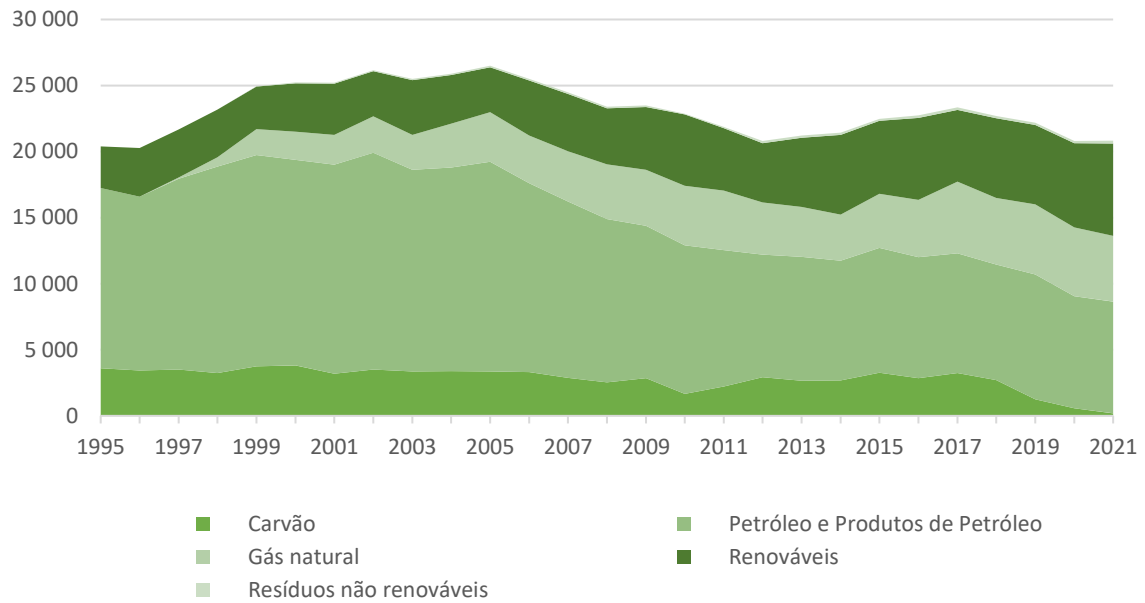


Figura 12- Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal (1995 - 2021) ^a

^aFonte: Site dgeg.gov.pt [10]

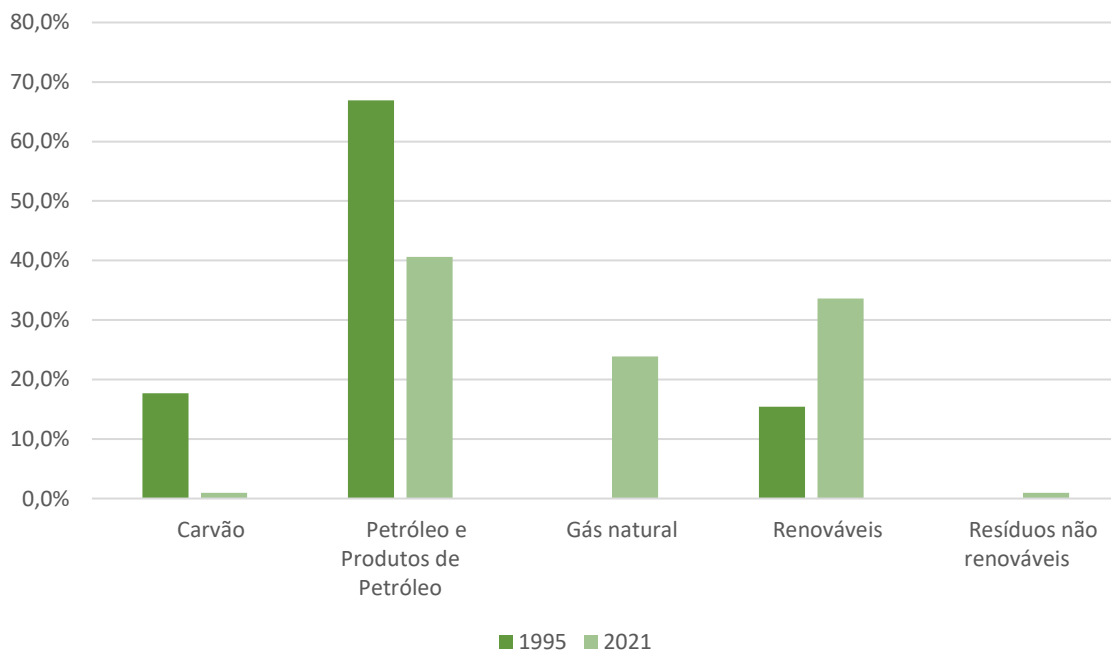


Figura 13- Consumo de Energia Primária em Portugal (1995 vs 2021) ^a

^aFonte: Site dgeg.gov.pt [10]

2.3.1. Trajetórias para a Neutralidade Carbónica de Portugal

Com o Acordo de Paris foram estabelecidos objetivos de contenção do aumento da temperatura média global em 2°C. Desta forma, em 2016, Portugal comprometeu-se a assegurar a neutralidade das suas emissões até 2050.

De forma a cumprir este compromisso, Portugal aprovou o *Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050* (RNC2050) e o *Plano Nacional Energia e Clima para 2021-2030* (PNEC 2030).

2.3.1.1. RNC 2050

O Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 tem como objetivo principal *“identificar os principais vetores de descarbonização em todos os setores da economia, as opções de políticas e medidas e a trajetória de redução de emissões para atingir este fim, em diferentes cenários de desenvolvimento socioeconómico. Todos os setores deverão contribuir para a redução de emissões, aumentando a eficiência e a inovação, promovendo melhorias, nomeadamente nos edifícios, na agricultura, na gestão dos resíduos e na indústria, sendo que caberá ao sistema energético o maior contributo, em particular no que respeita à produção de eletricidade e aos transportes.”* [21]

Este documento permite identificar os principais vetores de descarbonização e as linhas de atuação para se chegar a uma sociedade neutra de carbono, até 2050 [21]:

- I. *Descarbonizar a produção de eletricidade, eliminando a produção de eletricidade a partir do carvão até 2030 e prosseguindo com a total descarbonização do sistema eletroprodutor até 2050, apostando nos recursos endógenos renováveis;*
- II. *Concretizar a transição energética, aumentando muito significativamente a eficiência energética em todos os setores da economia, apostando na incorporação de fontes de energia renováveis endógenas nos consumos finais de energia, promovendo a eletrificação e ajustando o papel do gás natural no sistema energético nacional;*
- III. *Descentralizar e democratizar a produção de energia de forma progressiva e dando relevo ao papel do consumidor enquanto parte ativa do sistema energético;*
- IV. *Promover a descarbonização no setor residencial, privilegiando a reabilitação urbana e o aumento da eficiência energética nos edifícios, fomentando uma progressiva eletrificação do setor e o uso de equipamentos mais eficientes, e combater a pobreza energética;*
- V. *Descarbonizar a mobilidade, privilegiando o sistema de mobilidade em transporte coletivo, através do seu reforço e da descarbonização das frotas, apoiando soluções inovadoras e inteligentes de mobilidade multimodal, ativa, partilhada e sustentável, bem como a mobilidade elétrica e outras tecnologias de zero emissões, a par da redução da intensidade carbónica dos transportes marítimos e aéreos, apostando na inovação, na eficiência e em combustíveis mais limpos e de base renovável, bem como, na descarbonização do transporte de mercadorias de curta e longa distância, promovendo uma cadeia logística com uma repartição modal que minimize a intensidade carbónica e energética do sistema de transporte, reafirmando o papel do transporte marítimo e fluvial conjugado com o transporte ferroviário de mercadorias.*

- VI. *Promover a transição energética na indústria, a incorporação de processos de produção de baixo carbono e as simbioses industriais, promovendo a inovação e a competitividade;*
- VII. *Apostar numa agricultura sustentável, através da expansão significativa da agricultura de conservação e da agricultura de precisão, reduzindo substancialmente as emissões associadas à pecuária e ao uso de fertilizantes e promovendo a inovação;*
- VIII. *Fomentar o sequestro de carbono através de uma gestão agrícola e florestal ativa, promovendo a valorização do território;*
- IX. *Alterar o paradigma de utilização dos recursos, abandonando o modelo económico linear e transitando para um modelo económico circular e de baixo carbono;*
- X. *Prevenir a produção de resíduos, aumentar as taxas de reciclagem e reduzir muito significativamente a deposição de resíduos em aterro;*
- XI. *Dinamizar a participação das cidades e das administrações locais na descarbonização estimulando uma abordagem integrada aos seus diferentes vetores, em particular mobilidade, edifícios, serviços e gestão de resíduos, e potenciando o papel que têm vindo a desempenhar na mitigação das alterações climáticas;*
- XII. *Estimular a investigação, a inovação e a produção de conhecimento para a neutralidade nos vários setores de atividade;*
- XIII. *Tornar a fiscalidade um instrumento da transição para a neutralidade, prosseguindo com a eliminação dos subsídios prejudiciais ao ambiente, reforçar a aplicação da taxa de carbono e promover uma maior tributação sobre o uso dos recursos, aliviando a carga fiscal sobre o trabalho, reciclando as receitas para a descarbonização e transição justa;*
- XIV. *Alinhar os fluxos financeiros para a neutralidade carbónica, fomentando designadamente o desenvolvimento de um quadro favorável ao financiamento sustentável e um maior envolvimento do sistema financeiro;*
- XV. *Promover o envolvimento da sociedade na transição, contribuindo para aumentar a ação individual e coletiva, a adoção de comportamentos sustentáveis e a alteração dos padrões de produção e consumo a favor da sustentabilidade, designadamente através da educação e sensibilização ambientais;*
- XVI. *Promover o desenvolvimento de competências e a (re)qualificação dirigida para as novas oportunidades de desenvolvimento económico;*
- XVII. *Fomentar o desenvolvimento da nova economia ligada à transição energética e à descarbonização, apoiando o desenvolvimento de novos clusters industriais e a geração de novas oportunidades empresariais;*
- XVIII. *Promover uma transição justa e coesa, que valorize o território, que crie riqueza, promova o emprego e contribua para elevar os padrões de qualidade de vida em Portugal.*

Em termos práticos, o início da atuação nestas linhas começa com o Plano Nacional Energia e Clima 2021 – 2030.

2.3.1.2. PNEC 2030

O PNEC deve ser executado até 2030 e apresenta-se com a visão de *“promover a descarbonização da economia e a transição energética visando a neutralidade carbónica em 2050, enquanto oportunidade para o país, assente num modelo democrático e justo de coesão territorial que potencie a geração de riqueza e uso eficiente de recursos.”* [22]

Este documento estabelece várias metas a serem cumpridas até 2030, entre as quais:

- I. Reduzir entre 45% e 55% as emissões de GEE comparativamente a 2005 (de destacar as metas de 70% no setor dos serviços, 35% no residencial, 40% nos transportes, 11% na agricultura e 30% no setor dos resíduos e águas residuais);
- II. Reduzir 35 % do consumo de energia primária com vista a uma melhor eficiência energética;
- III. Aumentar a contribuição das Energias Renováveis em 47% no consumo final bruto de energia (aumento de 20% no setor dos transportes)
- IV. Aumentar as Interligações Elétricas com a Europa em 15%.

Estas metas, para serem cumpridas, necessitam de objetivos estratégicos concretos. Deste forma, o PNE assenta em 8 objetivos fundamentais:

- I. Descarbonizar a economia nacional;
- II. Dar prioridade à eficiência energética;
- III. Reforçar a aposta nas energias renováveis e reduzir a dependência energética do país;
- IV. Garantir a segurança de abastecimento;
- V. Promover a mobilidade sustentável;
- VI. Promover uma agricultura sustentável e potenciar o sequestro de carbono;
- VII. Desenvolver uma indústria inovadora e competitiva;
- VIII. Garantir uma transição justa, democrática e coesa.

2.3.2. Descarbonização dos Edifícios

Segundo as avaliações de impacto das medidas implementadas na EPBD, na sua redação atual, realizadas pela Comissão Europeia, as reduções globais de emissão de GEE não alcançarão as metas definidas para 2030.

Por esta razão, recentemente foi lançada uma proposta de revisão à EPBD, a qual reforça que *“a imprescindível descarbonização do parque imobiliário da União Europeia exige um esforço de renovação energética em grande escala: quase 75 % desse parque imobiliário é ineficiente, de acordo com as normas de construção em vigor, sendo que 85 % a 95 % dos edifícios hoje existentes ainda estarão ocupados e em funcionamento em 2050. Porém, a taxa anual ponderada de renovação energética tem-se mantido baixa — cerca de 1 %. Ao ritmo atual, a descarbonização do setor dos edifícios demoraria vários séculos. O estímulo e o apoio à renovação de edifícios, incluindo*

a transição para sistemas de aquecimento sem emissões, constituem, por isso, um objetivo fundamental". [23]

Nesta revisão estão incluídas várias medidas e políticas a aplicar:

- I. *Identificação de estratégias rentáveis de renovação para diferentes tipos de edifício e zonas climáticas, tendo em conta os potenciais limiares pertinentes no ciclo de vida do edifício;*
- II. *Padrões mínimos de desempenho energético, adotadas a nível nacional nos termos do artigo 9.º, e outras políticas e ações que visem os segmentos com pior desempenho do parque imobiliário nacional;*
- III. *Promoção de renovações profundas de edifícios, incluindo renovações profundas por etapas;*
- IV. *Descarbonização do aquecimento e do arrefecimento, incluindo por meio de redes urbanas de aquecimento e arrefecimento, e eliminação progressiva dos combustíveis fósseis no aquecimento e arrefecimento, com vista a uma eliminação total, o mais tardar, até 2040;*
- V. *Promoção de fontes renováveis de energia nos edifícios, em consonância com a meta indicativa para a quota de energia proveniente de fontes renováveis no setor dos edifícios;*
- VI. *Redução das emissões de gases com efeito de estufa de todo o ciclo de vida dos edifícios — construção, renovação, funcionamento e fim de vida — bem como aumento das remoções de carbono;*
- VII. *Prevenção e tratamento de elevada qualidade dos resíduos de construção e demolição, em consonância com a Diretiva 2008/98/CE, nomeadamente no que diz respeito à hierarquia dos resíduos e aos objetivos da economia circular;*
- VIII. *Promoção de tecnologias inteligentes e infraestruturas para a mobilidade sustentável nos edifícios.*

Atualmente os novos edifícios devem ser construídos por forma a terem a classificação de NZEB (edifícios com necessidades quase nulas de energia). Contudo, uma nova orientação presente na revisão é a construção de edifícios com emissões zero, já a ser aplicada em 2030 e em 2027 para edifícios públicos [23]. Este tipo de edifício não pode ser responsável por qualquer tipo de emissão de carbono proveniente de combustíveis fósseis e por isso, foram reformulados novos requisitos para tal (Tabela 2), tendo em conta a utilização anual total de energia primária.

Tabela 2 – Requisitos aplicáveis a edifícios de serviço e comércio com emissões nulas^a

Zona Climática da UE	Edifícios de Escritórios	Outros Edifícios Não Residenciais
Mediterrânea	< 70 kWh/(m ² .ano)	< Utilização total de energia primária de um edifício com necessidades quase nulas de energia definida a nível nacional
Oceânica	< 85 kWh/(m ² .ano)	< Utilização total de energia primária de um edifício com necessidades quase nulas de energia definida a nível nacional
Continental	< 85 kWh/(m ² .ano)	< Utilização total de energia primária de um edifício com necessidades quase nulas de energia definida a nível nacional
Nórdica	< 90 kWh/(m ² .ano)	< Utilização total de energia primária de um edifício com necessidades quase nulas de energia definida a nível nacional

^aFonte: [23]

2.3.2.1. Edifícios NZEB

Atualmente e segundo as Diretivas e Legislações aprovadas, um edifício tem de ter a classificação NZEB, sendo que este é um edifício com necessidades energéticas quase nulas. Todas as necessidades energéticas devem ser satisfeitas maioritariamente por energias provenientes de fontes renováveis. Por forma a contribuir para a descarbonização, essas energias renováveis devem ser produzidas, preferencialmente, no local do edifício ou na proximidade deste.

Enquadrando com a legislação nacional, Portugal definiu quais as metas a cumprir pelos edifícios de habitação e edifícios de comércio e serviços para que estes sejam classificados como NZEB (Tabela 3).

Tabela 3 – Exigências para classificação NZEB

Exigências para Edifícios de Habitação	
Energia útil para aquecimento:	$\frac{N_{IC}}{N_I} \leq 75\%$
Energia primária:	$\frac{N_{TC}}{N_T} \leq 50\%$
Fontes de energia renovável devem suprir usos de climatização e AQS	$\geq 50\%$
Exigências para Edifícios de Comércio e Serviços	
$IEE_s \leq 75\% IEE_{s,REF}$	
$R_{IEE} \leq 0,5$	

Resumidamente, os edifícios, seja de habitação ou de comércio e serviço, deverão ter um desempenho energético que corresponda à classe A ou superior no atual sistema de certificação energética. (Figura 14) Adicionalmente, ambas as tipologias de edifícios deverão incorporar fontes de energia renovável que suprimam a utilização de energia primária em mais de 50%.



Figura 14- Representação esquemática da classificação energética

Para se conseguir chegar a uma classificação tão elevada, existem três fatores principais nos quais se deve trabalhar:

- I. Qualidade dos edifícios:
 - a. Paredes;
 - b. Caixilharias;
 - c. Isolamentos;
 - d. Desempenho Térmico, entre outros;
- II. Equipamentos:
 - a. Aquecimento;
 - b. Arrefecimento;
 - c. Ventilação;
 - d. Águas Quentes Sanitárias;
- III. Energias Renováveis.

Ou seja, para tornar um edifício energeticamente quase nulo há que trabalhar nas suas componentes passivas (edifício), componentes ativas (equipamentos) e promover a utilização de energias renováveis.

2.3.2.2. Estratégias para a Otimização Energética dos Edifícios

Existem várias estratégias que se podem adotar por forma a otimizar a eficiência energética dos edifícios, dentro as quais se podem enumerar:

- I. Melhorar o isolamento e selar a envolvente do edifício para reduzir a perda de energia através de paredes, janelas e telhados;

- II. Atualização para aparelhos energeticamente eficientes, iluminação, e sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC);
- III. Instalação de termostatos programáveis ou sensores de ocupação para otimizar o aquecimento e arrefecimento com base em padrões de ocupação e atividade;
- IV. Implementação de estratégias de iluminação natural e ventilação natural para reduzir a necessidade de iluminação artificial e ventilação mecânica;
- V. Utilização de janelas e portas energeticamente eficientes para reduzir a perda de energia através da envolvente do edifício;
- VI. Utilização de sistemas de energia renovável, tais como painéis solares ou turbinas eólicas, para gerar eletricidade no local;
- VII. Capturar e utilizar o calor residual produzido pelo edifício, por exemplo, através de uma bomba de calor de fonte terrestre;
- VIII. Realização de simulações energéticas, em softwares informáticos, para cálculos de cargas térmicas e perfis de utilização.

Atualmente estão a ser desenvolvidas várias tecnologias com este mesmo intuito. Existem números artigos científicos que apresentam estratégias passivas concretas que se podem utilizar tal como Vidro transparente de proteção térmica à base de matérias de absorção seletiva [24], coberturas e fachadas verdes [25] [26], entre outras; e apresentam estratégias ativas concretas tal como a utilização de bombas de calor geotérmicas [27], ventilação híbrida [28], Sistemas de Armazenamento Térmico a Alta Temperatura Utilizando Materiais de Mudança de Fase [29], entre outras.

De seguida apresentam-se e explicam-se algumas estratégias de eficiência energética mais comuns.

2.3.2.2.1. Estratégias Passivas

As estratégias passivas baseiam-se na construção íntegra do edifício em si, tal como a envolvente opaca e envidraçada. As soluções irão atuar nos fluxos de energias entre exterior e interior, na condução do calor e radiação solar por forma a diminuir as necessidades de recorrer a sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento.

Num edifício existente, tema desta dissertação, a localização e orientação do edifício já não é algo passível de modificação, pelo que se deve focar na otimização da envolvente do edifício.

I. Otimização Térmica da Envolvente Opaca

A qualidade de um edifício está intimamente ligada à sua envolvente exterior e as trocas de energia que se dão através dela e o interior. Desta forma, deve-se otimizar toda a envolvente do edifício tendo em conta a Inércia térmica e o isolamento térmico.

A inércia térmica é a resistência que um material oferece às mudanças de temperatura. A inércia térmica é uma característica de todos os materiais que tenham massa e calor específico e são constituintes de toda a envolvente opaca (paredes exteriores, pavimentos e coberturas).

Resumidamente, a inércia térmica é a capacidade de um material armazenar calor e libertá-lo lentamente, o que permite que o conforto térmico seja atingível seja no inverno, mantendo o calor no interior, seja no verão, evitando o sobreaquecimento. A inércia térmica aumenta quanto mais pesados e/ou densos os materiais constituintes dos elementos da envolvente opaca sejam.

No caso de edifícios existentes, nos quais a constituição da envolvente já não se pode modificar, há uma solução para melhorar a inércia térmica: a instalação de isolamento térmico. O isolamento térmico pode ser colocado tanto pelo interior como pelo exterior do edifício e é uma forma de minimizar as perdas de energia do interior para o exterior e vice-versa.

Existem vários materiais e técnicas de isolamento, mas a escolha correta deve ser baseada tanto no clima onde o edifício se encontra como a espessura do isolamento que se pretenda colocar. Deve-se também ter em conta a condutibilidade térmica do material isolante. A regra é que quanto menor for o valor da condutibilidade do material, melhor é a sua capacidade isolante.

Num edifício existente, onde já não se pode colocar isolamento na caixa de ar que possivelmente exista na envolvente, a melhor opção será colocar o isolamento pelo exterior por forma a eliminar as pontes térmicas. De notar que as pontes térmicas ocorrem quando dois materiais de resistências térmicas diferentes se encontram, resultando em descontinuidades térmicas e condensações. O isolamento pelo interior (em paredes interiores) é bastante aconselhável em zonas que dividam locais climatizados de locais não climatizados, por forma a diminuir as perdas térmicas.

Já em coberturas, o isolamento deve permitir a limitação de fluxos ascendentes (perdas de calor no inverno) e fluxos descendentes (ganhos de calor no verão), pois este elemento construtivo é passível de maior exposição solar anual.

