

# **Integração da Mobilidade Elétrica na Gestão Energética em Edifícios**

**TIAGO MIGUEL GOMES LUIS MOUTINHO**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de Especialização de Energia, Refrigeração e Climatização

**Orientadores:**

Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte  
Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

**Júri:**

Presidente: Doutor Pedro Miguel de Abreu e Silva  
Vogais:

Doutor Ricardo Manuel Anacleto Gomes  
Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte



# **Integração da Mobilidade Elétrica na Gestão Energética em Edifícios**

**TIAGO MIGUEL GOMES LUIS MOUTINHO**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de Especialização de Energia, Refrigeração e Climatização

**Orientadores:**

Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte, ISEL/IPL  
Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca, ISEL/IPL

**Júri:**

Presidente: Doutor Pedro Miguel de Abreu e Silva, ISEL/IPL

Vogais:

Doutor Ricardo Manuel Anacleto Gomes, IST/UL  
Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte, ISEL/IPL

# Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer à minha família, ao meu pai, à minha mãe e à minha irmã, que me apoiaram e tornaram possível todas as minhas conquistas académicas e profissionais; à minha madrinha, aos meus tios e primos, aos meus avós, e em especial ao meu avô que tenho eterno respeito.

Agradecer ao Dr. Luís e ao Dr. Gomez, que num momento complicado conseguiram-me ajudar a ultrapassar e a recuperar um enorme desafio físico e mental. Um eterno obrigado.

Aos meus amigos que me acompanharam neste percurso académico, obrigado ao Ruben, ao Daniel, ao Mário, ao Carlos, ao André, ao Miguel e ao Pedro.

Agradecer aos meus orientadores, ao Professor Doutor Gonçalo Duarte e à Professora Doutora Cláudia Casaca, pelo apoio e orientação que me deram ao longo deste período de desenvolvimento do trabalho, e durante todo o meu percurso académico. Um muito obrigado pela paciência, ajuda e voto de confiança.

Aos meus colegas de trabalho, à Sara, ao David, à Isabel, ao Nuno e à Sónia, um obrigado pelo apoio, motivação e ajuda da forma que cada um conseguiu.

A todos, muito obrigado.



# Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor



Lisboa, ...11. de ~~Dezembro~~... de 2024



# Integração da Mobilidade Elétrica na Gestão Energética em Edifícios

## Resumo

A Diretiva 2010/31/UE sobre o desempenho energético dos edifícios sugeriu a implementação de várias políticas de eficiência energética de forma a alcançar o conceito de edifício *Nearly Zero Energy Building* (nZEB). Estes edifícios com necessidades energéticas quase nulas possuem consumos energéticos muito abaixo dos convencionais, principalmente por conseguirem ser autossuficientes, com auxílio de sistemas de produção de energia renovável, conseguindo satisfazer grande parte das suas necessidades.

O presente trabalho consiste em integrar as cargas utilizadas num edifício com a mobilidade elétrica, através da implementação de um código computacional, que monitoriza vários perfis de mobilidade, fazendo a gestão de todas as cargas presentes com base nas características de um edifício existente, de forma a conseguir minimizar os consumos da rede e torná-lo ao nível de um edifício nZEB.

A gestão de cargas permite conjugar diferentes possibilidades de utilização do veículo elétrico (VE), tirando partido do mesmo em períodos críticos do dia. O uso do VE tem ainda em consideração o seu consumo, o seu carregamento dentro e/ou fora da habitação, e a sua interação com outros componentes considerados na habitação.

No que diz respeito ao cálculo da classificação energética (CE), houve a necessidade de se adaptar o VE, pois a sua interligação com as restantes fontes de energia, renováveis e não-renováveis, fará com que a origem da energia que fornece varie, permitindo que haja diferentes resultados mediante as considerações iniciais.

Os principais resultados sugerem que o VE em conjunto com um sistema de painéis fotovoltaicos (PF) contribui positivamente para a diminuição do consumo da rede. Caso parte da energia armazenada no VE seja contabilizada na CE como renovável, ocorre uma melhoria na CE do edifício.