Para além do isolamento térmico, existem outras formas de otimizar a envolvente de um edifício, tal como fachadas e coberturas verdes e paredes de trombe, por exemplo.

As coberturas e paredes verdes, também conhecidos como coberturas e paredes vivas, são cobertos com vegetação e solo. Podem variar desde simples jardins com algumas plantas até sistemas mais complexos com uma variedade de plantas, incluindo arbustos e árvores. As envolventes verdes têm uma série de benefícios, incluindo [30] [31]:

- a. Isolamento de um edifício: Os telhados verdes podem ajudar a isolar um edifício, reduzindo a necessidade de aquecimento e arrefecimento. A vegetação e o solo no telhado funcionam como uma camada de isolamento, ajudando a manter o edifício quente no Inverno e fresco no Verão.
- b. Redução do escoamento de águas pluviais: Os telhados verdes podem absorver a água da chuva, reduzindo a quantidade de escoamento de águas pluviais que flui para os sistemas de esgotos. Isto pode ajudar a reduzir as cheias e a poluição da água.
- c. Melhorar a qualidade do ar: Os telhados verdes podem ajudar a filtrar os poluentes e melhorar a qualidade do ar nas áreas urbanas.
- d. Fornecer habitat: Os telhados verdes podem fornecer habitat para aves, insetos, e outros pequenos animais, ajudando a promover a biodiversidade nas áreas urbanas.

- e. Melhorar o aspeto de um edifício: Os telhados verdes podem acrescentar apelo visual a um edifício, tornando-o mais atrativo e convidativo.

As paredes trombe são um sistema de aquecimento e ventilação solar passivo que é tipicamente utilizado em edifícios de habitação. Consiste numa parede feita de um material absorvente de calor, como betão ou alvenaria, que é posicionada no lado sul de um edifício no Hemisfério Norte. Uma camada de vidro, como uma janela, é colocada em frente da parede, e um espaço de ar é deixado entre a parede e o vidro. À medida que os raios solares passam através do envidraçamento, são absorvidos pela parede e convertidos em calor, que é depois transferido para o ar dentro do espaço aéreo. O ar aquecido é então circulado através do edifício utilizando convecção natural, fornecendo uma fonte de aquecimento passivo. As paredes de Trombe demonstraram ser uma forma eficaz e eficiente de aquecer edifícios, particularmente em climas com elevados níveis de radiação solar [32].

II. Otimização Térmica da Envolvente Envidraçada

Os vãos envidraçados (vidro, caixilharia e proteções solares) são um elemento muito importante na eficiência energética de um edifício. Eles potenciam a entrada de calor e de iluminação natural.

Por norma, os vãos envidraçados possuem uma alta condutividade térmica, o que se traduz em perdas de calor no inverno e ganhos no verão. Por forma a combater este fenómeno, existem certas propriedades às quais é necessário ter atenção: *emissividade* (ϵ), *fator solar* (g) e o *coeficiente de transmissão térmica* (U_w) do conjunto vidro + caixilharia.

A emissividade de um vidro é a sua capacidade de transmitir calor, ou seja, quanto menor a emissividade, menor a transmissão de calor por radiação. Esta característica está intimamente ligada ao coeficiente de transmissão térmica do envidraçado, pelo que se deve optar por uma solução com baixo valor de U_w . Já o fator solar de um vidro, este é a razão entre a energia que o vidro deixa passar através dele e a energia solar incidente. Isto significa que quanto menor for esta razão, menor é a energia que o vidro deixa passar.

Para além destas propriedades há que ter em atenção o material de que a caixilharia é feita. Atualmente existem caixilharias de metal, PVC e madeira, sendo que esta última é a que tem melhores características térmicas.

Outra forma de melhorar a envolvente envidraçada, é a utilização de mais do que uma lâmina de vidro e um gás pesado com baixa condutividade térmica para se colocar entre as lâminas. Finalmente, há que ter em atenção as proteções solares, pois estas ajudam a evitar tantas perdas de calor no inverno e ganhos excessivos no verão.

Se se tiver em conta todas estas características na escolha de um vão envidraçado, pode-se conseguir que o edifício se torne muito mais eficiente pois haverá poupanças energéticas em termos de aquecimento e arrefecimento do local.

2.3.2.2.2. Estratégias Ativas

As estratégias ativas baseiam-se na otimização dos sistemas que existem dentro de um edifício, sejam estes iluminação, sistemas de climatização e de AQS. O objetivo é escolher equipamento e estratégias de climatização mais eficientes, com baixo consumo.

I. Sistema de Iluminação

Uma grande parcela de consumo num edifício de serviços é referente à iluminação, representando cerca de 20% dos seus consumos totais, estando diretamente relacionado com as necessidades em climatização.

Deste modo deve-se analisar as necessidades de cada compartimento do edifício, tendo em atenção tanto o tamanho do espaço e sua ocupação como a quantidade e tamanho de vãos envidraçados existentes nesse mesmo compartimento. Para que o nível de iluminância seja o correto e suficiente deve-se realizar estudos luminotécnicos para cada compartimento de um edifício para além de escolher instalar luminárias mais eficientes.

Atualmente, as luminárias mais eficientes são as de tecnologias LED pois têm baixo consumo e maior durabilidade, podendo ser utilizadas até 50000 horas. Por norma a sua potência também tende a ser bastante menor em comparação a luminárias tradicionais equivalentes.

Quando se utiliza luminárias mais eficientes, e por isso, de menor potência, a densidade (W/m^2) dentro de um compartimento diminui e isto terá efeitos na carga térmica necessária de aquecimento e arrefecimento desse mesmo compartimento.

II. Sistema de climatização

Em edifícios de serviço e comércio, o maior consumidor energético é o sistema de climatização. Para reduzir este consumo, deve-se optar por soluções mais eficientes com coeficientes de desempenho mais elevados.

Os termos *COP* (coeficiente de desempenho) e *EER* (rácio de eficiência energética) são indicadores da quantidade de capacidade de aquecimento e arrefecimento que um equipamento fornece em relação à energia elétrica que necessita para as gerar. Ou seja, quanto maior forem estes indicadores, melhor a performance do equipamento e mais eficiente este será.

Para tornar um edifício NZEB, existem soluções recomendadas, tal como descrito na Tabela 4. Estas soluções incluem também a ventilação dos edifícios. Esta pode ser realizado por forma natural, a partir de infiltrações ou de forma mecânica. É necessário ter em consideração que a ventilação além de renovar o ar no interior de um edifício e melhorar a sua qualidade também irá impactar os sistemas de climatização pois afeta a quantidade de energia térmica necessária para climatização dos compartimentos.

Tabela 4 – Soluções Recomendadas [17]

Tipo de Clima	Setor	Solução Recomendada
Climas Frios	Ventilação	Ventilação mecânica com recuperação de calor de, pelo menos, 85%
	Aquecimento Ambiente	Bomba de calor ou District Heating, quando disponível
Climas Quentes	Ventilação	Ventilação mecânica com recuperação de calor de, pelo menos, 85%
	Aquecimento Ambiente	Bomba de calor
	Arrefecimento Ambiente	Bomba de Calor

Existem vários tipos diferentes de tecnologias AVAC que podem ser utilizadas em edifícios, cada uma com as suas próprias características e benefícios únicos.

Os sistemas de ar forçado utilizam uma rede de condutas para distribuir ar aquecido ou arrefecido por um edifício. Estes sistemas podem ser alimentados por uma variedade de fontes de energia, incluindo gás natural, eletricidade e fontes de energia renovável, como a energia solar. Os sistemas de ar forçado são relativamente simples e baratos de instalar, e podem ser facilmente controlados e ajustados para manter uma temperatura interior confortável. Contudo, podem não ser tão eficientes em termos energéticos como alguns outros tipos de sistemas AVAC, uma vez que dependem do ar em circulação para transferir calor, o que pode resultar em perda de calor através das condutas [33].

Os sistemas de aquecimento e refrigeração radiantes utilizam uma rede de tubos ou painéis para transferir calor diretamente para as superfícies de um edifício, em vez de ar circulante. Os sistemas radiantes podem ser mais eficientes em termos energéticos do que os sistemas de ar forçado, uma vez que não dependem do ar em circulação para transferir calor e não sofrem perdas de calor através das condutas. No entanto, a sua instalação e manutenção podem ser mais complexas e dispendiosas do que os sistemas de ar forçado [33].

Os sistemas geotérmicos utilizam a temperatura subterrânea constante da Terra para aquecer e arrefecer um edifício, utilizando uma rede de condutas subterrâneas para trocar calor com o solo. Estes sistemas são altamente eficientes em termos energéticos, pois aproveitam a temperatura estável do subsolo para aquecer e arrefecer um edifício, e não dependem de combustíveis fósseis. Contudo, podem ser mais complexos e dispendiosos de instalar e manter do que outros tipos de sistemas AVAC, uma vez que requerem uma rede de condutas subterrâneas e podem não ser adequados para todos os locais de construção [33].

O arrefecimento evaporativo é uma técnica de arrefecimento que utiliza o processo natural de evaporação para arrefecer o ar [34]. Este método funciona passando ar quente e seco sobre uma superfície húmida, tal como uma almofada molhada ou um spray de água, que provoca a evaporação da água. À medida que a água evapora, absorve o calor do ar, resultando em ar arrefecido. O ar arrefecido é então circulado através do edifício utilizando convecção natural ou ventiladores.

O arrefecimento evaporativo é mais eficaz em climas secos e quentes, pois o ar deve estar seco para que o processo de evaporação seja eficaz. É também mais eficiente em termos energéticos do que os sistemas tradicionais de ar condicionado, uma vez que utiliza menos energia para funcionar.

III. Sistema de AQS

Os sistemas de AQS (aquecimento de águas sanitárias) são um sistema que não costuma ter muito ênfase nos custos energéticos de um edifício. Contudo, para que se consiga obter um edifício NZEB é necessário ter em atenção a componente renovável que um edifício utiliza.

Desta forma deve-se aplicar sistemas solares térmicos para a produção da água quente sanitária e usar ter um apoio idêntico ao do sistema de aquecimento referido anteriormente.

Portugal é um país com bastante radiação solar, o que o torna perfeito para a aplicação de painéis solares térmicos. Atualmente, instalar este tipo de sistemas é mais económico e utilizado tanto a nível doméstico como não doméstico.

Os sistemas solares térmicos podem ser classificados em passivos ou ativos, consoante o circuito ser aberto ou fechado.

O sistema passivo ou por termossifão (Figura 15) assenta na circulação de um fluido consoante a sua temperatura. O fluido quente irá entrar para o depósito de acumulação (acoplado ao painel solar) onde haverá trocas de calor com a água fria existente nesse depósito, aquecendo-se. De seguida, o fluido irá voltar ao painel solar para reaquecer e reiniciar o ciclo. Este género de sistema é aconselhável para aquecimento de pequenos volumes de água pois são altamente económicos.

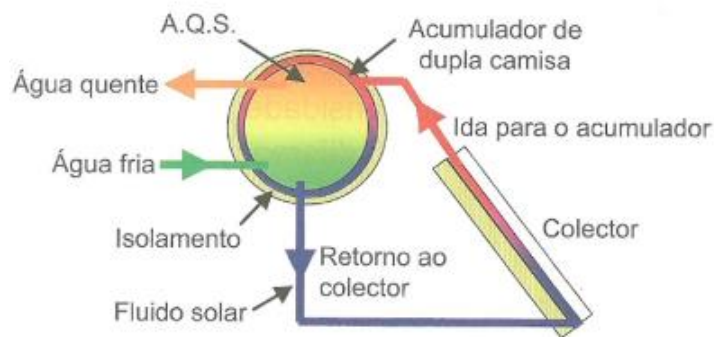


Figura 15- Sistema Termossifão^a

^aFonte: Site enat.pt [35]

O sistema ativo ou de circulação forçada (Figura 16) é utilizado com a colocação de depósitos de acumulação não é possível por cima dos coletores solares ou mesmo quando se necessita de aquecer grandes volumes de água. Neste sistema é necessário utilizar bombas circuladoras para movimentar o fluido térmico. Este sistema tende a ser custoso, mas costuma ser o mais indicado para grandes edifícios de serviço e comércio.

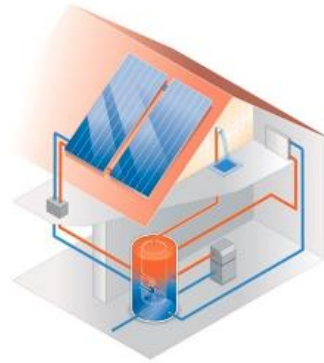


Figura 16- Sistema circulação forçada³

³Fonte: Site enat.pt [35]

IV. Sistemas de Produção de Energia Elétrica Renovável

Os sistemas de produção de energia elétrica renovável englobam os sistemas solares fotovoltaicos, sistemas eólicos, mini-hídricas e sistemas de co-geração. Os sistemas mais típicos para um edifício de serviços e comércio será um sistema PV, sendo que pode ser instalado na envolvente horizontal do mesmo.

Os sistemas solares fotovoltaicos transformam radiação solar em energia elétrica e são essencialmente constituídos por módulos fotovoltaicos, inversores, cabos solares e baterias de armazenamento. Com a instalação de um sistema PV, um edifício pode reduzir drasticamente o consumo de eletricidade da rede e tornar-se independente energeticamente.

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos: sistema com ligação à rede e sistema sem ligação à rede. No primeiro tipo de sistema, a energia elétrica produzida pelos módulos fotovoltaicos que não é utilizada no edifício é injetada na rede e no segundo tipo de sistema, a energia elétrica é utilizada diretamente no edifício ou acumulada em baterias e utilizada em horário fora das horas de produção.

V. Sistemas de Automatização e Controlo de um Edifício

A obrigatoriedade de descarbonização levou ao desenvolvimento de sistemas de análise de energia. Os *SACE*, como definido no DL n.º 101-D/2020, são sistemas que englobam todos os produtos, programas informáticos e serviços de engenharia suscetíveis de contribuir para o funcionamento económico, seguro e eficiente do ponto de vista energético do sistema técnico do edifício através de comandos automáticos e de uma gestão manual mais fácil.

Isto significa que se está a caminhar para o desenvolvimento de edifícios inteligentes, nos quais seja possível analisar valores instantâneos de consumos de energia e de produção térmica dos equipamentos instalados. Com este género de ferramentas é fácil ajustar horários de funcionamento de equipamentos de climatização, ajustar set-points ou mesmo verificar se as potências instaladas estão ajustadas às necessidades térmicas dos edifícios.

Com a implementação de sistemas SACE e a integração de todos os sistemas de utilização de energia de um edifício, será possível a gestão centralizada de uma instalação e obter o nível máximo de eficiência energética.

3. CASO DE ESTUDO

O presente caso de estudo teve por base a certificação energética efetuada a uma Residência de Estudantes pertencente ao Instituto Politécnico de Leiria, no âmbito de uma candidatura de financiamento à implementação de medidas de eficiência energética em edifícios de serviços inserida no Plano de Recuperação e Resiliência (*PRR – investimento TC-C13-i03*), que impõe uma meta de redução de pelo menos 30% do consumo de energia primária.

A certificação energética necessária àquela candidatura foi realizada durante o desenvolvimento desta dissertação e acompanhada por um Perito Qualificado independente. As intervenções de campo foram realizadas em Março de 2023.

3.1. Metodologia Aplicada

Tendo como objetivo obter toda a informação existente do edifício e assegurar o maior rigor possível, foi solicitado ao cliente a documentação necessária e disponível, nomeadamente:

- I. Projeto de arquitetura;
- II. Projeto de AVAC;
- III. Memórias descritivas dos sistemas e manuais das características dos equipamentos;
- IV. Faturas de consumo de eletricidade e combustíveis fósseis;
- V. Relatório de auditoria e/ou certificação energética anterior.

De seguida, procedeu-se à intervenção de campo, onde se pôde fazer um levantamento das condições de utilização de energia, de forma pormenorizada, nomeadamente:

- I. Levantamento dos dados gerais de edifício, incluindo regime de funcionamento e ocupação;
- II. Caracterização da envolvente opaca e envidraçada;
- III. Levantamento das características dos principais equipamentos integrados nos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação.;
- IV. Levantamento das características dos principais equipamentos integrados nos sistemas de águas quentes sanitárias (AQS);
- V. Levantamento das características dos principais equipamentos integrados nos sistemas de bombagem existente;
- VI. Levantamento do tipo de lâmpadas e balastos existentes e respetivas potências para a totalidade dos espaços do edifício;
- VII. Avaliação dos perfis de funcionamento e densidades dos espaços.

Após o levantamento de toda a informação e o estudo da mesma, procedeu-se à simulação energética computacional do edifício, onde se criou um modelo geométrico de simulação do

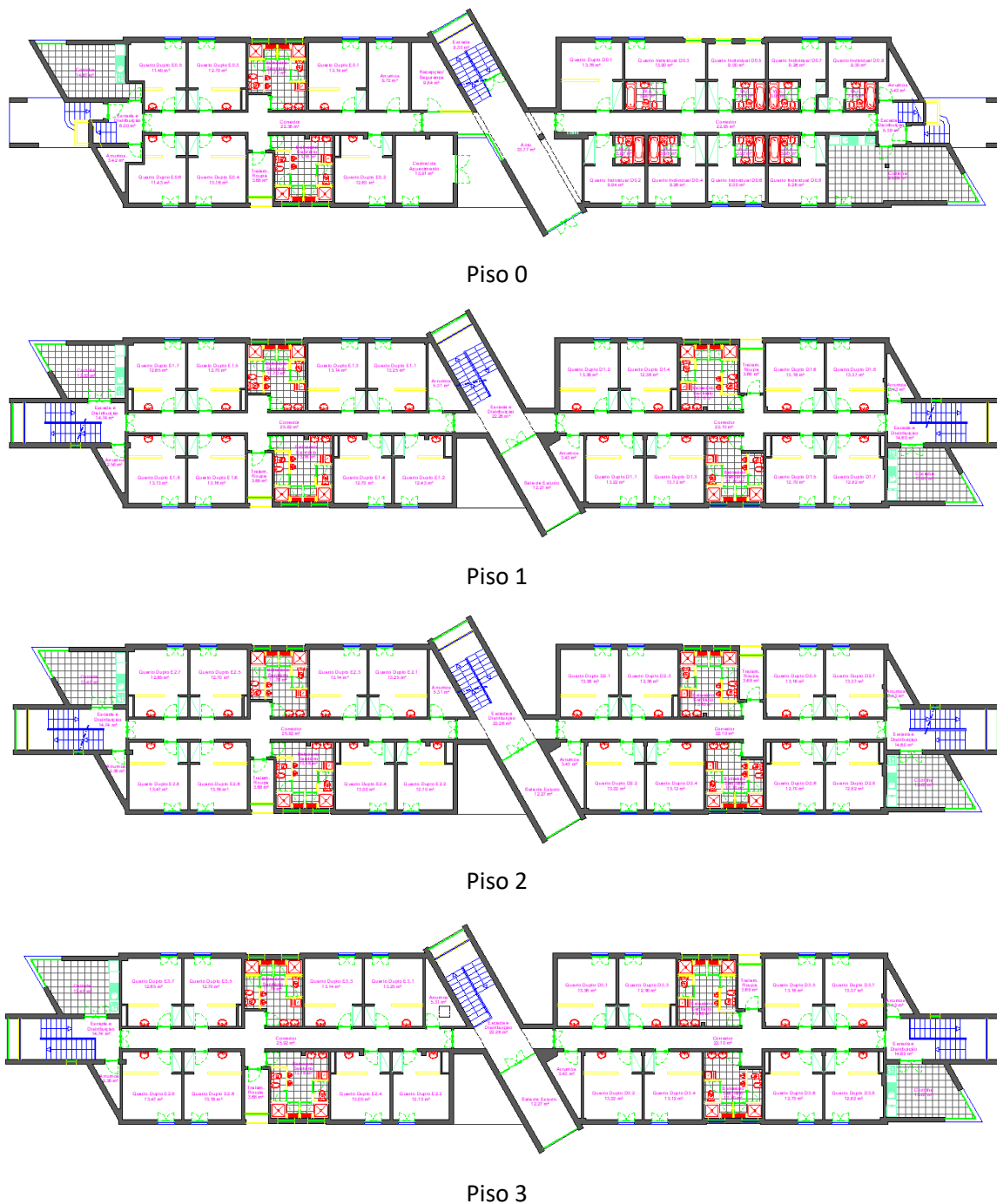


Figura 18 – Plantas dos pisos (cont.)

Em termos de classificação por tipologia de utilização conforme o DL n.º 101-D/2020, o edifício divide-se pelas tipologias enumeradas na Tabela 5.

Tabela 5 – Tipologias de Espaços

Tipologia	Área	Pé-direito médio
Residência de Estudantes	1 366,76	2,94
Escritórios	459,83	2,45
Sala de Servidores	33,77	2,5
Armazéns	145	2,9
Zonas Técnicas	24,12	2,83

Pela análise da informação anterior, a área total do edifício perfaz os 2 029,5 m², sendo que a tipologia predominante é Residência de Estudantes, seguindo-se de Escritórios. As restantes tipologias são classificadas com zonas não úteis, de acordo com o Decreto-Lei atual.

3.2.1. Dados Climáticos

O Bloco D, situa-se em Leiria, a uma altitude de 59 metros.

Para se proceder à determinação das zonas climáticas onde o edifício está inserido, utilizou-se o ficheiro disponibilizado pela LNEG, denominado por CLIMAS SCE. A Tabela 6 resume a informação retirada deste ficheiro excel.

Tabela 6 – Dados Climáticos

	Local Referência	Local de Estudo
NUTS III		Pinhal Litoral
Altitude	126	59
Número Graus-dias de aquecimento (°C dias)	1 323	1 196
Duração da estação de aquecimento (meses)	6,6	6,6
Temperatura exterior média de Inverno	9,6	9,9
Zona Climática de Inverno		I1
Temperatura exterior média de Verão	20,1	20,2
Zona Climática de Verão		V2

3.2.2. Soluções Construtivas

A Portaria nº 138-I/2021 [37], publicada em 1 de julho, estabelece valores máximos para os coeficientes de transmissão térmica (U) da envolvente interior e exterior, opaca e não opaca, a cumprir em novas edificações e intervenções em edifícios existentes. Adicionalmente, o Despacho n.º 6476-H/2021 [38] define limites máximos e de referência para o fator solar (g) dos envidraçados exteriores. Esses requisitos têm como objetivo fornecer diretrizes e padrões técnicos para o setor

da construção civil, visando a melhoria da eficiência energética das edificações, quer novas, quer quando submetidas a renovações. Uma vez que o edifício em estudo se trata de um edifício existente, a caracterização térmica da envolvente teve por base as plantas arquitetónicas disponibilizadas pelo cliente e, na ausência de melhor informação, tomam como referência a publicação do LNEC "ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios".

Face quer à dificuldade em identificar as PTP (*Pontes Térmicas Planas*) e as PTL (*Pontes Térmicas Lineares*), por um lado, e, por outro, às limitações dos programas de simulação energética, na parametrização das pontes térmicas lineares e pontes térmicas planas, foram consideradas as simplificações previstas no Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho. Noutras palavras, o coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior foi majorado em 35% e aos consumos de energia para aquecimento ambiente foi considerado um acréscimo de 5%.

3.2.2.1. Envolvente Opaca

Durante a visita de campo foi confirmado o levantamento arquitetónico do edifício que foi disponibilizado pelo cliente.

Na Tabela 7 realiza-se a caracterização construtiva dos vários elementos opacos e a Figura 20 realça os pormenores construtivos. O cálculo do coeficiente de transmissão térmica de cada elemento opaco encontra-se no APÊNDICE A e algumas evidências encontram-se no ANEXO A.

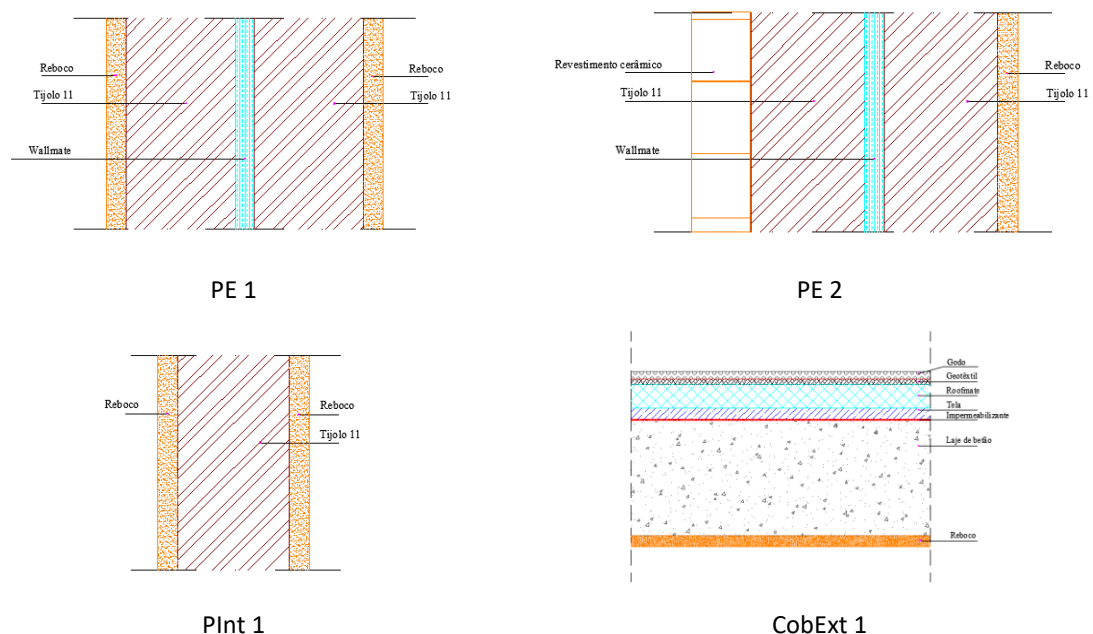


Figura 19 – Pormenores Construtivos

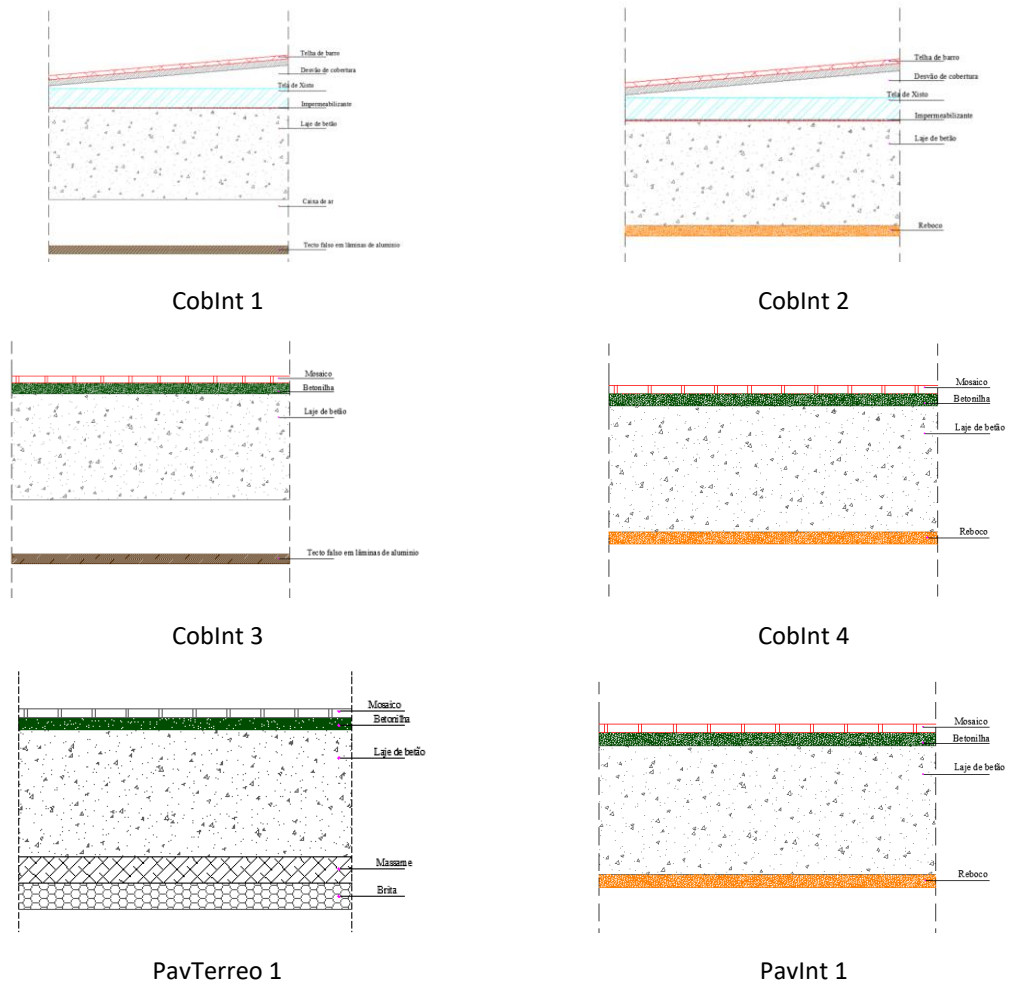


Figura 20 – Pormenores Construtivos (cont.)

Tabela 7 – Caracterização da envolvente opaca

Tipologia de Envolvente	Elemento	Tipo de Elemento	Área	$U_{\text{solução}}$	$U_{\text{referência}}$	$U_{\text{máx}}^1$
				[W/m ² .°C]	[W/m ² .°C]	[W/m ² .°C]
Envolvente Exterior	PE 1	Parede Exterior	824,3	0,65	0,7	0,7
	PE 2	Parede Exterior	631,2	0,62	0,7	0,7
	CobExt 1	Cobertura Exterior	101,5	0,71	0,5	0,5
	PavExt 1	Pavimento Exterior	18,7	3,1	0,5	0,5
Envolvente Interior	PInt 1	Parede Interior	311,8	1,83	0,7	0,7
	CobInt 1	Cobertura Interior	97,8	2,07	0,5	0,5
	CobInt 2	Cobertura Interior	214,9	3,02	0,5	0,5
	CobInt 3	Cobertura Interior	9	1,94	0,5	0,5
	CobInt 4	Cobertura Interior	6,3	2,76	0,5	0,5
	PavInt 1	Pavimento Interior	101,7	2,76	0,5	0,5
Envolvente em contacto com o solo	PavTerreo 1	Pavimento em contacto com o solo	326	2,22	n.a.	n.a.
	PEnt 1	Parede em contacto com o solo	311,8	2,49	n.a.	n.a.

Pela análise da tabela anterior pode-se concluir que, em termos de qualidade térmica:

- As paredes exteriores apresentam uma qualidade térmica minimamente adequada;
- A cobertura exterior apresenta uma qualidade térmica razoável, ainda que com um valor de U 40% acima do valor recomendável;
- O pavimento sobre o exterior, bem como a generalidade da envolvente interior uma fraca, senão muito fraca, qualidade térmica.

3.2.2.2. Envolvente Envidraçada

Para os vãos envidraçados exteriores e respetivos dispositivos de proteção solar, tendo em conta os levantamentos efetuados no local, consideraram-se as soluções descritas na Tabela 8.

¹ No caso da envolvente exterior, o requisito é aplicável apenas quando em contacto com espaços não úteis com elevada influência do exterior ($b_{z_{tu}} > 0,7$)

Os vãos envidraçados do edifício são todos vãos simples verticais exterior constituídos por caixilharia metálica, sem corte térmico, de abertura fixa, giratório ou de correr, sem classificação de permeabilidade ao ar, preenchidas por vidro duplo incolor com 4mm + Incolor 4 a 8mm com caixa de ar de 10 mm. Dependendo da sua localização possuem sistema de oclusão e proteção solar, nomeadamente persianas exteriores de réguas plásticas de cor clara, estores venezianos exteriores de lâminas metálicas de cor verde-escura, cortina interior ligeiramente transparente de cor clara.

Na ausência de melhor informação, a caracterização térmica quer do coeficiente de transmissão térmica quer do fator solar, toma como referência as publicações do LNEC "ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios" e o Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho, sendo que quando se trata de vãos envidraçados em quartos se aplicou os dispositivos de oclusão noturna para correção do respetivo coeficiente de transmissão térmica. No ANEXO B apresentam-se algumas evidências da envolvente envidraçada.

Tabela 8 – Caracterização da envolvente envidraçada

Elemento	Área	U solução	U referência	U máx	Fator Solar		
		[W/m ² .°C]	[W/m ² .°C]	[W/m ² .°C]	g vidro	g vão	g tot, máx
VE 1	33,6	4,3	4,3		0,78	0,04	
VE 2	2,4	4,1	4,3		0,78	0,02	
VE 3	77,28	3,7	4,3		0,78	0,09	
VE 4	13,2	4,1	4,3	3,3	0,78	0,09	0,56
VE 5	30,94	4,1	4,3		0,78	0,78	
VE 6	142,8	3,5	4,3		0,78	0,04	
VE 7	89,34	3,7	4,3		0,78	0,78	

De igual modo, pela análise da informação disponível na tabela anterior, se pode aferir algumas conclusões. Apesar da envolvente envidraçada do edifício apresentar valores de referência do coeficiente de transmissão térmica, estes não vão de encontro aos requisitos colocados para os novos edifícios. Contudo, o fator solar dos vãos envidraçados é, na sua maioria, inferior ao fator solar máximo admissível dos vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares.

Em suma, pode concluir-se que o edifício apresenta uma razoável qualidade térmica de envolvente não opaca.

3.2.3. Sistemas Técnicos

Este subcapítulo dedica-se essencialmente a apresentar e caracterizar os sistemas consumidores de energia elétrica e energia térmica.

3.2.3.1. Iluminação

Aquando da visita de campo realizada em Março de 2023, foi realizado o levantamento do número de luminárias e lâmpadas em cada espaço do edifício. Este levantamento teve por objetivo caracterizar a tecnologia utilizada e a densidade de potência instalada em iluminação.

Na Tabela 9 apresenta-se um resumo dos equipamentos de iluminação instalados no edifício e as Figura 21 e Figura 22 apresentam a distribuição de quantidade de lâmpadas e potência por tipo de fonte de luz.

Tabela 9 – Levantamento de lâmpadas

Tipo	Potência Unitária [W]	Quantidade	Potência Total [kW]
Fluorescente Tubulares T8	18	298	7,55
	36	3	
	58	24	
	22	31	
Fluorescente Tubulares T5	15	61	0,92
Fluorescentes Compactas	11	148	2,68
	18	25	
	26	23	
Incandescentes	40	95	3,8
LED	20	1	0,07
	5	8	
	7	1	
Total	-	718	15

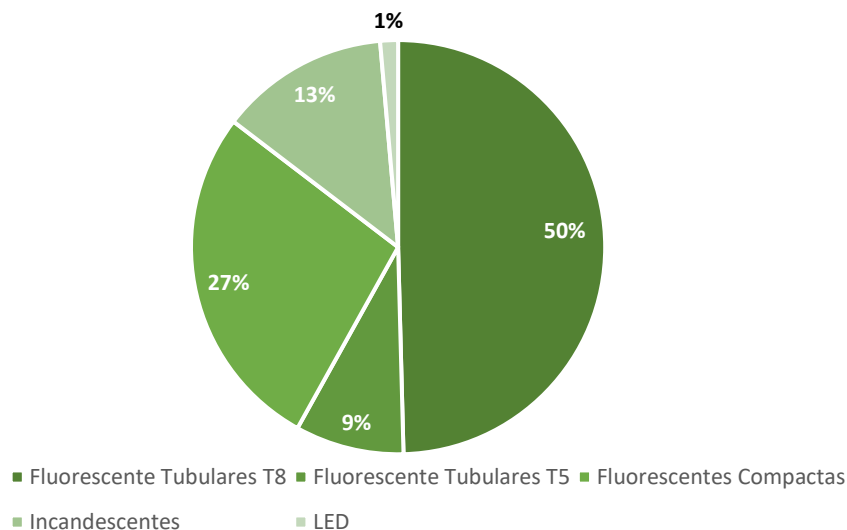


Figura 21 – Percentagem de número de lâmpadas por tipo

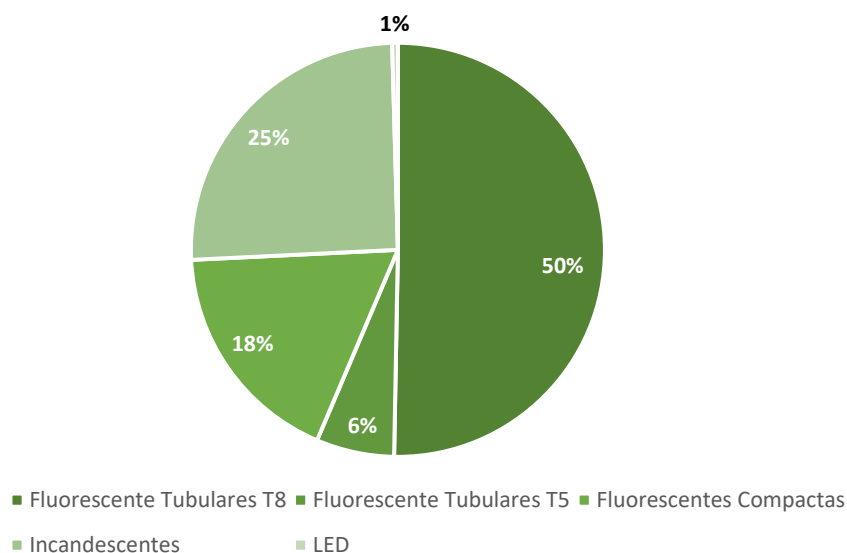


Figura 22 – Percentagem de potência por tipo de lâmpada

O controlo do horário de funcionamento da iluminação nos espaços é realizado manualmente, de forma local. O sistema de iluminação não possui recursos para regular o fluxo luminoso de acordo com a iluminação natural. A capacidade instalada de iluminação do edifício, distribuída nos 5 pisos, é de aproximadamente 15 kW.

Por forma a analisar as densidades de potência instalada em iluminação em cada local e realizar uma comparação com os valores máximos estabelecidos regulamentarmente para novas construções ou intervenções quando respeitados os fluxos luminosos (lux) recomendados, conforme o Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho, procedeu-se à divisão do edifício por zonas. A Tabela 10 apresenta os resultados desta análise.

Tabela 10 – Densidade de potência instalada

Zona	Tipo de Zona	Área [m ²]	DPI Inst [W/m ²]	DPI _{100 lx} Inst [W/m ²]	DPI _{100 lux,Max} [W/m ²]	Iluminância \bar{E}_m req [lx]
Z1	Corredores	253,27	9,14	9,14	2,1	100
Z2	Escritório individual 1-6 pessoas	50,18	13,95	2,79	1,5	500
Z3	Salas de reuniões, salas de conferências	17,88	12,08	2,42	1,5	500
Z4	Instalações sanitárias	28	7,68	3,84	2,1	200
Z5	Salas de reuniões, salas de conferências	26,85	13,41	2,68	1,5	500
Z6	Escritório individual 1-6 pessoas	16,05	13,46	2,69	1,5	500
Z7	Escritório individual 1-6 pessoas	34,41	12,55	2,51	1,5	500
Z8	Escritório individual 1-6 pessoas	33,19	2,17	0,43	1,5	500
Z9	Salas de refeições (exceto restaurantes)	55,22	5,18	2,59	2,3	200
Z10	Quartos	257,25	4,90	2,45	2,3	200
Z11	Hall/entradas	9,84	5,49	2,74	2,1	200
Z12	Quartos	67,74	3,14	1,57	2,3	200
Z13	Quartos	49,41	5,71	2,85	2,3	200
Z14	Escadas	49,18	10,57	10,57	2,1	100
Z15	Escadas	50,22	10,35	10,35	2,1	100
Z16	Quartos	51,5	4,27	2,14	2,3	200
Z17	Quartos	91,34	4,22	2,11	2,3	200
Z18	Arrecadações e outros locais de armazenagem	14,72	9,78	9,78	2,1	100
Z19	Quartos	12,63	4,35	2,18	2,3	200
Z20	Instalações sanitárias	86,28	7,90	3,95	2,1	200
Z21	Instalações sanitárias	87,74	8,02	4,01	2,1	200
Z22	Quartos	36,63	4,50	2,25	2,3	200
Z23	Escadas	156,15	3,92	3,92	2,1	100
Z24	Salas de trabalho de apoio	36,81	11,74	3,91	1,5	300
Z25	Quartos	39,66	4,16	2,08	2,3	200
Z26	Quartos	9,94	11,77	5,89	2,3	200
Z27	Quartos	143,44	5,90	2,95	2,3	200
Z28	Cozinhas	68,95	5,74	1,15	2,1	500
Z29	Arrecadações e outros locais de armazenagem	11,04	9,78	9,78	2,1	100
Z30	Quartos	39,75	4,15	2,08	2,3	200
ZC1	Arrecadações e outros locais de armazenagem	33,77	12,79	12,79	2,1	100
ZC2	Arrecadações e outros locais de armazenagem	145	10,54	10,54	2,1	100
ZC3	Arrecadações e outros locais de armazenagem	24,12	7,79	7,79	2,1	100

Pela análise da tabela anterior, conclui-se que a densidade de potência de iluminação instalada em cada zona não cumpre com a iluminância recomendada para edifícios novos, apresentando, em

média ponderada à área, um valor 55% superior ao valor estabelecido, quando cumprido o valor de iluminância (\bar{E}) recomendada.

No ANEXO C apresentam-se algumas evidências da tecnologia de iluminação instalada.

3.2.3.2. Sistemas de Climatização

No edifício de estudo existe uma central térmica com equipamentos de climatização centralizada responsáveis pelo aquecimento ambiente. O sistema de climatização centralizado é constituído por duas caldeiras, que utilizam gás natural, que fornecem água quente a radiadores. Aquando do levantamento, verificou-se que apenas uma caldeira se encontra em funcionamento. A Tabela 11 apresenta as características do sistema. De notar que a eficiência dos equipamentos foi afetada com um fator de idade pressuposto no Despacho n.º 6476-H/2021.

A temperatura ambiente dos quartos e demais espaços residenciais é regulada por radiadores alimentados com água quente produzida pelas caldeiras. O controlo da temperatura é realizado manualmente através de válvulas termostáticas que ajustam o fluxo de água que circula no interior do radiador e, conseqüentemente, a quantidade de calor dissipada no ambiente.

Tabela 11 – Sistema de climatização centralizada

Tipo de Equipamento	Marca / Modelo	Nº Unidades Iguais	Ano	Potência Nominal [kW]	Potência Útil [kW]	Rend. [%]	Rend. Ref. [%]	Rend. Min. [%]
Caldeira	Roca / G100/110 IE	2	1998	137,5	126	87,05	89	82

Com a análise da tabela anterior, pode-se concluir que a eficiência do equipamento não vai de encontro ao valor tabelado de referência. Contudo, a norma de Ecodesign obriga a que todas as caldeiras tenham uma qualificação como mínimo de B, a qual corresponde a um rendimento de 82%, pelo que este equipamento cumpre o requisito mínimo.

A climatização do piso -1, nomeadamente gabinetes e zonas técnicas é assegurada por sistemas autónomos de climatização que têm a capacidade de aquecimento e arrefecimento ambiente dos espaços que servem. A sala de bastidores tem um sistema instalado de arrefecimento permanente. A insuflação é efetuada através de condutas de ventilação colocadas debaixo do pavimento, de forma ascendente e através de grelhas de ventilação colocadas ao nível do pavimento. A Tabela 12 apresenta as características do sistema. De notar que a eficiência dos equipamentos foi afetada com um fator de idade pressuposto no Despacho n.º 6476-H/2021.

Sempre que possível, foram apresentados os coeficientes de desempenho sazonal de arrefecimento (SEER) e de aquecimento (SCOP).