Assim, este trabalho passa também por alertar o impacto que o VE tem quando introduzido na CE e discutir a sua própria classificação.

Palavras-chave: Gestão Energética, Energia Renovável, Veículo Elétrico, Certificação Energética, Edifício nZEB



# Integration of Electric Mobility into Energy Management in Buildings

## Abstract

The 2010/31/EU Directive on the energy performance of buildings proposed the implementation of various energy efficiency policies to achieve the concept of Nearly Zero Energy Buildings (nZEB). These buildings have nearly zero energy needs and consume significantly less energy than conventional buildings, mainly because they are self-sufficient, utilizing renewable energy production systems to meet a large portion of their energy requirements.

This study focuses on integrating the energy loads of a building with electric mobility by implementing a computational code that monitors various mobility profiles. It manages all energy loads based on the characteristics of an existing building to minimize grid consumption and align it with nZEB standards.

Load management enables the exploration of different uses for electric vehicles (EVs), optimizing their use during critical times of the day. The EV's consumption, its charging inside and/or outside the house, and its interaction with other household components are all taken into account.

Regarding energy classification (EC) calculations, it was necessary to adapt the EVs since their connection with other energy sources, both renewable and non-renewable, affects the origin of the energy they supply. This results in varying outcomes based on initial considerations.

The main results suggest that the EV, combined with a photovoltaic (PV) panel system, positively contributes to reducing grid consumption. If part of the energy stored in the EV is considered renewable in the EC calculation, it improves the building's energy classification.

Thus, this work also aims to highlight the impact of the EV on the energy classification of the house, but also to discuss its own classification.

Keywords: Energy Management, Renewable Energy, Electric Vehicle, Energy Certification, nZEB building (nearly Zero-Energy Building)



# Lista de Símbolos e de siglas

## Alfabeto romano

$A$	Área de Instalação do Painel Fotovoltaico [ $m^2$ ]
$A_p$	Área interior útil de pavimento [ $m^2$ ]
$e$	Espessura [ $m$ ]
$F_{PU}$	Factor de Conversão de Potência [ $kWh_{EP}/kWh$ ]
$GD$	Número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de 18 [ $^{\circ}C$ ]
$H_{tr,i}$	Coefficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento [ $W/^{\circ}C$ ]
$H_{ext}$	Coefficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [ $W/^{\circ}C$ ]
$H_{enu}$	Coefficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com espaços interiores não úteis [ $W/^{\circ}C$ ]
$I$	Irradiação Solar [ $W/m^2$ ]
$N_I$	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para aquecimento de Referência [ $kWh_{ep}/m^2 \text{ ano}$ ]
$N_{TC}$	Necessidades Nominais de Energia Primária [ $kWh_{EP}/m^2 \cdot \text{mês}$ ]
$N_T$	Necessidades Nominais de Referência de Energia Primária [ $\frac{kWh_{EP}}{m^2} \cdot \text{mês}$ ]
$N_P$	Número de cada Painel Fotovoltaico
$P$	Potência do sistema fotovoltaico [ $W$ ]
$P_d$	Pé direito médio ponderado [ $m$ ]
$R_{Nt}$	Rácio de Classe Energética Associada a Habitações
$U_W$	Coefficiente de Transmissão Térmica da Janela [ $W/m.K$ ]
$U_i$	Coefficiente de transmissão térmica do elemento $i$ da envolvente [ $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ ]

## Alfabeto grego

$\eta$	Eficiência do Painel Fotovoltaico
$\psi_j$	Coefficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear $j$ [ $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ ]
$\eta_{iref}$	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento
$\theta_{ref,v}$	Temperatura interior de referência na estação de arrefecimento [ $^{\circ}C$ ]
$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média na estação de arrefecimento [ $^{\circ}C$ ]
$\lambda$	Condutibilidade térmica [ $W/m.K$ ]

## Siglas

$AC$	Corrente Alternada
$APA$	Agência Portuguesa do Ambiente
$AQS$	Águas Quentes Sanitárias
$AVAC$	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