Tabela 12 – Sistema de climatização autónoma

Tipo de Equipamento	Marca / Modelo	Nº Unidades Iguais	Ano	Fluido Refrigerígeno	Pot. Arref. [kW]	Pot. Aquec. [kW]	EER	SEER	COP	SCOP
Split 1	LG / PM07SP NSJ	1	-	R410A	2,1	2,3	2,38	-	2,38	-
Split 2	LG / PC12SQ NSJ	1	-	R32	3,5	4	-	6,27	-	3,80
Split 3	Samsung / AQ24TSBN	2	-	R410A	6,8	7	2,67	-	2,67	-
Split 4	Samsung / MH26ZAI-07	1	-	n.d.	2,05	1,9	1,57	-	1,49	-
Close Control	Stulz / CCD 351 A	1	2005	R407C	n.d.	n.d.	2,25	-	n.a.	-
Split 5	Daitsu / DS09KDA	2	2020	R32	2,7	2,8	-	6,46	-	3,04
Split 6	Baxi / LSGNW35	1	2019	R32	3,6	3,7	-	5,87	-	4,01

A norma de Ecodesign apresenta os requisitos mínimos para a eficiência mínima dos aparelhos de ar condicionado, os quais estão apresentados na Tabela 13. Com a exceção dos equipamentos dos equipamentos da marca Daitsu, Baxi e LG (especificamente o modelo PC12SQ NSJ), todos possuem fluido refrigerígeno de alto potencial de aquecimento global (PAG). De acordo com os valores tabelados na norma Ecodesign, pode-se concluir que os equipamentos de baixo PAG cumprem os requisitos mínimos para a eficiência energética. Em suma, apenas 50% dos equipamentos instalados apresentam uma adequada eficiência energética.

Tabela 13 – Requisitos para a eficiência energética mínima

Aparelhos de ar condicionado, com exceção dos de conduta simples e dos de conduta dupla		
	SEER	SCOP
PAG do refrigerante >150 para < 6 kW	4,6	3,80
PAG do refrigerante ≤150 para < 6 kW	4,14	3,42
PAG do refrigerante >150 para 6 – 12 kW	4,30	3,80
PAG do refrigerante ≤150 para 6 – 12 kW	3,87	3,42

3.2.3.3. Sistemas de AQS

A produção de água quente sanitária é assegurada pelo mesmo sistema responsável pela climatização centralizada. A água quente produzida para AQS é armazenada em depósitos de acumulação.

Tabela 14 – Sistema de AQS

Tipo de Equipamento	Marca / Modelo	Nº Unidades Iguais	Ano	Potência Nominal [kW]	Potência Útil [kW]	Rend. [%]	Rend. Ref. [%]	Rend. Min. [%]
Caldeira	Roca / G100/110 IE	2	1998	137,5	126	87,05	89	82

Com a análise da tabela anterior, pode-se concluir que a eficiência do equipamento não vai de encontro ao valor tabelado de referência. Contudo, a norma de Ecodesign obriga a que todas as caldeiras tenham uma qualificação como mínimo de B, a qual corresponde a um rendimento de 82%, pelo que este equipamento cumpre o requisito mínimo.

3.2.3.4. Energias Renováveis

O edifício de estudo está dotado de um sistema solar térmico para produção de águas quentes sanitárias, contudo este encontra-se atualmente desativado e obsoleto e como tal, desconsiderado. Ainda assim, na Tabela 15 apresentam-se as características do sistema existente.

Tabela 15 – Sistema solar térmico

Tipo de Equipamento	Marca / Modelo	Nº Unidades Iguais	Superfície Total [m ²]	Dimensões [mm]	Capacidade [l]	Pressão de Trabalho [bar]
Coletor Solar	Baxi / Coletor Solar Plano	32	2,5	2104x1204x80	2,2	10

3.2.4. Zonamento Térmico

A aplicação da metodologia para a avaliação do Desempenho Energético de Edifícios (DEE) requer uma análise abrangente da caracterização do edifício em relação à sua utilização, às condições fronteiriças e ao levantamento dimensional.

Desta forma, e para efeitos deste estudo, foi necessário desenvolver um modelo arquitetónico que consiste numa descrição detalhada da geometria do edifício, com base nas plantas, alçados e cortes fornecidos, juntamente com informações obtidas durante a intervenção de campo.

Neste sentido, foi realizada uma caracterização dimensional das superfícies de transferência energética, incluindo paredes, pavimentos, coberturas e vãos envidraçados que delimitam o edifício em relação ao exterior. Além disso, também se considerou a presença de elementos arquitetónicos que podem causar sombreamento, afetando os ganhos de radiação nos

envidraçados. A proximidade com o solo, quando aplicável, também foi levada em consideração, assim como a orientação geográfica do edifício.

Para facilitar a análise técnica do edifício, tanto em termos de simulação dinâmica energética quanto de análise de sistemas, foi necessário realizar um processo de zonamento, que consiste em agrupar os diferentes espaços do edifício.

No caso específico do edifício em estudo, este foi subdividido em 33 zonas, sendo que 3 delas são classificadas como zonas complementares. Este zonamento térmico tomou em consideração as heterogeneidades relacionadas à função, utilização e disposição dos espaços independentes. O zonamento foi realizado tendo em conta as seguintes diretrizes:

- I. Separar zonas climatizadas de não climatizadas;
- II. Separar zonas servidas por sistemas distintos;
- III. Separar as diferentes orientações solares;
- IV. Caracterização e definição dos espaços não úteis;
- V. Separar zonas de uso ou condições manifestamente distintas;
- VI. Usar preferencialmente barreiras físicas para a partição de zonas;
- VII. Dimensões dos elementos de sombreamento e sua localização.

A Figura 23 demonstra o zonamento do Bloco D, com a indicação em cor laranja.

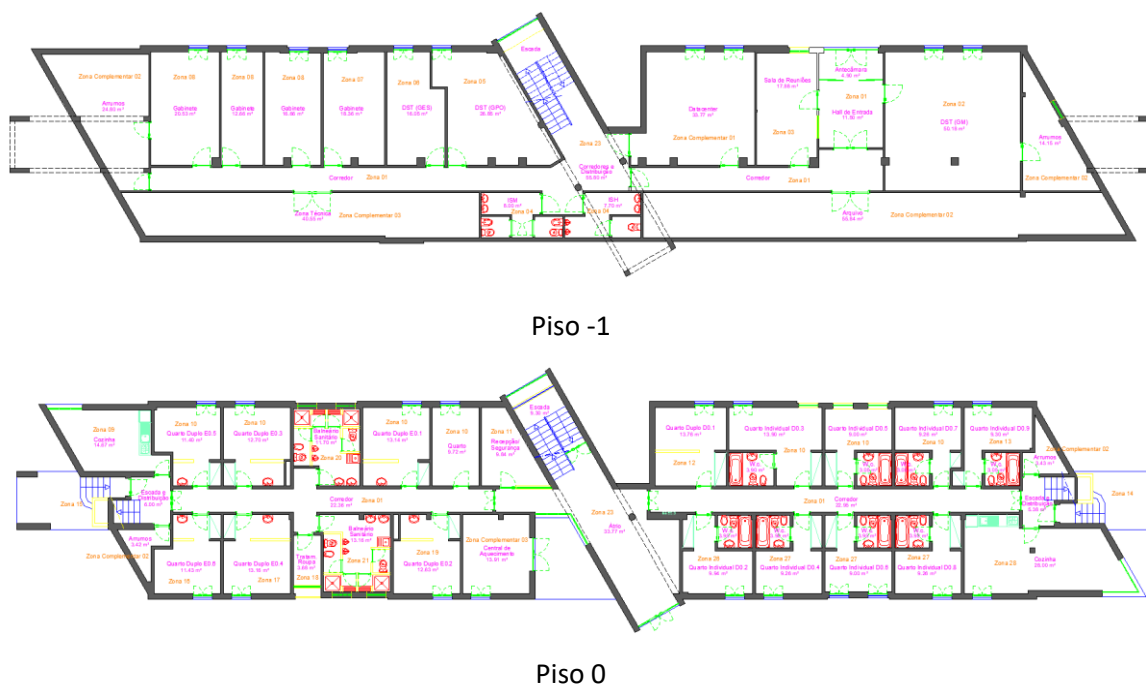


Figura 23 – Zonamento Térmico

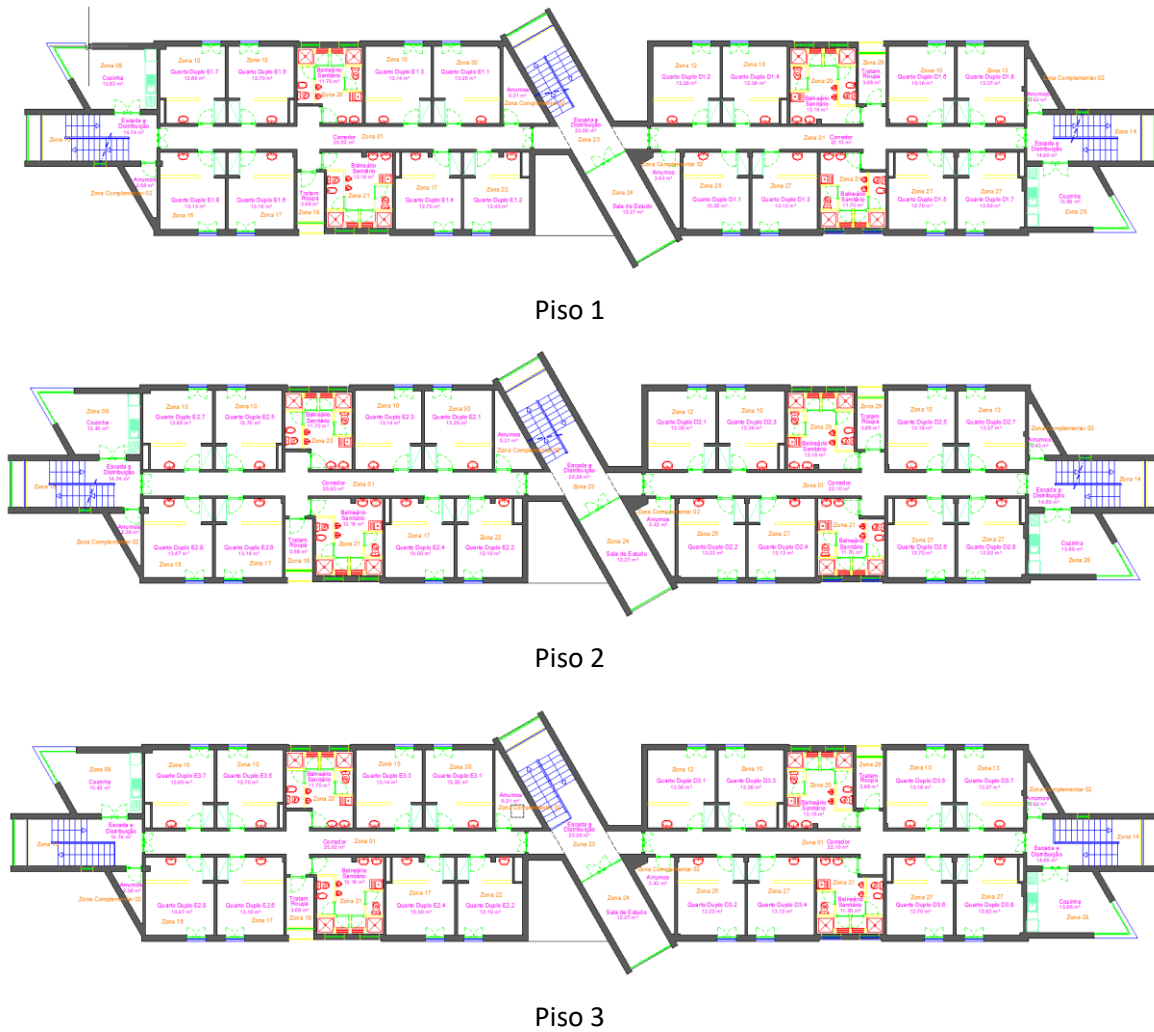


Figura 24 – Zonamento Térmico (cont.)

Ao seguir as diretrizes enunciadas anteriormente, foi possível estabelecer um zonamento que facilitou a análise técnica do edifício, permitindo uma compreensão mais detalhada de suas características e sistemas.

Na Tabela 16 realiza-se a caracterização síntese resultante do zonamento efetuado anteriormente, dando foco à tipologia de espaços (anteriormente referida na Tabela 5), à ocupação esperada, à densidade de potência de iluminação instalada (anteriormente referida na Tabela 10) e aos sistemas de climatização existentes.

Tabela 16 – Quadro síntese Zonamento Térmico

Zona	Tipologia Espaços	Área [m ²]	Pé Direito [m]	Ocupação [Qtd.]	DPI _{100 lx} Inst [W/m ²]	Densidade Equipamentos [W/m ²]	Climatização
Z1	Escritórios	253,27	2,33	0	9,14	1,58	-
Z2	Escritórios	50,18	2,5	5	2,79	9,96	Split 2
Z3	Escritórios	17,88	2,5	6	2,42	3,08	Split 1
Z4	Escritórios	28	2,46	0	3,84	0,00	-
Z5	Escritórios	26,85	2,4	10	2,68	52,14	Split 5
Z6	Escritórios	16,05	2,4	2	2,69	21,81	Split 5
Z7	Escritórios	34,41	2,5	4	2,51	55,22	Split 5
Z8	Escritórios	33,19	2,5	5	0,43	15,06	Split 6
Z9	Residências de estudantes	55,22	2,7	16	2,59	1499,46	Radiador
Z10	Residências de estudantes	257,25	2,6	39	2,45	7,58	Radiador
Z11	Residências de estudantes	9,84	2,6	1	2,74	0,00	Radiador
Z12	Residências de estudantes	67,74	2,52	8	1,57	6,72	Radiador
Z13	Residências de estudantes	49,41	1,9	7	2,85	7,08	Radiador
Z14	Residências de estudantes	49,18	2,7	0	10,57	0,00	-
Z15	Residências de estudantes	50,22	2,7	0	10,35	0,00	-
Z16	Residências de estudantes	51,5	2,6	8	2,14	7,77	Radiador
Z17	Residências de estudantes	91,34	2,6	14	2,11	7,66	Radiador
Z18	Residências de estudantes	14,72	2,55	0	9,78	855,98	-
Z19	Residências de estudantes	12,63	2,6	2	2,18	7,92	Radiador
Z20	Residências de estudantes	86,28	2,4	0	3,95	0,00	Radiador
Z21	Residências de estudantes	87,74	2,4	0	4,01	0,00	Radiador
Z22	Residências de estudantes	36,63	2,6	6	2,25	8,19	Radiador
Z23	Residências de estudantes	156,15	2,34	0	3,92	0,00	-
Z24	Residências de estudantes	36,81	2,7	12	3,91	0,00	-
Z25	Residências de estudantes	39,66	2,6	6	2,08	7,56	Radiador
Z26	Residências de estudantes	9,94	2,6	1	5,89	5,03	Radiador
Z27	Residências de estudantes	143,44	2,6	21	2,95	7,32	Radiador
Z28	Residências de estudantes	68,95	2,7	20	1,15	1200,87	Radiador
Z29	Residências de estudantes	11,04	2,5	0	9,78	1141,30	-
Z30	Residências de estudantes	39,75	2,6	6	2,08	7,55	Radiador
ZC1	Sala Servidores	33,77	2,5	0	12,79	177,67	2* Split 3 + split 4 + close control
ZC2	Armazéns	145	2,9	0	10,54	1,38	-
ZC3	Zonas técnicas	24,12	2,83	0	7,79	0,00	-

3.3. Caracterização Energética do Edifício

A ferramenta de simulação energética dinâmica utilizada foi o Hourly Analysis Program 5.11 (HAP) - Carrier, “software” conforma a norma ANSI/ASHRAE 140 - 2004, que estabelece procedimentos de avaliação ao desempenho de programas de simulação energética detalhada multizona.

O propósito da simulação consiste em desenvolver um modelo matemático que represente o mais fielmente possível o desempenho do edifício, com o intuito de auxiliar na identificação dos diferentes consumos energéticos associados a cada uso específico.

Tendo em conta as contagens de consumo energético do edifício e as faturas disponibilizadas pelo cliente, foi alocado ao Bloco D 28,9% de energia elétrica e 71% de energia térmica relativamente ao consumo global das Residências de Estudantes do IPL. A Tabela 17 apresenta o resumo dos consumos energéticos registados no ano de 2022, os respetivos custos e emissões de CO₂.

Assume-se que o modelo se encontra calibrado quando os valores dos consumos de energia obtidos por simulação energética dinâmica não apresentem um desvio superior a +/- 10% [39] do consumo energético faturado, referente à desagregação por utilização final. A Tabela 18 apresenta a validação da calibração do modelo de simulação.

Tabela 17 – Consumos e custos de energia, emissões de CO₂ e repartição do custo global de energia

Período Referência	Fontes de Energia	Consumo		Custo €	Emissões tCO ₂
		kWh	kWh _{EP}		
2022	Energia Elétrica	104 631	261 578	6 908	37,7
	Gás Natural	256 445	256 445	10 996	51,8
		361 076	518 023	17 904	89,5

Tabela 18 – Validação modelo de simulação

Forma de Energia	Simulação [kWh/ano]	Faturação [kWh/ano]	Desvio [%]
Eletricidade	109 022	104 631	-4,0%
Gás Natural	244 527	256 445	4,9%
Total	353 549	361 076	2,1%

3.3.1. Desagregação de Consumos por Principal Consumidor

Da simulação energética retirou-se a desagregação de consumos de energia por principal utilizador. A Tabela 19 e a Figura 25 apresentam um resumo desta desagregação, a qual teve por base os consumos reais.

Tabela 19 – Repartição dos consumos reais de energia pelos principais utilizadores

Setor	Eletricidade [kWh/ano]		Gás Natural [kWh/ano]		Energia Total [kWh/ano]	
AVAC	9 187	8,8%	17 679	6,9%	26 867	7,4%
Bombas	7 402	7,1%	0	0,0%	7 402	2,1%
Iluminação	24 118	23,1%	0	0,0%	24 118	6,7%
AQS	0	0,0%	238 766	93,1%	238 766	66,1%
Outros	63 924	61,1%	0	0,0%	63 924	17,7%
Total	104 631	100%	256 445	100%	361 076	100%

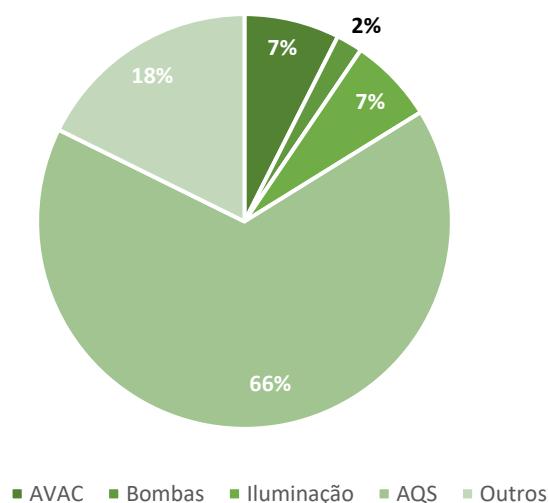


Figura 25 – Desagregação dos consumos totais reais de energia

De seguida apresenta-se a desagregação de consumos de energia por principal utilizador, tendo por base tanto os consumos previstos, como os de referência tal qual definidos no Despacho n.º 6476-H/2021, pese embora ser possível analisar os consumos energéticos previstos e de referência, de forma mais pormenorizada, no APÊNDICE B. Estes consumos são os que relevam para a Certificação Energética e para a classificação NZEB.

Por forma a visualizar as diferenças de consumos em todas as situações, apresenta-se a Figura 26.

Tabela 20 – Repartição de energia pelos principais utilizadores – Consumos Previstos

Setor	Eletricidade [kWh/ano]		Gás Natural [kWh/ano]		Energia Total [kWh/ano]	
	Consumo	%	Consumo	%	Consumo	%
AVAC	32 957	24,9%	44 011	16,2%	76 967	19,1%
Bombas	7 402	5,6%	0	0,0%	7 402	1,8%
Iluminação	23 882	18,1%	0	0,0%	23 882	5,9%
AQS	0	0,0%	227 670	83,8%	227 670	56,4%
Outros	68 022	51,4%	0	0,0%	68 022	16,8%
Total	132 263	100%	271 680	100%	403 944	100%

Tabela 21 – Repartição de energia pelos principais utilizadores – Consumos Referência

Setor	Eletricidade [kWh/ano]		Gás Natural [kWh/ano]		Energia Total [kWh/ano]	
AVAC	30 303	16,1%	8 148	3,4%	38 451	8,9%
Bombas	7 402	3,9%	0	0,0%	7 402	1,7%
Iluminação	16 046	8,5%	0	0,0%	16 046	3,7%
AQS	0	0,0%	234 423	96,6%	234 423	54,4%
Outros	134 831	71,5%		0,0%	134 831	31,3%
Total	188 582	100%	242 571	100%	431 153	100%

Energia Total [kWh/ano]

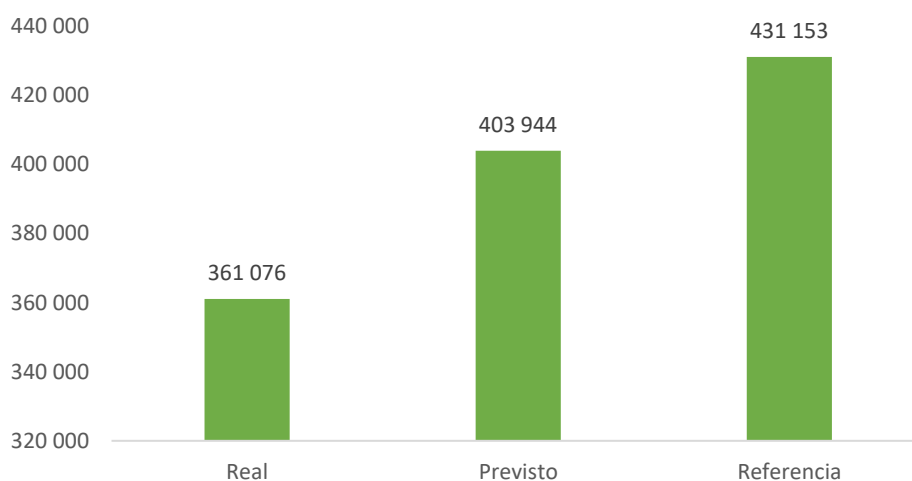


Figura 26 – Comparação de consumos energéticos

Importa, pois, salientar, que o consumo energético real é bem distinto daquele que o edifício apresentaria em condições nominais de funcionamento (Previsto). Tal realidade, não reflete numa melhor utilização de energia, antes que o edifício, porventura, não garante as condições de conforto quer em aquecimento quer em arrefecimentos, ao longo de todo o período de ocupação.

3.3.2. Classificação Energética

Com a calibração adequada do modelo, foi possível simular o desempenho do edifício para determinar o "consumo previsto", que representa uma estimativa do consumo anual de energia por unidade de área, em um ano típico de funcionamento. De seguida simulou-se o consumo de referência do edifício, segundo as condições de referência descritas no Despacho n.º 6476-H/2021.