*BE – Bateria Estacionária*  
*BEV – Battery Electric Vehicle*  
*BTN – Baixa Tensão Normal*  
*CE – Central Europeu*  
*CFB – Consumo Final Bruto*  
*DC – Corrente Contínua*  
*DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia*  
*DL – Decreto-Lei*  
*EED – Energy Efficiency Directive*  
*EM – Estados-Membros*  
*EPBD – Energy Performance of Buildings Directive*  
*EPS – Polietireno Expandido*  
*ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos*  
*FER – Fonte de Energia Renovável*  
*GD – Graus-Dias*  
*GEE – Gases com Efeito de Estufa*  
*GPL – Gases de Petróleo e Liquefeito*  
*HAP – Hourly Analysis Program*  
*HEV – Hybrid Electric Vehicle*  
*ICB – Cortiça Expandida Aglomerada*  
*INE – Instituto Nacional de Estatística*  
*LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil*  
*MW – Lã Mineral*  
*nZEB – Nearly Zero Energy Building*  
*PEB – Positive Energy Building*  
*PED – Positive Energy District*  
*PF – Painel Fotovoltaico*  
*PHEV – Plug-In Hybrid Electric Vehicle*  
*PMDEE – Plano de Melhoria de Desempenho Energético dos Edifícios*  
*PNAER – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética*  
*PNIEC – Plano Nacional Integrado de Energia e Clima*  
*PUR/PIR – Poliuretano e Poliisocianurato*  
*PVC – Policloreto de Vinila*  
*RECS – Regulamento dos Edifícios de Comércio e Serviços*  
*REH – Regulamento dos Edifícios de Habitação*  
*SCE – Sistema de Certificação Energética*  
*SOC – State of Charge*  
*UE – União Europeia*  
*UPAC – Unidade de Produção para Autoconsumo*  
*V2B<sup>2</sup> - Building-to-Vehicle-to-Building*  
*V2G – Vehicle-to-Grid*  
*V2H – Vehicle-to-Home*

*VE – Veículo Elétrico*

*VSP – Vehicle Specific Power*

*XPS – Polietireno Extrudido*



# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>i</b>
<b>Declaração de integridade</b> .....	<b>iii</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>v</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista de Símbolos e de siglas</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xv</b>
<b>Índice de quadros</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos .....	6
1.3 Estrutura da dissertação .....	7
<b>2 Estado da Arte</b> .....	<b>9</b>
2.1 Conceito nZEB .....	9
2.1.1 <i>Categorias nZEB</i> .....	12
2.1.2 <i>Envolvente opaca, superfícies envidraçadas e iluminação</i> .....	13
2.1.3 <i>Equipamentos de climatização</i> .....	19
2.1.4 <i>Renováveis</i> .....	26
2.2 Mobilidade Elétrica .....	28
2.3 Interação Veículo – Habitação .....	30
<b>3 Metodologia</b> .....	<b>35</b>
3.1 Caracterização dos dados do caso de estudo (inputs).....	36
3.1.1 <i>Habitação: Características e Necessidades Energéticas</i> .....	36
3.1.2 <i>Implementação do sistema de painéis fotovoltaicos</i> .....	38
3.1.3 <i>Características do veículo elétrico e horário de utilização</i> .....	40
3.1.4 <i>Características do sistema de bateria estacionária</i> .....	42
3.2 Parâmetros caracterizadores (outputs).....	43
3.2.1 <i>Certificação Energética</i> .....	43
3.2.2 <i>Análise Energética</i> .....	52
3.2.3 <i>Análise de emissões de gases com efeito de estufa</i> .....	54
3.2.4 <i>Análise e Gestão Energética do edifício</i> .....	56
<b>4 Resultados e Análise</b> .....	<b>65</b>
4.1 Necessidades Energéticas da Habitação .....	65
4.2 Painéis Fotovoltaicos .....	68
4.3 Veículo Elétrico .....	69

4.4	Bateria estacionária .....	74
4.5	Certificação Energética .....	78
<b>5</b>	<b>Conclusões e trabalho futuro .....</b>	<b>89</b>
5.1	Conclusões.....	89
5.2	Trabalho futuro .....	91
	<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>93</b>
	<b>Apêndices .....</b>	<b>99</b>