Estes consumos encontram-se tabelados no APÊNDICE B.

Os consumos anuais de energia primária de um edifício podem ser classificados em função do seu uso: usos regulados (tipo S); usos não regulados (tipo T). É ainda contabilizado o contributo da energia proveniente de sistemas que recorrem a fontes de energia renovável e servem para autoconsumo (REN).

Os indicadores de eficiência energética (*IEE*) têm por base os consumos previstos e os consumos de referência e podem ser calculados segundo as equações (2) e (3).

$$IEE_{pr} = IEE_{pr,S} + IEE_{pr,T} - IEE_{pr,REN} \quad (2)$$

Em que:

IEE_{pr} – Indicador de eficiência energética previsto [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];

$IEE_{pr,S}$ – Indicador de eficiência energética previsto do tipo S [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];

$IEE_{pr,T}$ – Indicador de eficiência energética previsto do tipo T [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];

$IEE_{pr,REN}$ – Indicador de eficiência energética previsto renovável [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$].

$$IEE_{ref} = IEE_{ref,S} + IEE_{ref,T} \quad (3)$$

Em que:

IEE_{ref} – Indicador de eficiência energética de referência [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];

$IEE_{ref,S}$ – Indicador de eficiência energética de referência do tipo S [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];

$IEE_{ref,T}$ – Indicador de eficiência energética de referência do tipo T [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$].

Tendo por base as definições anteriores, os resultados de cada parcela podem ser verificados na Tabela 22. O rácio de classe energética (*RIEE*) é a conjugação dos indicadores descritos anteriormente, de acordo com a equação (4), e pode ser comprovada na Figura 27.

Tabela 22 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE_S	IEE_T	IEE_{REN}
Previsto	288,45	213,83	80,93	6,30
Referência	343,24	262,31	80,93	--

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,S} - IEE_{pr,REN}}{IEE_{ref,S}} \quad (4)$$

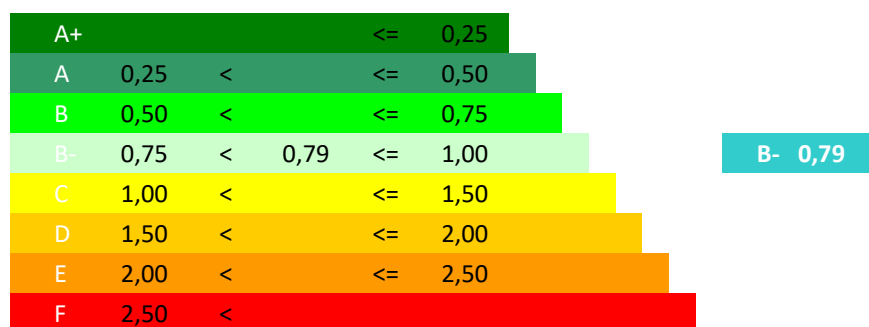


Figura 27 – Classe Energética

De acordo com a legislação em vigor, um edifício de serviços existente, deve apresentar uma classe energética igual ou superior a C e um edifício novo deve apresentar uma classe energética igual ou superior a B. Com isto em mente, pode-se concluir que o edifício de estudo cumpre com os requisitos mínimos que lhe são exigidos, mas, naturalmente, longe de cumprir o requisito NZEB.

Uma vez que o objetivo desta dissertação é a obtenção da classificação NZEB, a Tabela 23 apresenta o cumprimento dos requisitos àquela classificação, podendo-se concluir que o edifício, no seu estado atual, não atinge esta classificação.

Tabela 23 – Cumprimento Requisitos NZEB

Tipo de Requisito	Requisito	Valor	Cumprimento
Classe energética	$\geq A$	B-	Não Cumpre
Energia Primária Total	$R_{IEE} \leq 0,50$	0,79	Não Cumpre
Energia Primária Renovável	$RenC\&S \geq 0,5$	0,06	Não Cumpre
Energia Primária Fóssil	$IEE_{fóssil,S} \leq 0,75 \times IEE_{ref,S}$	$196,73 \leq 207,53$	Não Cumpre

Pela análise da tabela anterior, verifica-se a existência de uma componente renovável. Pese embora o sistema solar térmico se encontre desativado, os sistemas de climatização do tipo “bomba de calor” (Tabela 12) são responsáveis pela contabilização de uma parcela de energia renovável sempre que estes possuam uma eficiência superior a 2,5.

3.3.3. Medidas de Melhoria da Eficiência Energética

A reabilitação energética em edifícios existentes é um processo fundamental para melhorar a eficiência energética, reduzir o consumo de energia e diminuir as emissões de gases de efeito estufa. No entanto, esse tipo de empreendimento muitas vezes enfrenta diversos desafios e entraves que podem dificultar sua implementação.

Um dos principais entraves é a falta de conscientização e conhecimento por parte dos proprietários e gestores de edifícios sobre os benefícios da reabilitação energética. Muitos podem não estar cientes dos impactos positivos que essas medidas podem trazer, bem como das opções disponíveis para melhorar a eficiência energética de seus imóveis.

Além disso, a reabilitação energética geralmente requer investimentos significativos. Os custos iniciais podem ser altos, e nem todos os proprietários estão dispostos ou têm recursos financeiros para realizar as melhorias necessárias. A falta de incentivos financeiros adequados, como subsídios ou linhas de crédito especiais, também pode ser um entrave, pois dificulta o acesso a recursos para financiar as obras de reabilitação.

Outro desafio está relacionado com as características dos edifícios existentes. Muitas vezes, estas estruturas foram construídas seguindo padrões e normas antigos, o que pode dificultar a implementação de medidas eficientes do ponto de vista energético. Limitações físicas, como a falta de espaço para instalação de equipamentos ou a dificuldade de integração de sistemas modernos, também podem ser obstáculos. No caso particular do edifício em estudo, estes são o maior entrave à reabilitação energética.

Na Tabela 24 estão listadas um conjunto de medidas de melhoria com vista à redução de consumo energético e à classificação do edifício de estudo num edifício ZEB.

Uma primeira fase consiste em melhorar o envelope do edifício, seguido da melhoria dos sistemas técnicos existentes. Por último escolheram-se sistemas de produção de energia através de fontes renováveis.

Tabela 24 – Medidas de Melhoria estudadas

Tipologia Intervenção	Descrição
1. Aplicação de isolamento térmico em desvão de Cobertura	Aplicação de Isolamento em CobInt 2 (no desvão da cobertura), do tipo: Painel rígido de poliestireno extrudido, segundo EN 13164, de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de 100 mm de espessura, resistência à compressão ≥ 300 kPa, resistência térmica $2,85 \text{ m}^2\text{C/W}$, condutibilidade térmica $0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$, Euroclasse E de reação ao fogo segundo NP EN 13501-1, com código de designação XPS-EN 13164-T1-CS(10/Y)300-DS(70,90)-DLT(2)5-CC(2/1,5/50)125-WL(T)0,7-WD(V)3-FTCD1.
Envolvente Opaca 2. Intervenção para incorporação de soluções de arquitetura bioclimática – fachadas verdes	Jardim vertical com cultivo semihidropónico em geoprodutos, para exterior, com uma superfície maior de 120 m^2 ; composto de: SUBSTRUTURA SUPORTE: estrutura metálica de perfis de aço enformado em frio, fixado ao paramento suporte com ancoragens mecânicas com bucha de nylon e parafuso, de 5 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento, criando uma caixa de ar de 40 mm de espessura média; MEIO DE CULTIVO: módulo de geoproducto impermeabilizante, drenante e transpirável, formado por três camadas de material sintético e orgânico, flexível e de espessura reduzida (camada interior impermeabilizante, camada intermédia drenante e camada exterior transpirável), resistência à tração $5,2 \text{ kN/m}^2$, retenção de água de entre 2 e 4 l/m^2 , 49 bolsas com uma resistência ao rasgamento superior a $0,07 \text{ kN/ud}$ e com comportamento de reação ao fogo B-s2, d0, segundo ensaio Applus, segundo NP EN 13501-1; com perfil guia horizontal fixado à substrutura suporte com parafusos auto-roscantes com cabeça hexagonal de aço zincado com junta estanque, de 5,5 mm de diâmetro e 25 mm de comprimento; VEGETAÇÃO: espécies de plantas para exterior; com uma densidade de plantação de 42 ud/m^2 .

Envolvente Envidraçada	3. Substituição de janelas não eficientes por janelas eficientes, de classe energética igual a «A+»	Janela de alumínio, gama alta, com rutura de ponte térmica, duas folhas de batente, com abertura para o interior, acabamento lacado cor branca, com o selo QUALICOAT, que garante a espessura e a qualidade do processo de lacagem, composta de folha de 88 mm e aro de 80 mm, bites, rebaixo, juntas de estanquidade de EPDM, puxador e ferragens, segundo NP EN 14351-1; coeficiente de transmissão térmica do aro: $U_{h,m}$ = desde 1,3 W/(m ² °C); espessura máxima do envidraçado: 65 mm, com classificação à permeabilidade ao ar classe 4, segundo EN 12207, classificação à estanquidade à água classe E1950, segundo EN 12208, e classificação à resistência à carga do vento classe C5, segundo EN 12210, sem pré-aro e sem persiana. Vidro duplo LOW.S "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", LOW.S 4/6/6 Templa.lite Azur.lite cor azul, conjunto constituído por vidro exterior de baixa emissividade térmica LOW.S de 4 mm, câmara de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 6 mm, e vidro interior Templa.lite Azur.lite cor azul de 6 mm de espessura; 16 mm de espessura total, fixado sobre caixilharia com cunhagem através de calços de apoio perimetrais e laterais, vedação a frio com silicone Sikasil WS-305-N "SIKA", compatível com o material suporte.
	4. Substituição de Caldeiras por Equipamentos mais eficientes	Substituição do sistema de climatização existente, caldeiras por um sistema de climatização Caldeira de Condensação, mantendo as unidades interiores instaladas.
Sistemas Técnicos	5. Substituição de lâmpadas existentes por tecnologia LED	Substituição das lâmpadas instaladas por lâmpadas de tecnologia LED.
	6. Sistemas de Automação e Controlo do Edifício	Implementação de um Sistemas de Automação e Controlo do Edifício, com uma monitorização constante dos consumos de energia dos principais circuitos de energia elétrica.
	7. Instalação de sistemas de produção de energia elétrica para autoconsumo, através de fontes renováveis com e sem armazenamento de energia	Instalação de uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC), com recurso a um sistema fotovoltaico.
Energia Renovável	8. Substituição de sistema de produção de AQS de fonte renovável – Sistema Solar Térmico	Substituição de sistema de produção de AQS obsoleto por novas unidades.
	9. Instalação de uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC), com recurso a um sistema Eólico.	Instalação de uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC), com recurso a um sistema eólico.

I. Aplicação de isolamento térmico em Cobertura interior

Esta medida contempla o reforço de isolamento térmico no desvão da cobertura inclinada exterior (cobertura interior plana, do ponto de vista regulamentar), no plano horizontal em contacto com zonas úteis: Painel rígido de poliestireno extrudido, segundo EN 13164, de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de 100 mm de espessura, resistência à compressão ≥ 300 kPa, resistência térmica $2,85 \text{ m}^2\text{C/W}$, condutibilidade térmica $0,035 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$, Euroclasse E de reação ao fogo segundo NP EN 13501-1, com código de designação XPS-EN 13164-T1-CS(10/Y)300-DS(70,90)-DLT(2)5-CC(2/1,5/50)125-WL(T)0,7-WD(V)3-FTCD1.

Com a colocação do isolamento pelo plano horizontal interior da cobertura, o valor de coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) apresenta o valor de $0,31 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$.

Com a implementação desta medida, o valor de coeficiente de transmissão térmica, que inicialmente apresenta o valor de $3,02 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$, cumpre com o valores tabelados máximos no Despacho n.º 6476-H/2021 (valor de $0,5 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$) e com os de referência.

Na Tabela 25 apresenta-se o impacto da implementação desta medida de melhoria de eficiência energética.

Tabela 25 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Setor	Antes da Implementação [kWh/ano]		Após a Implementação [kWh/ano]	
Eletricidade	132 263	32,7%	136 259	34,4%
Gás Natural	271 680	67,3%	259 923	65,6%
Solar	0	0,0%	0	0,0%
Total	403 944	100%	396 182	100%

II. Intervenção para incorporação de soluções de arquitetura bioclimática – fachadas verdes

Esta medida contempla a instalação de jardim vertical com cultivo semihidropónico em geoprodutos, para exterior, com uma superfície maior de 120 m^2 . A Figura 28 demonstra o método estudado.

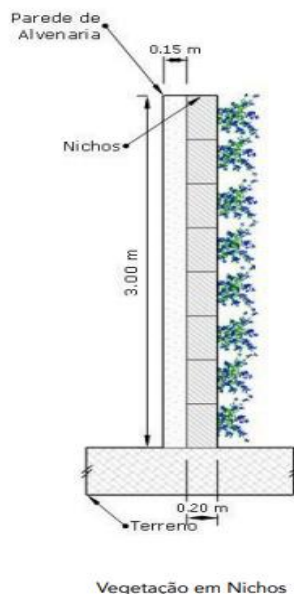


Figura 28 – Método de fixação de Vegetação)^a

^aFonte: Tese de Pedro Dias Boa Sorte [40]

O jardim vertical será composto de:

- **SUBSTRUTURA SUPORTE:** estrutura metálica de perfis de aço enformado em frio, fixado ao paramento suporte com ancoragens mecânicas com bucha de nylon e parafuso, de 5 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento, criando uma caixa de ar de 40 mm de espessura média;
- **MEIO DE CULTIVO:** módulo de geoproduto impermeabilizante, drenante e transpirável, formado por três camadas de material sintético e orgânico, flexível e de espessura reduzida (camada interior impermeabilizante, camada intermédia drenante e camada exterior transpirável), resistência à tração 5,2 kN/m², retenção de água de entre 2 e 4 l/m², 49 bolsas com uma resistência ao rasgamento superior a 0,07 kN/ud e com comportamento de reação ao fogo B-s2, d0, segundo ensaio Applus, segundo NP EN 13501-1; com perfil guia horizontal fixado à substrutura suporte com parafusos auto-roscentes com cabeça hexagonal de aço zincado com junta estanque, de 5,5 mm de diâmetro e 25 mm de comprimento;
- **VEGETAÇÃO:** espécies de plantas para exterior; com uma densidade de plantação de 42 ud/m².

Com a colocação do jardim vertical, nas paredes com orientação Oeste, estas ficam com coeficientes de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 0,47 W/(m².°C) e 0,46 W/(m².°C).

Na Tabela 26 apresenta-se o impacto da implementação desta medida de melhoria de eficiência energética.

Tabela 26 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Setor	Antes da Implementação [kWh/ano]		Após a Implementação [kWh/ano]	
Eletricidade	132 263	32,7%	130 937	32,6%
Gás Natural	271 680	67,3%	270 549	67,4%
Solar	0	0,0%	0	0,0%
Total	403 944	100%	401 486	100%

III. Substituição de janelas não eficientes por janelas eficientes, de classe energética igual a «A+»

Uma vez que os vãos envidraçados desempenham um papel significativo no balanço térmico global de um edifício, é imprescindível escolher materiais favoráveis à eficiência energética. Desta forma, tentou-se escolher uma combinação de caixilharia + vidro que fosse de encontro com os requisitos do PRR e do cliente.

Esta medida contempla a reabilitação energética dos vãos de fachada, através da substituição de caixilharia com vidro duplo sem corte térmico, por caixilharia metálica com corte térmico e vidro duplo.

Informação sobre Caixilharia: Janela de alumínio, gama alta, com rutura de ponte térmica, duas folhas de batente, com abertura para o interior, acabamento lacado cor branca, com o selo QUALICOAT, que garante a espessura e a qualidade do processo de lacagem, composta de folha de 88 mm e aro de 80 mm, bites, rebaixo, juntas de estanquidade de EPDM, puxador e ferragens, segundo NP EN 14351-1; coeficiente de transmissão térmica do aro: $U_{h,m}$ = desde 1,3 W/(m²°C); espessura máxima do envidraçado: 65 mm, com classificação à permeabilidade ao ar classe 4, segundo EN 12207, classificação à estanquidade à água classe E1950, segundo EN 12208, e classificação à resistência à carga do vento classe C5, segundo EN 12210, sem pré-aro e sem persiana.

Informação sobre vidro duplo: Vidro duplo LOW.S "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", LOW.S 4/6/6 Templa.lite Azur.lite cor azul, conjunto constituído por vidro exterior de baixa emissividade térmica LOW.S de 4 mm, câmara de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 6 mm, e vidro interior Templa.lite Azur.lite cor azul de 6 mm de espessura; 16 mm de espessura total, fixado sobre caixilharia com cunhagem através de calços de apoio perimetrais e laterais, vedação a frio com silicone Sikasil WS-305-N "SIKA", compatível com o material suporte.

A Tabela 27 apresenta os novos valores de transmissão térmica e de fator solar dos vãos, mantendo as proteções exteriores e interiores existentes.

Tabela 27 – Transmissão Térmica proposta

Elemento	Área	U solução	U referência	U máx	Fator Solar		
		[W/m ² .°C]	[W/m ² .°C]	[W/m ² .°C]	g vidro	g vão	g tot, máx
VE 1	33,6	2,58	4,3		0,51	0,03	
VE 2	2,4	2,58	4,3		0,51	0,01	
VE 3	77,28	2,58	4,3		0,51	0,06	
VE 4	13,2	2,58	4,3	3,3	0,51	0,06	0,56
VE 5	30,94	2,58	4,3		0,51	0,51	
VE 6	142,8	2,58	4,3		0,51	0,03	
VE 7	89,34	2,58	4,3		0,51	0,51	

Como se pode analisar na tabela anterior, com a implementação desta solução, os valores de coeficiente de transmissão térmica já vão de encontro às metas colocadas para os novos edifícios, assim como o fator solar dos vãos envidraçados.

Na Tabela 28 apresenta-se o impacto da implementação desta medida de melhoria de eficiência energética.

Tabela 28 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Setor	Antes da Implementação [kWh/ano]		Após a Implementação [kWh/ano]	
Eletricidade	132 263	32,7%	126 523	31,9%
Gás Natural	271 680	67,3%	269 745	68,1%
Solar	0	0,0%	0	0,0%
Total	403 944	100%	396 268	100%

IV. Substituição de Caldeiras por Equipamentos mais eficientes

Aquando da análise das várias soluções existentes atualmente, chegou-se à conclusão que, devido à necessidade de uma potência térmica elevada, não seria possível implementar uma bomba de calor em substituição da caldeira atual. Foram consultadas várias empresas, as quais concluíram que as bombas de calor que aconselhavam não eram passíveis de instalação, uma vez que as centrais térmicas têm pequena dimensão física e o local onde o edifício se encontra não permite a sua instalação exterior.

Esta medida visa, portanto, substituir o sistema de aquecimento existente, por um sistema de aquecimento por Caldeira de Condensação, mantendo as unidades interiores instaladas.

O modelo proposto é da marca Bosch, modelo Uni Condens 8000 F 115. A Figura 29 representa a unidade em questão. Esta unidade é uma caldeira compacta, com um sistema de autolimpeza

incluído, um rendimento até 106% sobre o Poder Calorífico Inferior (*PCI*) e com baixas emissões de poluentes.


	Potência calorífica nominal [kW]	109
	Potência calorífica útil a 50/30 °C [kW]	115
	Potência calorífica útil a 80/60 °C [kW]	105,7
	Rendimento em regime de baixa temperatura [%]	1,06
	Rendimento em regime de alta temperatura [%]	97

Figura 29 – Modelo Proposto Uni Condens 8000 F 115

Na Tabela 29 apresenta-se o impacto da implementação desta medida de melhoria de eficiência energética.

Tabela 29 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Setor	Antes da Implementação [kWh/ano]		Após a Implementação [kWh/ano]	
Eletricidade	132 263	32,7%	132 263	36,4%
Gás Natural	271 680	67,3%	231 337	63,6%
Solar	0	0,0%	0	0,0%
Total	403 944	100%	363 600	100%

V. Substituição de lâmpadas existentes por tecnologia LED

Tal como referido na descrição do sistema de Iluminação, o edifício está dotado de tecnologia de iluminação antiga, havendo possibilidade de instalação de sistemas dotados de tecnologia LED. As soluções de iluminação LED são mais eficientes que as soluções convencionais, consumindo menos energia elétrica para o mesmo fluxo luminoso. Também possuem um tempo de vida útil superior, o que reduz os custos de substituição e manutenção.

De seguida apresenta-se uma nova análise da densidade de potência instalada resultante das alterações de luminárias.

Tabela 30 – Densidade de potência instalada

Zona	Tipo de Zona	DPI Inst [W/m ²]	DPI _{100 lx} Proposta [W/m ²]	DPI _{100 lux,Max} [W/m ²]
Z1	Corredores	3,75	3,75	2,1
Z2	Escritório individual 1-6 pessoas	6,08	1,22	1,5
Z3	Salas de reuniões, salas de conferências	5,37	1,07	1,5
Z4	Instalações sanitárias	3,59	1,79	2,1
Z5	Salas de reuniões, salas de conferências	5,96	1,19	1,5
Z6	Escritório individual 1-6 pessoas	5,98	1,20	1,5
Z7	Escritório individual 1-6 pessoas	5,58	1,12	1,5
Z8	Escritório individual 1-6 pessoas	0,96	0,19	1,5
Z9	Salas de refeições (exceto restaurantes)	0,80	0,40	2,3
Z10	Quartos	1,67	0,83	2,3
Z11	Hall/entradas	1,98	0,99	2,1
Z12	Quartos	1,48	0,74	2,3
Z13	Quartos	1,85	0,93	2,3
Z14	Escadas	1,19	1,19	2,1
Z15	Escadas	1,16	1,16	2,1
Z16	Quartos	1,51	0,76	2,3
Z17	Quartos	1,49	0,75	2,3
Z18	Arrecadações e outros locais de armazenagem	4,35	4,35	2,1
Z19	Quartos	1,54	0,77	2,3
Z20	Instalações sanitárias	3,23	1,62	2,1
Z21	Instalações sanitárias	3,28	1,64	2,1
Z22	Quartos	1,60	0,80	2,3
Z23	Escadas	1,59	1,59	2,1
Z24	Salas de trabalho de apoio	5,22	1,74	1,5
Z25	Quartos	1,48	0,74	2,3
Z26	Quartos	3,32	1,66	2,3
Z27	Quartos	1,91	0,96	2,3
Z28	Cozinhas	4,31	0,86	2,1
Z29	Arrecadações e outros locais de armazenagem	4,35	4,35	2,1
Z30	Quartos	1,47	0,74	2,3
ZC1	Arrecadações e outros locais de armazenagem	5,69	5,69	2,1
ZC2	Arrecadações e outros locais de armazenagem	3,53	3,53	2,1
ZC3	Arrecadações e outros locais de armazenagem	2,55	2,55	2,1

Pela análise da tabela anterior, conclui-se que, na sua maioria, a densidade de potência de iluminação proposta para cada zona cumpre com a iluminância recomendada para edifícios novos, verificando-se alguns locais com valores superiores. Em média ponderada, a nova densidade de potência apresenta uma redução de 64% relativamente à atual situação.