# Índice de figuras

Figura 1.1 - Consumo de energia final por sector de atividade em Portugal, ano 2020 (Adaptado de: [3]) .....	2
Figura 1.2 - Consumo de energia final por sector de atividade em Portugal, ano 2022 (Adaptado de [4]) .....	2
Figura 1.3 - Consumo no sector residencial (Fonte: DGEG [4]) .....	3
Figura 2.1 - Sistemas de iluminação mais comuns em nZEB [adaptado de [18]] .....	18
Figura 2.2 - Sistemas de iluminação mais usados em habitações portuguesas [adaptado de [19]] .....	18
Figura 2.3 - Soluções de equipamentos para aquecimento mais usados em nZEB (adaptado de [18]) .....	20
Figura 2.4 - Soluções de equipamentos para AQS mais usados em nZEB (adaptado de [24]) .....	21
Figura 2.5 - Equipamentos usados para aquecimento em habitações portuguesas (adaptado de [25]) .....	22
Figura 2.6 - Equipamentos usados para arrefecimento em habitações portuguesas (adaptado de [25]) .....	23
Figura 2.7 - Equipamentos usados para AQS em habitações portuguesas (adaptado de [25]) .....	23
Figura 2.8 - Requisitos mínimos de eficiência de equipamentos do tipo bomba de calor em função da sua operação (adaptado de [35]) .....	25
Figura 2.9 - Soluções de energias renováveis mais usadas em nZEB (adaptado de [18]) .....	26
Figura 2.10 - Distribuição das vendas dos automóveis ligeiros de passageiros em Portugal por tipo de energia em maio de 2023 [adaptado de [34]] .....	29
Figura 3.1 - Diagrama de inputs e outputs .....	35
Figura 3.2 - Representação em corte longitudinal (esquerda) e alçado este (direita) (adaptado de [48]) .....	36
Figura 3.3 - Representação 3D da moradia [48] .....	36
Figura 3.4 - Método de obtenção dos valores de irradiação para a localização da habitação [49] .....	39
Figura 3.5 - Intensidade de emissões de GEE pela geração de energia elétrica – UE [66] .....	55
Figura 3.6 - Diagrama das diferentes finalidades que os cenários podem alcançar (Cenário 1 – Apenas PF; Cenário 2 – BE + PF) .....	57
Figura 3.7 - Diagrama das diferentes finalidades que o cenário pode alcançar (Cenário 3 – PF+VE) .....	58
Figura 3.8 - Diagrama das diferentes finalidades que o cenário pode alcançar (Cenário 4 – Apenas VE) .....	58
Figura 3.9 - Diagrama das diferentes finalidades que o cenário pode alcançar (Cenário 5 – PF+VE+BE) .....	59

Figura 4.1 - Consumos energéticos de climatização (aquecimento e arrefecimento) para cada mês.....	66
Figura 4.2 - Gráfico de consumo diário de climatização durante o mês de julho.....	67
Figura 4.3 - Gráfico de consumo diário de climatização durante o mês de janeiro.....	67
Figura 4.4 - Consumo energético durante o mês de julho.....	67
Figura 4.5 - Consumo energético durante o mês de janeiro.....	68
Figura 4.6 - Evolução do SOC do VE com carregamento em casa durante uma semana do mês de janeiro e julho (VE+PF+BE).....	70
Figura 4.7 - Evolução do SOC do VE com carregamento fora de casa durante uma semana do mês de janeiro e julho (VE+PF+BE).....	71
Figura 4.8 - Simulação de convergência de energia da bateria do VE - Início 80% e 60% SOC.....	73
Figura 4.9 - Evolução do SOC da bateria estacionária para os casos VE+PF+BE e PF+BE – Mês de julho.....	75
Figura 4.10 - Evolução do SOC da bateria estacionária para os casos VE+PF+BE e PF+BE – Mês de janeiro.....	75
Figura 4.11 - Classificação Energética de cada caso de estudo, com VE a fornecer 100% energia renovável.....	79
Figura 4.12 - Classificação energética de cada caso de estudo, com o VE a fornecer apenas uma parte de energia renovável.....	79
Figura 4.13 - Uso percentual da rede para as necessidades energéticas da habitação – Julho.....	82
Figura 4.14 - Valor em kWh usado para as necessidades da habitação e carregamento VE.....	83
Figura 4.15 - Fatura mensal para cada caso de estudo e para as 3 tarifas – Julho.....	85
Figura 4.16 - Emissões de CO <sub>2</sub> em [kgCO <sub>2eq</sub> ].....	86