Na Tabela 31 apresenta-se o impacto da implementação desta medida de melhoria de eficiência energética.

Tabela 31 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Setor	Antes da Implementação [kWh/ano]		Após a Implementação [kWh/ano]	
Eletricidade	132 263	32,7%	116 833	29,8%
Gás Natural	271 680	67,3%	274 723	70,2%
Solar	0	0,0%	0	0,0%
Total	403 944	100%	391 556	100%

VI. Sistemas de Automatização e Controlo do Edifício

Esta medida visa a implementação de um Sistema de Automatização e Controlo do Edifício, com uma monitorização constante dos consumos de energia dos principais circuitos de energia elétrica.

Todo o processo de controlo de energia deve começar com o conhecimento da situação energética da instalação. Em geral, o uso de equipamentos automáticos de controlo traz consideráveis vantagens para o processo produtivo, que são compensados pelas economias de energia que proporcionam. Um Sistema de Automatização e Controlo do Edifício (SACE) tem como objetivo fornecer uma visão global e centralizada do estado de operação de toda a instalação, permitindo ações em tempo real.

Para efeitos deste estudo utilizou-se a classificação do sistema tal como referenciado na Portaria n.º 138-I/2021 [41], com uma classe de eficiência energética A. Para o cálculo das poupanças energéticas associadas aos sistemas de aquecimento (Aquecimento e Arrefecimento Ambiente, AQS) e aos sistemas elétricos (sistema de iluminação), utilizou-se o método simplificado presente na Norma EN 15232 [42], o qual consiste na utilização de fatores de impacto tabelados.

Na Tabela 32 apresenta-se o impacto da implementação desta medida de melhoria de eficiência energética. Como se pode verificar, consegue-se uma redução de consumo de energia em cerca de 15,6 % face aos consumos previstos na situação atual.

Tabela 32 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Setor	Antes da Implementação [kWh/ano]		Após a Implementação [kWh/ano]	
Eletricidade	132 263	32,7%	123 710	36,3%
Gás Natural	271 680	67,3%	217 344	63,7%
Solar	0	0,0%	0	0,0%
Total	403 944	100%	341 055	100%

VII. Instalação de sistemas de produção de energia elétrica para autoconsumo, através de fontes renováveis com e sem armazenamento de energia

A energia produzida por uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC) é consumida instantaneamente, reduzindo assim a compra de energia à rede. O aproveitamento da energia produzida pela UPAC ocorre apenas quando existe consumo, sendo que a energia excedente é injetada na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).

De forma a alcançar a melhor solução para um sistema fotovoltaico em regime de autoconsumo, foi fundamental a obtenção do perfil de consumos, tendo em conta o diagrama de carga médio, geral do edifício. Desta forma, com base nestes pressupostos e no espaço disponível na cobertura para o sistema fotovoltaico é proposto a instalação de uma UPAC com 16,2kW de potência nominal.

Na Tabela 33 apresentam-se as características dos painéis propostos.

Tabela 33 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Marca	JASolar
Modelo	JAM72S30-540/MR
Potência Útil [kW]	540
Tipo Célula	Mono-Cristalino
Qtd Células	30
Eficiência do Módulo [%]	20,9
Dimensões [l x w x h; mm]	2279 x 1134 x 35

A UPAC iria produzir 25 512 kWh/ano, sendo que deste consumo, sendo 25 510 kWh/ano são em regime de autoconsumo. No ANEXO D é apresentado o relatório energético obtido através do ficheiro excel disponibilizado pela DGEG, denominado i017513.

A Figura 30 demonstra a implantação sugerida para o sistema fotovoltaico proposto.



Figura 30 – Implantação UPAC (orientação, aproximada, Este)

Na Tabela 34 apresenta-se o impacto da implementação desta medida de melhoria de eficiência energética.

Tabela 34 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Setor	Antes da Implementação [kWh/ano]		Após a Implementação [kWh/ano]	
	Consumo	Porcentagem	Consumo	Porcentagem
Eletricidade	132 263	32,7%	106 753	26,4%
Gás Natural	271 680	67,3%	271 680	67,3%
Solar	0	0,0%	25 510	6,3%
Total	403 944	100%	403 944	100%

VIII. Substituição de sistema de produção de AQS de fonte renovável – Sistema Solar Térmico

O recurso às energias renováveis constitui uma solução para muitos dos problemas associados ao consumo de combustíveis fósseis.

A instalação de sistemas solares térmicos para aquecimento de água é, atualmente, a solução encontrada por diversas empresas para combater a fatura energética e a redução de emissões carbónicas. No entanto, a simples introdução de sistemas de aquecimento solar não significa um bom aproveitamento energético. As instalações necessitam de ser corretamente dimensionadas, instaladas e mantidas. Caso um destes aspetos não seja devidamente tido em consideração, o desempenho do sistema poderá ser muito inferior ao que inicialmente estava previsto.

O objetivo do sistema solar é a captação máxima de energia solar para o aquecimento de água sanitária e a sua utilização de forma eficiente. No caso da Bloco D, o sistema previsto asseguraria o fornecimento de parte da água quente utilizada diariamente, reduzindo o consumo de gás natural.

Esta medida pressupõe a substituição dos painéis existentes que se encontram desativados e obsoletos pelo mesma quantidade de painéis, sendo que o modelo estudado foi o SOL 250 da Baxiroca.

A Figura 31 demonstra a implantação sugerida para o sistema solar térmico proposto, sendo que sua localização se manteria a mesma da atual.



Figura 31 – Implantação Sistema Solar Térmico

Uma vez que os painéis solares térmicos existentes não se encontram a produzir energia, a implementação desta medida pressupõe uma produção de 105 475 kWh/ano, sendo que as restantes necessidades de energia para AQS, serão satisfeitas pelas caldeiras existentes, resultando numa redução de consumo de energia em cerca de 26%. O Relatório Energético obtido pelo ficheiro excel disponibilizado pela DGEG, denominado i017513, é apresentado no ANEXO E.

Na Tabela 35 apresenta-se o impacto da implementação desta medida de melhoria de eficiência energética.

Tabela 35 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Setor	Antes da Implementação [kWh/ano]		Após a Implementação [kWh/ano]	
	Consumo	Porcentagem	Consumo	Porcentagem
Eletricidade	132 263	32,7%	132 263	32,7%
Gás Natural	271 680	67,3%	166 205	41,1%
Solar	0	0,0%	105 475	26,1%
Total	403 944	100%	403 944	100%

IX. Instalação de uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC), com recurso a um sistema Eólico.

Esta medida pressupõe a instalação de uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC), com recurso a um sistema eólico. Foram analisados os dados de vento num período de um ano para o local da instalação. Essa análise está representada na Figura 32.

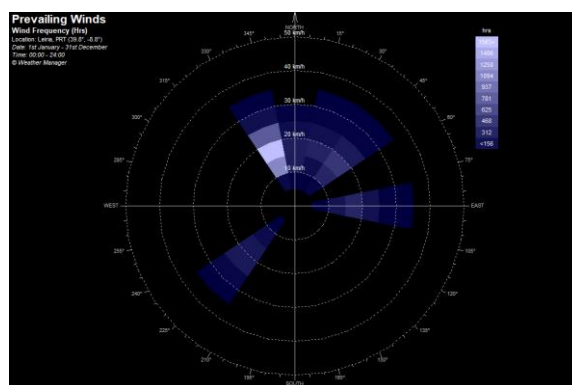


Figura 32 – Dados de vento referentes ao ano 2022.^a

^aFonte: <https://www.wunderground.com/history/monthly/pt>

A instalação desta unidade de produção iria permitir uma redução de consumo de energia elétrica da instalação de cerca de 1 800 kWh/ano. No ANEXO F é apresentado o Relatório de produção obtido pelo ficheiro excel disponibilizado pela DGEG, denominado i017513.

Na Tabela 36 apresenta-se o impacto da implementação desta medida de melhoria de eficiência energética.

Tabela 36 – Impacto da medida nos consumos energéticos

Setor	Antes da Implementação [kWh/ano]		Após a Implementação [kWh/ano]	
Eletricidade	132 263	32,7%	130 463	32,3%
Gás Natural	271 680	67,3%	271 680	67,3%
Solar	0	0,0%	1 800	0,4%
Total	403 944	100%	403 944	100%

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Impacto das Medidas de Eficiência Energética

Com o objetivo de averiguar o impacto das medidas de eficiência energética estudadas na classificação energética do edifício, apresenta-se neste capítulo os indicadores energéticos resultantes da implementação das mesmas. Adicionalmente, apresenta-se uma análise das necessidades energia primária previstos antes e após a implementação de cada medida de eficiência energética.

As implementações individualizadas das medidas de eficiência energética não se traduzem em impactos significativos a nível de consumo de energia primária e de emissões de CO₂, quando comparado com o objetivo da candidatura ao PRR, enunciado anteriormente, que preconiza uma redução de 30% de energia primária. No entanto, a implementação conjunta das medidas apresenta impacto significativo.

4.1.1. Impacto Individual

I. Medida 1 – Isolamento térmico da Cobertura Interior

Tabela 37 – Resultados das necessidades energia primária previstos

	Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO ₂ eq
Antes da implementação das medidas	403 944	602 338	102,49
Após implementação das medidas	396 182	600 571	101,56
% Redução dos Consumos	1,9%	0,3%	0,9%

Tabela 38 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE _s	IEE _T	IEE _{REN}	Classificação
Previsto	287,61	212,98	80,93	6,30	B-
Referência	343,24	262,31	80,93	--	R _{IEE} = 0,79

A implementação desta medida representa uma redução de:

- 0,3% em energia primária;
- 0,9% em emissões de CO₂.

Pese embora o reduzido contributo em termos energéticos e de emissões de CO₂, esta medida contribui para a melhoria das condições de conforto dos ocupantes do edifício.

II. Medida 2 – Implementação de Fachadas Verdes

Tabela 39 – Resultados das necessidades energia primária previstos

	Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO₂eq
Antes da implementação das medidas	403 944	602 338	102,49
Após implementação das medidas	401 486	597 891	101,79
% Redução dos Consumos	0,6%	0,7%	0,7%

Tabela 40 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE_s	IEE_T	IEE_{REN}	Classificação
Previsto	286,32	211,70	80,93	6,30	B-
Referência	343,24	262,31	80,93	--	R _{IEE} = 0,78

A implementação desta medida representa uma redução de:

- 0,7% em energia primária;
- 0,7% em emissões de CO₂.

Esta medida contribui para a melhoria das condições de conforto em situações de arrefecimento, para além, de potenciar a qualidade do ar interior em situação de ventilação natural.

III. Medida 3 - Substituição dos Vãos Envidraçados

Tabela 41 – Resultados das necessidades energia primária previstos

	Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO₂eq
Antes da implementação das medidas	403 944	602 338	102,49
Após implementação das medidas	396 268	586 052	100,04
% Redução dos Consumos	1,9%	2,7%	2,4%

Tabela 42 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE_s	IEE_T	IEE_{REN}	Classificação
Previsto	280,65	206,03	80,93	6,30	B-
Referência	343,24	262,31	80,93	--	R _{IEE} = 0,76

A implementação desta medida representa uma redução de:

- 2,7% em energia primária;
- 2,4% em emissões de CO₂.

De igual modo, esta medida contribui para a melhoria das condições de conforto dos ocupantes do edifício.

IV. Medida 4 - Substituição de Caldeiras por Equipamentos mais eficientes

Tabela 43 – Resultados das necessidades energia primária previstos

	Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO₂eq
Antes da implementação das medidas	403 944	602 338	102,49
Após implementação das medidas	363 600	561 994	94,34
% Redução dos Consumos	10,0%	6,7%	8,0%

Tabela 44 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE_s	IEE_T	IEE_{REN}	Classificação
Previsto	269,13	194,51	80,93	6,30	B
Referência	343,24	262,31	80,93	--	R _{IEE} = 0,72

A implementação desta medida representa uma redução de:

- 6,7% em energia primária;
- 8% em emissões de CO₂.

V. Medida 5 - Substituição da Iluminação

Tabela 45 – Resultados das necessidades energia primária previstos

	Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO₂eq
Antes da implementação das medidas	403 944	602 338	102,49
Após implementação das medidas	391 556	566 805	97,55
% Redução dos Consumos	3,1%	5,9%	4,8%

Tabela 46 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE_s	IEE_T	IEE_{REN}	Classificação
Previsto	271,44	196,81	80,93	6,30	B
Referência	343,24	262,31	80,93	--	R _{IEE} = 0,73

A implementação desta medida representa uma redução de:

- 5,9% em energia primária;
- 4,8% em emissões de CO₂.

VI. Medida 6 - Instalação de Sistemas de Automatização e Controlo do Edifício

Tabela 47 – Resultados das necessidades energia primária previstos

	Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO₂eq
Antes da implementação das medidas	403 944	602 338	102,49
Após implementação das medidas	341 055	526 620	88,44
% Redução dos Consumos	15,6%	12,6%	13,7%

Tabela 48 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE_s	IEE_T	IEE_{REN}	Classificação
Previsto	252,19	177,57	80,93	6,30	B
Referência	343,24	262,31	80,93	--	R _{IEE} = 0,65

A implementação desta medida representa uma redução de:

- 12,6% em energia primária;
- 13,7% em emissões de CO₂.

VII. Medida 7 - Instalação de Sistema Solar Fotovoltaico

Tabela 49 – Resultados das necessidades energia primária previstos

		Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO ₂ eq
Antes da implementação das medidas	Energia Não Renovável	403 944	602 338	102,49
	Energia Renovável	0	0	n.a.
Após implementação das medidas	Energia Não Renovável	378 434	538 563	93,31
	Energia Renovável	25 510	63 775	n.a.
% Redução dos Consumos de Energia Não Renovável		6,3%	10,6%	9,0%

Tabela 50 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE _s	IEE _T	IEE _{REN}	Classificação
Previsto	257,91	213,83	80,93	36,84	B
Referência	343,24	262,31	80,93	--	R _{IEE} = 0,67

A implementação desta medida representa uma redução de:

- 10,6% em energia de origem não renovável;
- 9% em emissões de CO₂.

Esta medida de melhoria não é uma medida de eficiência energética, uma vez que não impacta na redução dos consumos energéticos. Contudo impacta, sim, na qualidade de energia utilizada.

VIII. Medida 8 - Instalação de Sistema Solar Térmico

Tabela 51 – Resultados das necessidades energia primária previstos

		Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO ₂ eq
Antes da implementação das medidas	Energia Não Renovável	403 944	602 338	102,49
	Energia Renovável	0	0	n.a.
Após implementação das medidas	Energia Não Renovável	298 469	496 863	81,19
	Energia Renovável	105 475	105 475	n.a.
% Redução dos Consumos de Energia Não Renovável		26,1%	17,5%	20,8%

Tabela 52 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE _s	IEE _T	IEE _{REN}	Classificação
Previsto	237,94	213,83	80,93	56,81	B
Referência	343,24	262,31	80,93	--	R _{IEE} = 0,60

A implementação desta medida representa uma redução de:

- 10,6% em energia de origem não renovável;
- 9% em emissões de CO₂.

Esta medida de melhoria não é uma medida de eficiência energética, uma vez que não impacta na redução dos consumos energéticos. Contudo impacta, sim, na qualidade de energia utilizada.

IX. Medida 9 - Instalação de Sistema Geração Eólica

Tabela 53 – Resultados das necessidades energia primária previstos

		Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO ₂ eq
Antes da implementação das medidas	Energia Não Renovável	403 944	602 338	102,49
	Energia Renovável	0	0	n.a.
Após implementação das medidas	Energia Não Renovável	402 144	597 838	101,85
	Energia Renovável	1 800	4 500	n.a.
% Redução dos Consumos de Energia Não Renovável		0,4%	0,7%	0,6%

Tabela 54 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética

	IEE	IEE _s	IEE _T	IEE _{REN}	Classificação
Previsto	286,30	213,83	80,93	8,46	B-
Referência	343,24	262,31	80,93	--	R _{IEE} = 0,78

A implementação desta medida representa uma redução de:

- 10,6% em energia de origem não renovável;
- 9% em emissões de CO₂.

Esta medida de melhoria não é uma medida de eficiência energética, uma vez que não impacta na redução dos consumos energéticos. Contudo impacta, sim, na qualidade de energia utilizada.

4.1.2. Impacto Global

Com o estudo individual de cada medida de eficiência energética, foi possível simular o desempenho do edifício com a sua aplicação em simultâneo para determinar o "consumo previsto", que representa uma estimativa do consumo anual de energia por unidade de área, em um ano típico de funcionamento.

Estes consumos encontram-se tabelados no APÊNDICE C, sendo que na Tabela 55 se apresenta um resumo do impacto geral das medida de eficiência energética no consumo do edifício.

Tabela 55 – Resultados das necessidades energia primária

		Consumo (kWh)	Consumo (kWhEP)	Emissões tCO ₂ eq
Antes da implementação das medidas	Energia Não Renovável	403 944	602 338	102,49
	Energia Renovável	0	0	n.a.
Após implementação das medidas	Energia Não Renovável	151 390	271 772	43,26
	Energia Renovável	132 785	143 750	n.a.
% Redução dos Consumos de Energia Não Renovável		29,6%	31,0%	57,8%

Os resultados de cada parcela podem ser verificados na Tabela 56. O rácio de classe energética (RIEE) pode ser comprovada na Figura 33.

Tabela 56 – Resultados dos Indicadores de Eficiência Energética – Impacto Geral

	IEE	IEEs	IEET	IEEREN
Previsto	130,15	138,12	80,93	88,90
Referência	343,24	262,31	80,93	--

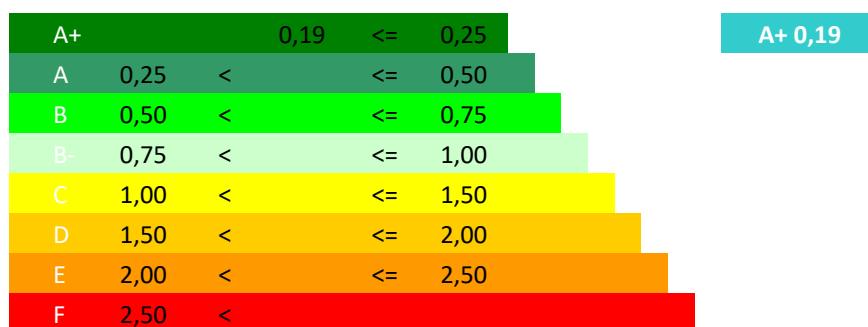


Figura 33 – Nova Classe Energética

Tabela 57 – Cumprimento Requisitos NZEB

Tipo de Requisito	Requisito	Valor	Cumprimento
Classe energética	$\geq A$	A+	Cumpre
Energia Primária Total	$R_{IEE} \leq 0,50$	0,19	Cumpre
Energia Primária Renovável	$RenC\&S \geq 0,5$	1,2	Cumpre
Energia Primária Fóssil	$IEE_{fóssil,S} \leq 0,75 \times IEE_{ref,S}$	$132,43 \leq 193,73$	Cumpre

Relativamente à situação atual, a implementação conjunta das medidas de eficiência energética traduz-se num impacto significativo a nível de consumo de energia primária e de emissões de CO₂. O objetivo da candidatura ao PRR, enunciado anteriormente, preconiza uma redução de 30% de energia primária, o qual é também cumprido.

Em relação ao objetivo do cumprimento dos requisitos de classificação NZEB, com a implementação conjunta das medidas de eficiência energética, este consegue-se satisfazer.

4.2. Discussão de resultados

A implementação das várias medidas mencionadas anteriormente permitiu haver uma redução significativa no consumo energético do edifício, tendo em conta a situação prevista. Na Tabela 58 e Figura 34 pode-se ver a diminuição do consumo após a implementação de cada medida versus o caso atual (previsto). As parcelas renováveis devido à utilização de bomba de calor (neste caso

específico, devido aos splits e close control instalados), não são contabilizados para efeitos desta análise.

Tabela 58 – Consumos Caso Previsto Atual vs Após Implementação de Medidas

	Atual [kWh/ano]	Após [kWh/ano]	Atual [kWh/ano]	Após [kWh/ano]	Atual [kWh/ano]	Após [kWh/ano]
Forma de Energia	Eletricidade		Gás Natural		Solar / Eólica	
Medida 1	132 263	136 259	271 680	259 923	-	-
Medida 2	132 263	130 937	271 680	270 549	-	-
Medida 3	132 263	126 523	271 680	269 745	-	-
Medida 4	132 263	132 263	271 680	231 337	-	-
Medida 5	132 263	116 833	271 680	274 723	-	-
Medida 6	132 263	123 710	271 680	217 344	-	-
Medida 7	132 263	106 753	271 680	271 680	-	25 510
Medida 8	132 263	132 263	271 680	166 205	-	105 475
Medida 9	132 263	130 463	271 680	271 680	-	1 800
Total	132 263	80 255	271 680	71 135	-	132 785

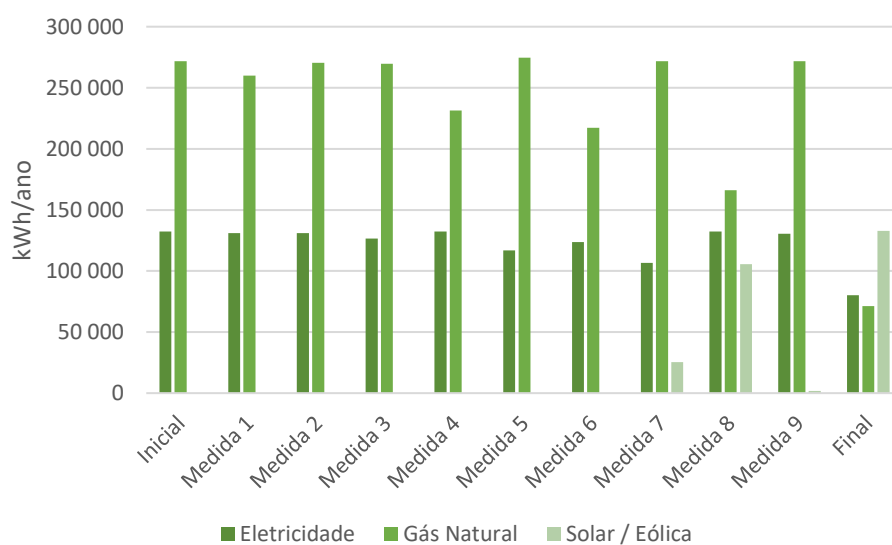


Figura 34 – Consumos Antes vs Após Implementação de Medidas (situação Prevista)

Uma vez que seria interessante analisar o impacto da implementação das várias medidas mencionadas anteriormente na situação real, apresenta-se de seguida a diminuição do consumo de energia após a implementação de cada medida versus o caso atual (real).

Tabela 59 – Consumos Caso Real Atual vs Após Implementação de Medidas

Forma de Energia	Atual	Após	Atual	Após	Atual	Após
	[kWh/ano]	[kWh/ano]	[kWh/ano]	[kWh/ano]	[kWh/ano]	[kWh/ano]
	Eletricidade		Gás Natural		Solar / Eólica	
Medida 1	104 631	104 631	256 445	246 720	-	-
Medida 2	104 631	104 435	256 445	255 026	-	-
Medida 3	104 631	104 541	256 445	253 702	-	-
Medida 4	104 631	104 631	256 445	219 604	-	-
Medida 5	104 631	90 251	256 445	258 966	-	-
Medida 6	104 631	100 884	256 445	207 540	-	-
Medida 7	104 631	79 121	256 445	256 445	-	25 510
Medida 8	104 631	104 631	256 445	150 970	-	105 475
Medida 9	104 631	102 831	256 445	256 445	-	1 800
Total	104 631	60 990	256 445	64 952	-	132 785

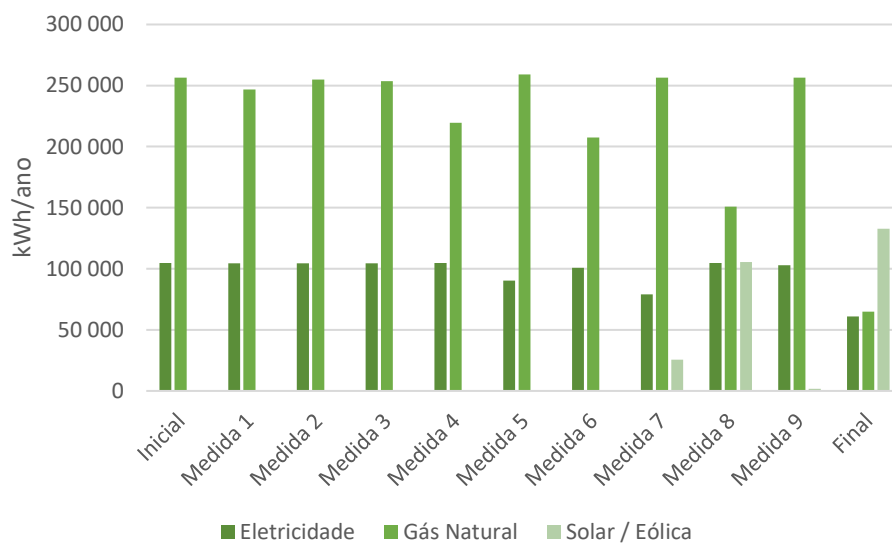


Figura 35 – Consumos Antes vs Após Implementação de Medidas (situação Real)

Por forma a analisar as diferenças entre uma implementação no caso real do edifício e no caso previsto, apresenta-se um gráfico com os consumos renováveis e não renováveis finais após a implementação de cada medida de melhoria energética para ambas as situações.

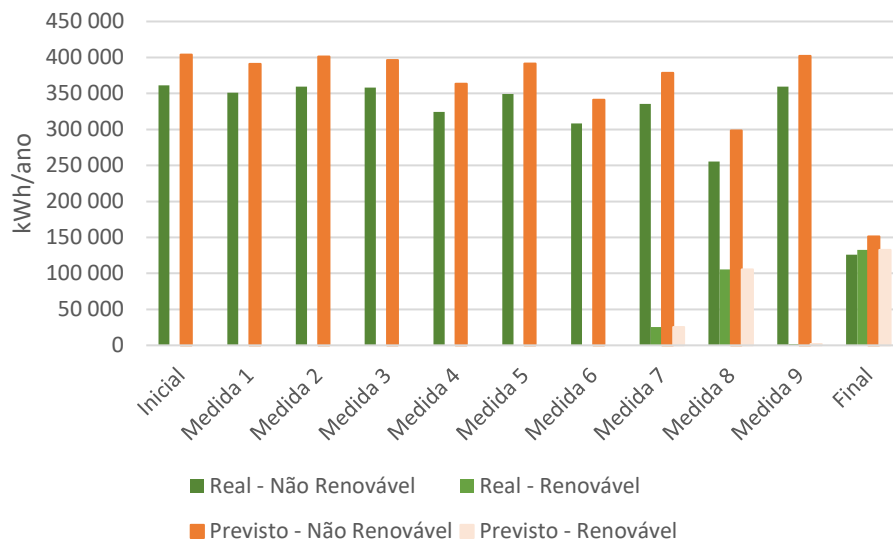


Figura 36 – Consumos Antes vs Após Implementação de Medidas (situação Real vs situação Prevista)

Para uma melhor leitura dos resultados obtidos, demonstra-se apenas o impacto global da implementação das medidas de melhoria para as situações real e prevista, na Figura 37.

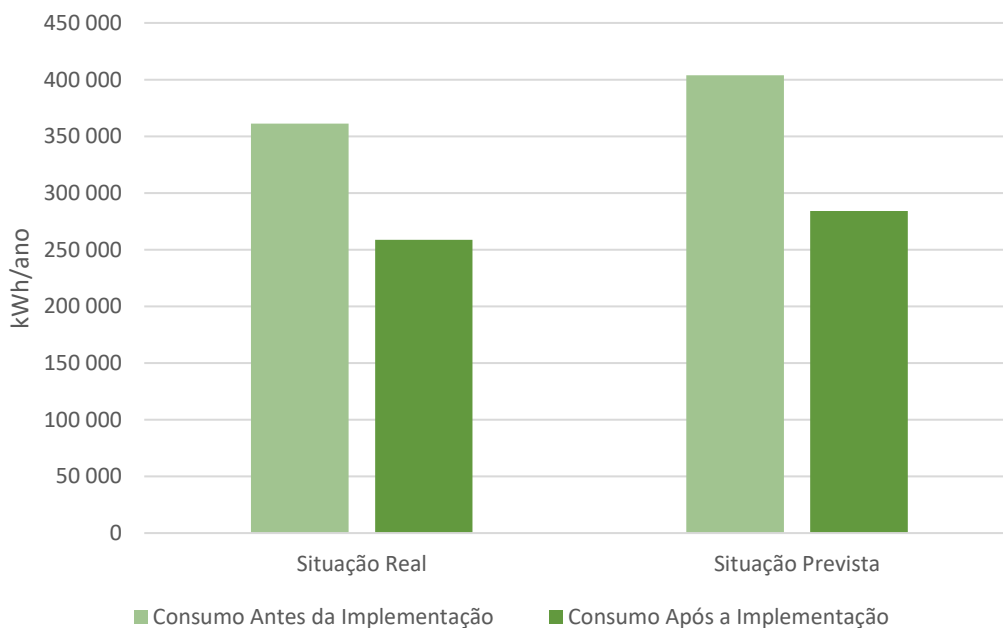


Figura 37 – Consumos Antes vs Após Implementação de Medidas (situação Real vs situação Prevista)

Como se pode verificar a partir da análise da informação disponibilizada, o edifício tornou-se mais eficiente, substituindo as tecnologias mais antigas pelas mais recentes disponíveis e melhorando a envolvente (em ambas as situações real e prevista). Adicionalmente, o edifício reduziu o seu impacto ambiental devido ao uso de energias renováveis, uma vez que estas contribuem para a descarbonização.

Em termos de energia total consumida, na situação real:

- Diminui-se cerca de 65% face ao caso inicial de estudo;
- Aumentou-se a produção de energia renovável em 63%.
- A classe energética aumentou para A+.

Em termos de energia total consumida, na situação prevista:

- Diminui-se cerca de 63% face ao caso inicial de estudo;
- Aumentou-se a produção de energia renovável em 67%.
- A classe energética aumentou para A+.

Quanto aos requisitos de classificação de NZEB impostos atualmente para grandes renovações em edifícios de comércio e serviços, estes foram cumpridos, seja analisado o impacto da implementação das medidas de melhoria na situação real quer na situação prevista.

5. CONCLUSÃO

Esta dissertação marca o fim dos estudos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. A sua elaboração permitiu aplicar todo o conhecimento técnico adquirido ao longo do meu percurso acadêmico e profissional, tentando chegar mais longe do que o habitual.

5.1. Conclusões finais

Ao longo dos últimos anos a UE tem tido como objetivo promover a descarbonização dos edifícios e Portugal tem colocado em prática o Plano de Recuperação e Resiliência (*PRR – investimento TC-C13-i03*) por forma a incentivar as mudanças necessárias para alcançar os objetivos impostos.

As iniciativas direcionadas para a eficiência energética em edifícios de comércio e serviço, incluem análises prévias para determinar as necessidades energéticas e possíveis melhorias. Essas análises são conhecidas como auditorias energéticas, que possibilitam a classificação do desempenho energético do edifício no final do processo.

O estudo efetuado ao Bloco D da Residência de Estudantes do IPL, permitiu classificar o edifício consoante a sua eficiência, enquadrando-se na classe B-. Numa primeira análise do edifício constatou-se que este apresenta bastantes debilidades e oportunidades de melhoramento. São exemplos a ausência de isolamento em coberturas e o não aproveitamento de sistemas de produção de energia de fontes renováveis. Constatou-se que o edifício possui 32 coletores solares desativados o que significa um acréscimo significativo de consumo de gás natural e uma vez que se trata de uma residência de estudantes, as necessidades de AQS são consideráveis.

Tendo em conta a classificação obtida neste edifício, numa primeira fase, procurou-se realizar melhorias a nível da envolvente, implementado isolamento térmico na cobertura, incorporar soluções de arquitetura bioclimática (fachadas verdes) e melhorar os envidraçados.

Uma segunda fase consistiu na adoção de sistemas técnicos mais eficientes. Dentre as modificações realizadas, destaca-se a melhoria da iluminação, sendo que a maioria das luminárias atuais utiliza tecnologia fluorescente tubular e fluorescente compacta. Além disso, foi implementado um sistema de gestão de energia centralizada, que, por padrão, possibilita uma redução de até 4% no consumo energético de um edifício. Por fim, propõe-se a utilização de caldeiras de condensação para o aquecimento ambiente e como suporte na produção de águas quentes sanitárias. Essas caldeiras possuem uma eficiência de até 106% (dependendo da temperatura de utilização) e permitem a integração das unidades internas já existentes no edifício

Uma terceira fase, e talvez uma das mais importantes, estudou-se a implementação de sistemas de produção de energia recorrendo a fontes renováveis, sendo que se adotou, sistemas fotovoltaicos, solar térmicos e eólicos. Este tipo de medidas permitem produzir energia no local, permitindo que o edifício se torne energeticamente independente e sem custo para o cliente.

Mediante o objetivo desta dissertação, de atingir a classificação de NZEB neste edifício, foram então sugeridas as nove medidas de melhoria descritas anteriormente por forma a mitigar as necessidades energéticas do mesmo. Estas medidas, em conjunto, permitiram atingir um desempenho mais eficiente, e consequentemente, a redução de emissões de gases poluentes.

Apesar de se ter seguido as linhas de orientação da EPBD, não foi possível garantir um balanço energético nulo. A implementação das medidas estudadas, em termos teóricos, permitiu que o edifício chegasse à classe A+, com um rácio de Energia Primária Total de 0,19 (como se pode verificar na Figura 33). Isto significa, que o edifício consegue cumprir com os requisitos atuais de classificação NZEB, tal como exposto na Tabela 3.

A dificuldade de garantir um balanço energético nulo deve-se por um lado à falta de área de implementação de maiores sistemas de produção de energia. Uma vez que este edifício se encontra em área urbana, existe uma limitação de envolvente opaca horizontal onde colocar centrais fotovoltaicas e solares térmicas. Sendo uma reabilitação de um edifício existente, ocupado por uma administração estudantil, existem impossibilidades de aplicação de algumas medidas de melhor aproveitamento solar, como o aumento do vão de envidraçados para a redução do consumo de aquecimento.

Em suma, foi possível alcançar o principal objetivo desta dissertação, de atingir a classificação NZEB, ou seja, foi possível alcançar uma melhoria considerável na eficiência energética do edifício.

Por forma a analisar o impacto das medidas de melhoria de eficiência energética na situação real do edifício, estudaram-se as poupanças de consumo de energia provenientes da sua implementação, assim como se realizou uma comparação com a situação prevista. Esta análise permitiu verificar que se consegue uma redução de consumo de energia total consumida em cerca de 65 % face aos consumos reais na situação atual e em cerca de 63 % face aos consumos previstos na situação atual. A produção de energia devido a fontes renováveis aumenta, em termos percentuais, em 63% na situação real e em 67% na situação prevista.

Esta análise permitiu verificar que na situação real, estas medidas, em conjunto, permitem também atingir um desempenho mais eficiente, e conseqüentemente, a redução de emissões de gases poluentes, conseguindo cumprir com os requisitos atuais de classificação NZEB.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

Visto que a UE lançou metas para a descarbonização e redução de gases de estufa até 2050 e está prevista uma revisão da atual EPBD este ano, é necessário encontrar soluções mais eficazes para a reabilitação do parque edificado existente.

Desta forma, seria interessante desenvolver os seguintes temas:

- Estudar o benefício-custo de reabilitação do parque edificado extenso atual, para ir mais além da classificação atual de NZEB;
- Estudar as condicionantes de reabilitação de edifícios existentes em ZEB, em áreas urbanas versus áreas rurais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] U. Nations, “Brundlant Report: Our Common Future,” 1978.
- [2] A. Paone e J.-P. Bacher, “The Impact of Building Occupant Behavior on Energy Efficiency and Methods to Influence It: A Review of the State of the Art,” University of Applied Sciences and Arts, Western Switzerland—Fribourg, 2018.
- [3] J. Porrit, *Playing Safe: Science and the Environment*, London: Thames & Hudson, 2000.
- [4] J. P. Holdren e P. R. Ehrlich, “Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force,” *American Scientist*, vol. 63, nº 3, pp. 282-292, 1974.
- [5] D. H. Jorgen Meadows, D. L. Meadows e Randers, *Beyond the limits: Global collapse or a sustainable future*, London: Earthscan, 1992.
- [6] D. 2. O. T. E. P. A. O. T. COUNCIL, “Energy Performance of Building Directive [EPBD]-,” OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION, 16/12/2002.
- [7] “DIRETIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” *Jornal Oficial da União Europeia*, 2010.
- [8] E. Comission, “RNC2050: ESTRATÉGIA DE LONGO PRAZO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA DA ECONOMIA PORTUGUESA EM 2050,” 2019.
- [9] “European Environment Agency,” 6 12 2012. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/final-energy-consumption-by-sector-6>. [Acedido em 4 12 2022].
- [10] “Direção Geral de Energia e Geologia,” [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/balancos-energeticos/balancos-energeticos-nacionais/>. [Acedido em 4 12 2022].
- [11] E. Comission, “MAKING OUR HOMES AND BUILDINGS FIT FOR A GREENER FUTURE,” European Union, 2021.
- [12] “European Comission,” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets_en. [Acedido em 5 12 2022].
- [13] “DIRETIVA (UE) 2018/844 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” 2018.
- [14] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz e C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” Elsevier, 2008.
- [15] “European Comission,” [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en. [Acedido em 5 12 2022].
- [16] “Certificação Energética dos Edifícios,” [Online]. Available: <https://www.sce.pt/legislacao/>. [Acedido em Novembro 2022].
- [17] P. d. C. d. Ministros, “Decreto-Lei n.º 101-D/2020,” *Diário da República*, 2020.
- [18] E. Papadis e G. Tsatsaronis, “Challenges in the decarbonization of the energy sector,” *Elsevier*, vol. Volume 205, 2020.
- [19] E. Araújo, M. Silva e R. Ribeiro, “Sustentabilidade e descarbonização: desafios práticos,” CECS – Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade Universidade do Minho, Braga, 2020.
- [20] “European Environment Agency,” [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/total-primary-energy-consumption-by-1>. [Acedido em 9 12 2022].
- [21] “ROTEIRO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA 2050,” *Agencia Portuguesa do Ambiente*.

- [22] “Plano Nacional Energia e Clima 2030,” Gabinete do Ministro do Ambiente e da Ação Climática, Lisboa, 2020.
- [23] “DIRETIVA DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação),” Comissão Europeia, Bruxelas, 2021.
- [24] L. Chao, C. Sun, L. Peng, J. Li, M. Sun, L. Bao, J. Liu e Y. Ma, “Passive energy-saving buildings realized by the combination of transparent heat-shielding glass and energy storage cement,” Elsevier, 2022.
- [25] S. Cascone, “The energy-efficient design of sustainable green roofs in Mediterranean climate: An experimental study,” Elsevier, 2022.
- [26] G. KiranKumar, S. Saboor e T. P. A. Babu, “Thermal Analysis of Wall and Window Glass Materials for Cooling Load Reduction in Green Energy Building Design,” Elsevier, 2017.
- [27] D. D. D'Agostino, F. Minichiello, F. Petito, C. Renno e A. Valentino, “Retrofit strategies to obtain a NZEB using low enthalpy geothermal energy systems,” Elsevier, 2021.
- [28] R. Stasi, F. Ruggiero e U. Berardi, “The efficiency of hybrid ventilation on cooling energy savings in NZEBs,” Elsevier, 2022.
- [29] L. F. Cabeza e N. H. S. Tay, High-Temperature Thermal Storage Systems using Phase Change Materials, vol. ISBN: 9780128053232, Academic Press 2017, 2018.
- [30] K. L. R. D. B. & L. A. Getter, “Green roofs as a means of mitigating urban heat island effects: A review,” Environmental Reviews, 2015.
- [31] Y. C. X. & L. Y. Liu, “The benefits and challenges of green roofs: A review,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017.
- [32] S. A. Kalogirou, “Solar energy applications in buildings,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009.
- [33] W. J. L. Q. & S. D. P. Fisk, “Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) in U.S. office buildings,” Environmental Science & Technology, 2017.
- [34] J. Nicol, “A review of passive and hybrid cooling strategies for buildings,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018.
- [35] “ENAT,” [Online]. Available: enat.pt. [Acedido em 23 12 2022].
- [36] P. d. C. d. Ministros, *Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro*, 7 12 2020.
- [37] 1. s. Diário da República, “AMBIENTE E AÇÃO CLIMÁTICA E INFRAESTRUTURAS E HABITAÇÃO,” *Portaria n.º 138-I/2021*, 1 julho 2021.
- [38] A. e. A. C. -. D.-G. d. E. e. Geologia, “Diário da República n.º 126/2021, 2º Suplemento, Série II de 2021-07-01,” *Despacho n.º 6476-H/2021*, 1 07 2021.
- [39] D. G. d. E. e. Geologia, “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios,” *Perguntas e Respostas*, Outubro 2019.
- [40] P. D. B. Sorte, “SIMULAÇÃO TÉRMICA DE PAREDES VERDES COMPOSTAS DE VEGETAÇÃO NATIVA DO CERRADO,” Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- [41] A. e. A. C. e. I. e. Habitação, “Portaria n.º 138-I/2021,” *Diário da República n.º 126/2021, 2º Suplemento, Série I de 2021-07-01*, 1 07 2021.
- [42] B. STANDARD, “BS EN 15232:2007,” *Energy performance of buildings — Impact of Building Automation, Controls and Building Management*, 2007.
- [43] H.-S. Park e X.-P. Dang, *Design and Simulation-Based Optimization of Cooling Channels for Plastic Injection Mold*, 2011.
- [44] S. L. Silva, “Sistemática para o Projeto do Sistema de Refrigeração de Moldes para Injeção de Polímeros,” Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

APÊNDICE A

Paredes Exteriores 1

Material	esp. d m	Condutib. λ W/m°C	Resist. R m ² .°C/W	M. Vol. ρ kg/m ³
R se			0,04	
Exterior - Reboco	0,015	1,3	0,012	1800
Tijolo 11	0,11	0,407	0,270	873
Isolamento térmico - Wallmate	0,03	0,037	0,811	25
Tijolo 11	0,11	0,407	0,270	873
Exterior - Reboco	0,015	1,3	0,012	1800
R si			0,13	
Total	0,280		1,544	5371
Coef.Trans.Térmica [U] W/m2.°C	0,65			

Paredes Exteriores 2

Material	esp. d m	Condutib. λ W/m°C	Resist. R m ² .°C/W	M. Vol. ρ kg/m ³
R se			0,04	
Revestimento cerâmico	0,08	1,15	0,070	1800
Tijolo 11	0,11	0,407	0,270	873
Isolamento térmico - Wallmate	0,03	0,037	0,811	25
Tijolo 11	0,11	0,407	0,270	873
Exterior - Reboco	0,015	1,3	0,012	1800
R si			0,13	
Total	0,345		1,602	5371
Coef.Trans.Térmica [U] W/m2.°C	0,62			

Paredes Interiores 1

Material	esp. d m	Condutib. λ W/m°C	Resist. R m ² .°C/W	M. Vol. ρ kg/m ³
R se			0,13	
Exterior - Reboco	0,01	1,3	0,008	1800
Tijolo 11	0,11	0,407	0,270	873
Exterior - Reboco	0,01	1,3	0,008	1800
R si			0,13	
Total	0,130		0,545	4473
Coef.Trans.Térmica [U] W/m2.°C	1,83			

Cobertura Exterior 1

Material	esp. d m	Condutib. λ W/m°C	Resist. R m ² .°C/W	M. Vol. ρ kg/m ³
R se			0,04	
Camada de godo	0,1	2	0,050	1700
Manta geotêxtil	>>>			
Isolamento térmico - roofmate	0,04	0,037	1,081	25
Tela	0,004	0,14	0,029	1200
Impermeabilizante	>>>			
Laje Betão	0,2	2,000	0,100	2450
Interior - Reboco	0,01	1,3	0,008	1800
R si			0,100	
Total	0,354		1,407	7175
Coef.Trans.Térmica [U]	0,71			

Cobertura Interior 1

Material	esp. d m	Condutib. λ W/m°C	Resist. R m ² .°C/W	M. Vol. ρ kg/m ³
R se			0,1	
Tela de xisto	0,004	0,17	0,024	1200
Impermeabilizante	>>>			
Laje Betão	0,2	2,000	0,100	2450
Caixa de ar	0,4		0,160	1,23
Teto lâminas de alumínio	0,001	230,000	0,000	2300
R si			0,100	
Total	0,605		0,484	5951
Coef.Trans.Térmica [U]	2,07			

Cobertura Interior 2

Material	esp. d m	Condutib. λ W/m°C	Resist. R m ² .°C/W	M. Vol. ρ kg/m ³
R se			0,1	
Tela de xisto	0,004	0,17	0,024	1200
Impermeabilizante	>>>			
Laje Betão	0,2	2,000	0,100	2450
Interior - Reboco	0,01	1,3	0,008	1800
R si			0,100	
Total	0,214		0,331	5450
Coef.Trans.Térmica [U]	3,02			

Cobertura Interior 3

Material	esp. d m	Condutib. λ W/m°C	Resist. R m ² .°C/W	M. Vol. ρ kg/m ³
R se			0,1	
Revestimento - mosaico	0,015	1,04	0,014	2200
Betonilha	0,02	1,3	0,015	1800
Laje Betão	0,25	2,000	0,125	2450
Caixa de ar	0,4		0,160	1,23
Tecto lâminas de aluminio	0,001	230,000	0,000	2300
R si			0,100	
Total	0,686		0,515	8751
Coef.Trans.Térmica [U]	1,94			

Cobertura Interior 4

Material	esp. d m	Condutib. λ W/m°C	Resist. R m ² .°C/W	M. Vol. ρ kg/m ³
R se			0,1	
Revestimento - mosaico	0,015	1,04	0,014	2200
Betonilha	0,02	1,3	0,015	1800
Laje Betão	0,25	2,000	0,125	2450
Interior - Reboco	0,01	1,3	0,008	1800
R si			0,100	
Total	0,295		0,363	8250
Coef.Trans.Térmica [U]	2,76			

Pavimento Térreo 1

Material	esp. d m	Condutib. λ W/m°C	Resist. R m ² .°C/W	M. Vol. ρ kg/m ³
R se			0,04	
Brita	0,1	2	0,050	1900
Massame	0,05	1,3	0,038	2000
Laje Betão	0,25	2,000	0,125	2450
Betonilha	0,02	1,3	0,015	1800
Mosaico	0,015	1,300	0,012	2200
R si			0,17	
Total	0,435		0,450	10350
Coef.Trans.Térmica [U]	2,22			

Pavimento Interior 1

Material	esp. <i>d</i> m	Condutib. <i>λ</i> W/m°C	Resist. <i>R</i> m ² .°C/W	M. Vol. <i>ρ</i> kg/m ³
R se			0,1	
Revestimento - mosaico	0,015	1,04	0,014	2200
Betonilha	0,02	1,3	0,015	1800
Laje Betão	0,25	2,000	0,125	2450
Interior - Reboco	0,01	1,3	0,008	1800
R si			0,100	
Total	0,295		0,363	8250
Coef.Trans.Térmica [U]	2,76			

Paredes Enterrada 1

Material	esp. <i>d</i> m	Condutib. <i>λ</i> W/m°C	Resist. <i>R</i> m ² .°C/W	M. Vol. <i>ρ</i> kg/m ³
R se			0,04	
Tela impermeabilizadora	0,01	0,17	0,059	1050
Exterior - Reboco	0,01	1,3	0,008	1800
Betão Normal	0,3	2,000	0,150	2450
Interior - Reboco	0,02	1,3	0,015	1800
R si			0,13	
Total	0,340		0,402	7100
Coef.Trans.Térmica [U] W/m2.°C	2,49			

APÊNDICE B

Tipo de Consumo		Consumo Previsto		Consumo de Referência		
		kWh/ano	kWh _{EP} /ano	kWh/ano	kWh _{EP} /ano	
S	Aquecimento Ambiente	Elet.	4 424	11 059	2 847	7 473
		GN	44 011	44 011	8 148	8 555
S	Arrefecimento Ambiente	Elet.	28 533	71 333	27 456	68 640
		GN	-	-	-	-
	Ventilação	Elet.	-	-	66 809	168 964
	Bombas	Elet.	7 827	19 569	7 827	19 569
	AQS	GN	227 670	227 670	234 423	234 423
	Iluminação Interior	Elet.	23 433	58 583	15 597	38 993
	Iluminação Exterior	Elet.	-	-	-	-
	Iluminação Interior ENU	Elet.	449	1 122	449	1 122
T	Equipamentos	Elet.	67 597	168 993	67 597	168 993
		GN	-	-	-	-
	Ventilação Hottes	Elet.	-	-	-	-
	Meios de Elevação	Elet.	-	-	-	-
REN	Solar Térmico	REN.	-	-	-	-
	Solar Fotovoltaico	REN.	-	-	-	-
	Renovável BC	REN.	13 161	13 161	-	-
Total			403 944	602 338	431 153	716 732

APÊNDICE C

Tipo de Consumo		Consumo Previsto		Consumo de Referência		
		kWh/ano	kWh _{EP} /ano	kWh/ano	kWh _{EP} /ano	
S	Aquecimento Ambiente	Elet.	3 315	8 288	2 847	7 473
		GN	22 207	22 207	8 148	8 555
	Arrefecimento Ambiente	Elet.	20 562	51 405	27 456	68 640
		GN	-	-	-	-
	Ventilação	Elet.	-	-	66 809	168 964
	Bombas	Elet.	7 827	19 569	7 827	19 569
	AQS	GN	154 403	154 403	234 423	234 423
	Iluminação Interior	Elet.	8 131	20 327	15 597	38 993
	Iluminação Exterior	Elet.	-	-	-	-
	Iluminação Interior ENU	Elet.	132	331	449	1 122
T	Equipamentos	Elet.	67 597	168 993	67 597	168 993
		GN	-	-	-	-
	Ventilação Hottes	Elet.	-	-	-	-
	Meios de Elevação	Elet.	-	-	-	-
	Solar Térmico	REN.	105 475	105 475	-	-
REN	Solar Fotovoltaico + Eólico	REN.	27 310	68 275	-	-
	Renovável BC	REN.	11 897	11 897	-	-
Total			284 175	445 522	431 153	716 732

ANEXO A



ANEXO B

ANEXO C

ANEXO D




Relatório de simulação de sistema solar fotovoltaico																			
Sumário																			
Instalação em Res IPL - Bloco D (Leiria) 77,5 m ² de módulos JAM72-S30-540-MR montagem fixa com inclinação 17° e orientação 20°. Potência: 16,2 kW (nominal)			energia solar incidente: 140 824 kWh/ano produção fotovoltaica potencial (DC): 28 036 kWh/ano perdas do sistema (DC): -753 kWh/ano perdas e consumos parasíticos (AC): -652 kWh/ano produção (AC): 25 512 kWh/ano autoconsumo (AC): 25 510 kWh/ano			Índices de desempenho produtividade técnica: 1575 kWh/kW instalado aproveitado: 1575 kWh/kW instalado rendimento relativo: 84% (performance ratio) i.e. 17% da energia incidente necessidades cobertas: 24%													
Local e clima																			
NUTS III: Píhal Litoral			Município: Leiria			Local: Res IPL - Bloco D			elevação: Píhal Litoral m			albedo: 18%							
obstruções do horizonte																			
azimute:	E	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	NE	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	S
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
azimute:	S	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	NW	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	W
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Configuração e operação do sistema solar fotovoltaico																			
Sistema fotovoltaico ligado à rede, com 30 módulos JAM72-S30-540-MR (77,5 m ²) com inclinação 17° e orientação 20°. Potência nominal da instalação 16,2 kW; módulos organizados em 2 fileiras (strings). A tensão máxima é 83 V. Degradação máxima do rendimento dos módulos: 0,2% por ano (informação não utilizada em cálculos). Perdas ambientais: 0,5% por variação espectral, 0,5% por deposição de poeiras e sujidades sobre os módulos. Perdas eléctricas (DC): 1,0% na interconexão de módulos, 0,7% perdas resistivas gerais. Perdas operacionais: 6 horas (diurnas) para manutenção e reparação de avarias. Bloco de Inversão e controlo típico A+ (97%) com eficiência 97,0% (definição Europeia). Perdas de 0,5% em transmissão e transformação para ligação à rede BT. Consumos parasíticos: 0,05 kWh/ano para ventilação. Sem baterias. Sistema explorado em regime de autoconsumo.																			
Aproveitamento do recurso solar																			
radiação solar directa		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual					
	horizontal (à superfície)	3,6	5,8	9,1	12,1	15,4	18,5	18,8	17,9	12,5	7,6	4,5	2,8	18,9	kWh/m ² .dia				
	incidente nos módulos	5,5	7,9	11,0	13,1	15,6	18,1	18,6	18,8	16,4	9,8	6,6	4,5	12,3	kWh/m ² .dia				
	absorvida pelos módulos	5,4	7,7	10,8	12,9	15,3	18,7	18,3	18,5	16,1	9,6	6,4	4,3	11,9	kWh/m ² .dia				
radiação solar global		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual					
	no topo da atmosfera	15,5	20,8	28,0	34,9	39,8	41,7	40,6	36,6	30,4	21,1	16,9	11,9	38,5	kWh/m ² .dia				
	na horizontal (à superfície)	7,4	10,6	15,8	20,1	24,1	27,5	27,4	24,7	18,7	12,8	8,0	6,2	16,9	kWh/m ² .dia				
	incidente nos módulos	9,7	13,2	18,3	21,3	24,4	27,1	27,4	25,9	21,0	15,5	10,5	8,2	18,5	kWh/m ² .dia				
	absorvida pelos módulos	9,3	12,7	17,5	20,6	23,6	26,3	26,5	25,1	20,3	14,9	10,1	7,9	17,9	kWh/m ² .dia				
Desempenho energético																			
temperatura		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual					
	ambiente (média diária)	10	11	13	14	16	19	22	21	20	17	14	12	16	°C				
	nos módulos (média diurna)	31	32	35	34	37	40	45	49	48	43	39	33	39	°C				
energia		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual					
	radiação solar incidente	6 204	7 625	11 701	13 288	15 737	16 968	17 681	16 781	13 101	9 967	6 528	5 343	140 824	kWh				
	produção fotovoltaica (DC)	1 276	1 563	2 378	2 672	3 133	3 443	3 441	3 267	2 576	2 001	1 323	1 072	28 036	kWh				
	perdas do sistema (DC)	-34	-42	-64	-72	-84	-83	-88	-89	-69	-54	-36	-19	-753	kWh				
	consumos parasíticos (AC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	kWh				
	outras perdas (AC)	-43	-53	-81	-91	-106	-117	-117	-111	-87	-68	-45	-36	-652	kWh				
	produção disponível (AC)	1 169	1 422	2 164	2 432	2 851	3 133	3 131	2 973	2 344	1 821	1 204	976	25 512	kWh				
	necessidades do edifício (AC)	8 866	8 008	8 866	8 580	8 866	8 866	8 866	8 866	8 580	8 866	8 580	8 866	104 890	kWh				
autoconsumo (AC)	1 161	1 422	2 164	2 431	2 850	3 031	3 131	2 973	2 344	1 821	1 204	976	25 510	kWh					
acumulado entregue à rede, passível de remuneração (AC)	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	kWh				
Avaliação do desempenho																			
rendimento global:	17%	da energia incidente		produtividade técnica:	1575 kWh/kW instalado														
rendimento relativo:	84%	(performance ratio)		i.e.:	329 kWh/m ² instalado														
				exploração real:	1575 kWh/kW instalado														
				i.e.:	329 kWh/m ² instalado														
Análise para DL 153/2014 (Unidades de Produção Distribuída)																			
Potência do sistema:	16,2 kW	- deve ser menor que a potência contratada																	
	25 512 kWh <	[produção anual < consumo anual]																	
Passível de remuneração:	2 kWh																		

12/05/2023 10:51

K017513

ANEXO E




Direção Geral de Energia e Geologia

Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico										1/2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Sumário																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Instalação em Res IPL - Bloco D (J. Vieira) 32 coletores SOL 250 » painel de 75,84 m ² (Inclinação 35° e azimute 0°) » 2 depósitos 3000 l, modelo 3000-IN/PC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
				Necessidades de energia: AGS Energia útil solicitada: 215 372 kWh - satisfeitas por origem solar: 105 475 kWh - satisfeitas pelo apoio: 109 897 kWh				Indicadores principais (sistema solar) rendimento: 76% produtividade: 1391 kWh/m ² perdas: 4%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Local e clima																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
NUTS III: Pinhal Litoral		Município: Leiria		Local: Res IPL - Bloco D				elevação: 59 m		albedo: 20%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
obstruções do horizonte																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
azimute: E		-85° -80° -75° -70° -65° -60° -55° -50°		NE		-40° -35° -30° -25° -20° -15° -10° -5°				S																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
altura angular:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
azimute: S		5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40°		NW		50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85°				W																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
altura angular:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Configuração do sistema solar																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Sistema solar por medida, em circulação forçada, com 75,8 m ² de coletores com inclinação 35° e orientação 0°, » armazenamento de água sanitária com 6000 litros, apoio de montagem em paralelo com controlo proporcional. Circuito primário com 100 m de comprimento, sem permutador externo, tubagens de calibre 47 mm, isolamento em poliuretano com 40 mm de espessura. Bombas de 170 W, garantindo um caudal nominal de 42 l/m ² por hora, fluido circulante com 25% de anticongelante. 32 coletores SOL 250 - certificado não disponível de desconhecido, dados inseridos por (válido até 1999-12-31). Área de abertura 2,37 m ² , coeficientes de perdas térmicas a1 = 3,48 W/m ² K e a2 = 0,018 W/m ² K, rendimento óptico = 95%. 2 depósitos de modelo 3000-IN/PC, com capacidade 3000 litros, em posição ; coeficiente de perdas térmicas global = 18,5 W/K, paredes em INOX, temperatura máxima de operação 90°C. Apoio energético fornecido por sistema térmico5 (gás natural) com eficiência nominal 87%. Água quente distribuída por tubagens de calibre 50 mm isoladas por poliuretano com espessura 10 mm, com 100 m entre depósito e pontos de consumo.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Necessidades de água quente (em volume)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
segunda a sexta-feira																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>jan</th> <th>fev</th> <th>mar</th> <th>abr</th> <th>mai</th> <th>jun</th> <th>jul</th> <th>ago</th> <th>set</th> <th>out</th> <th>nov</th> <th>dez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td></tr> <tr><td>7</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>8</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td></tr> <tr><td>9</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td></tr> <tr><td>10</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td></tr> <tr><td>11</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td></tr> <tr><td>12</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td></tr> <tr><td>13</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td></tr> <tr><td>14</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td></tr> <tr><td>15</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>16</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td></tr> <tr><td>17</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td></tr> <tr><td>18</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>19</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>20</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td></tr> <tr><td>21</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td></tr> <tr><td>22</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>23</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>24</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>total</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td></tr> </tbody> </table>													jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	7	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	8	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	9	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	11	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	12	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	13	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	14	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	15	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	16	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	17	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	18	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	19	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	20	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	21	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	22	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	23	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	total	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
8	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
9	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
10	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
11	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
12	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
13	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
14	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
15	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
16	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
17	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
18	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
19	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
20	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
21	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
22	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
23	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
total	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
fim-de-semana																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>jan</th> <th>fev</th> <th>mar</th> <th>abr</th> <th>mai</th> <th>jun</th> <th>jul</th> <th>ago</th> <th>set</th> <th>out</th> <th>nov</th> <th>dez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td></tr> <tr><td>7</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>8</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td></tr> <tr><td>9</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td></tr> <tr><td>10</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td></tr> <tr><td>11</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td></tr> <tr><td>12</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td><td>942</td></tr> <tr><td>13</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td></tr> <tr><td>14</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td><td>900</td></tr> <tr><td>15</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>16</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td></tr> <tr><td>17</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td></tr> <tr><td>18</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>19</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>20</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td></tr> <tr><td>21</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td></tr> <tr><td>22</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>23</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr> <tr><td>24</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>total</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td><td>14042</td></tr> </tbody> </table>													jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	7	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	8	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	9	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	11	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	12	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	13	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	14	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	15	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	16	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	17	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	18	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	19	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	20	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	21	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	22	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	23	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	total	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
8	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
9	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
10	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
11	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
12	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942	942																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
13	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
14	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
15	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
16	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
17	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
18	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
19	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
20	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
21	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
22	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
23	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
total	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042	14042																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	



Relatório de simulação de sistema solar térmico - continuação													2/2	
Aproveitamento do recurso solar														
radiação solar directa		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
	horizontal (à superfície)	1,0	1,6	2,5	3,4	4,3	5,4	5,5	5,0	3,5	2,1	1,2	0,8	3,0 kWh/m².dia
	incidente nos colectores	2,0	2,7	3,4	3,6	4,0	4,7	4,9	5,1	4,3	3,2	2,4	1,7	3,5 kWh/m².dia
	absorvida pelos colectores	1,9	2,5	3,2	3,4	3,5	4,0	4,2	4,6	4,0	3,0	2,2	1,6	3,2 kWh/m².dia
radiação solar global		média	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
	no topo da atmosfera	4,3	5,8	7,8	9,7	11,0	11,6	11,3	10,2	8,4	6,4	4,7	3,9	7,9 kWh/m².dia
	na horizontal (à superfície)	2,1	2,9	4,4	5,6	6,7	7,6	7,6	6,9	5,2	3,5	2,2	1,7	4,7 kWh/m².dia
	incidente nos colectores	3,3	4,3	5,5	5,9	6,5	7,0	7,1	7,1	6,2	4,9	3,6	2,8	5,3 kWh/m².dia
	absorvida pelos colectores	2,8	3,6	4,6	4,9	5,2	5,5	5,6	6,0	5,3	4,2	3,0	2,3	4,4 kWh/m².dia
Desempenho energético														
temperaturas		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
	ambiente	10	11	13	14	16	19	22	21	20	17	14	12	16 °C
	abastecimento de água	13	14	14	15	16	18	19	19	18	16	15	14	16 °C
	base do armazenamento	18	20	12	15	12	11	12	16	23	18	18	16	16 °C
	topo do armazenamento	30	49	67	66	68	71	83	67	76	57	47	34	60 °C
	pretendida no consumo	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52 °C
massas		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
	energia primária (gás natural)	14 042	14 042	14 042	14 042	14 042	14 042	14 042	14 042	14 042	14 042	14 042	14 042	14 042 litros/dia
	extraída do armazenamento	3 947	4 948	5 178	5 193	5 622	5 787	5 431	6 027	5 569	5 136	4 405	3 649	5 066 litros/dia
	nota: adicionada	10 095	9 094	8 864	8 849	8 420	8 255	8 611	8 015	8 473	8 906	9 637	10 393	8 976 litros/dia
balanço de energia	- sistema solar													
	nota: radiação solar na horizontal	4 848	6 246	10 339	12 697	15 749	17 352	17 808	16 131	11 794	8 343	5 054	4 067	130 488 kWh
	energia primária (radiação solar incidente)	7 682	9 047	12 904	13 500	15 171	15 834	16 708	16 723	14 057	11 525	8 092	6 538	147 781 kWh
	energia solar captada	5 405	6 325	9 673	10 918	11 282	11 804	12 688	13 016	10 508	8 678	6 043	4 759	111 189 kWh
	perdas térmicas no circuito primário	35	44	48	50	39	33	35	57	61	48	32	25	508 kWh
	perdas térmicas no armazenamento	132	210	360	355	369	372	507	305	489	304	203	92	3 760 kWh
	consumos eléctricos parasitários	44	45	57	59	65	67	67	63	54	53	42	42	658 kWh
	energia final (calor de origem solar)	5 333	6 217	10 091	10 201	11 553	12 116	12 724	13 467	10 273	8 779	6 143	4 841	111 732 kWh
	- sistema de apoio													
	energia primária (eletricidade via SEP)	16 912	26 995	23 135	21 647	19 543	16 723	15 106	16 332	15 915	23 916	30 158	38 594	284 995 kWh
	energia final (calor)	14 745	10 798	9 254	8 659	7 825	6 689	6 042	6 533	6 346	9 566	12 063	15 438	133 998 kWh
	- circuito de distribuição													
	perdas térmicas	223	170	150	142	135	124	113	126	116	164	191	231	1 884 kWh
- fornecimento de água quente														
necessidades (consumo de energia útil)	19 717	17 546	19 032	18 309	18 158	16 815	16 867	16 875	16 658	17 969	18 257	19 398	215 372 kWh	
energia de origem solar (útil)	5 232	6 411	9 928	9 795	10 826	10 834	11 436	11 343	10 254	8 606	6 190	4 631	105 475 kWh	
energia com origem no apoio (útil)	14 485	11 135	9 104	8 514	7 332	5 981	5 431	5 512	6 354	9 363	12 067	14 768	109 897 kWh	
Desempenho global do sistema														
SISTEMA MAL DIMENSIONADO!														
fracção solar	40% em termos de energia útil													
produtividade	1391 kWh/m² de coletor													
i.e.	84% da produtividade limite dos colectores, 1650 kWh/m²													
rendimento - definição física	70% em relação à energia solar no plano dos colectores													
rendimento - definição estatística	81% em relação à energia solar na horizontal													
perdas térmicas e consumos parasitários	4% da energia solar captada													
(*) estas avaliações podem não ser adequadas se as cargas térmicas tiverem grande variação durante o semestre e/ou ano.														

ANEXO F

 Pequena turbina eólica outros sistemas	
(Leiria, Pinhal Litoral) ⓘ local não monitorizado	turbina: exemplo pequena turt potência nominal: 2 400 W regime: autoconsumo
ⓘ tempo equivalente de funcionamento à potência nominal (NEPs): 750 horas ▼ ▼ ▼	Desempenho Necessidades: 104 748 kWh Produção: 1 800 kWh para injectar na RESP » 0 kWh autoconsumo (máximo)* » 1 800 kWh (E _{ren})
(sem monitorização)	