# Índice de quadros

Quadro 2.1 - Tipos de paredes construídas em Portugal [adaptado de [15]].....	14
Quadro 2.2 – Tipos de isolamento térmico e respetiva condutibilidade térmica .....	15
Quadro 2.3 - Tipos de coberturas construídas em Portugal [adaptado de [17]].....	16
Quadro 2.4 - Intervalos de valores potenciais de redução dos custos das tecnologias de aquecimento até 2030 e 2050 (fonte:[23] e adaptado de [18]).....	20
Quadro 2.5 - Requisitos mínimos de eficiência de equipamentos com permuta exterior a ar (adaptado de [35]).....	24
Quadro 2.6 - Requisitos mínimos de eficiência de equipamentos com permuta exterior a água [adaptado de [35]] .....	24
Quadro 2.7 - Custo médio de sistemas aquecimento, arrefecimento e ventilação (adaptado de [24]).....	25
Quadro 2.8 - Custo médio de bombas de calor (adaptado de [24]) .....	26
Quadro 2.9- Intervalos de valores potenciais de redução dos custos das tecnologias renováveis até 2030 e 2050 (fonte:[29] e adaptado de [24]) .....	27
Quadro 2.10 - Custo médio de sistemas renováveis [adaptado de [24]].....	28
Quadro 3.1 - Coeficientes globais de transmissão de calor das envolventes do edifício (adaptado de [48]) .....	37
Quadro 3.2 - Características das janelas.....	37
Quadro 3.3 - Potência da iluminação instalada para cada espaço da habitação [48] .....	38
Quadro 3.4 - Características do modelo do painel fotovoltaico .....	40
Quadro 3.5 - Classificação energética em função do valor de $RNt$ (adaptado de [49]) ...	43
Quadro 3.6 - Fator de conversão de energia primária [adaptado de [60]] .....	45
Quadro 3.7 - Eficiência de referência por sistema em edifícios de habitação [adaptado de [13]] .....	46
Quadro 3.8 - Coeficiente de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação [adaptado de [13]] .....	47
Quadro 3.9 - Coeficiente de transmissão térmica linear de referência em edifícios de habitação [adaptado de [13]].....	47
Quadro 3.10 - Valores usados no cálculo do GD [adaptado de [62]] .....	48
Quadro 3.11 – Valores usados no cálculo do $\theta_{ext,v}$ [adaptado de [62]] .....	52
Quadro 3.12 - Tabela de preços da tarifa de energia – 2023 (adaptado de [56]) .....	53
Quadro 3.13 - Períodos horários [adaptado de [63]] .....	53
Quadro 3.14 - Tarifas indicativas da venda de energia à rede de distribuição [adaptado de [63]] .....	54
Quadro 3.15 - Menu tipo de definição dos inputs .....	56
Quadro 4.1 - Potência produzida diariamente, nos meses de janeiro e julho .....	69
Quadro 4.2 - Utilização de energia (VE+PF+BE): Energia fornecida pela Rede, Energia fornecida pelo VE, Energia utilizada no carregamento do VE casa e fora - Mês Julho .....	72

Quadro 4.3 - Utilização de energia (VE+PF+BE) (VE+PF): Energia fornecida pelo PF, pela BE, Energia produzida pelos PF perdida para a rede, Energia produzida pelos PF para carregamento da BE e VE - Mês Julho.....	76
Quadro 4.4 - Utilização de energia (VE+PF+BE) (VE+PF): Energia fornecida pelo PF, pela BE, Energia produzida pelos PF perdida para a rede, Energia produzida pelos PF para carregamento da BE e VE - Mês Janeiro.....	77
Quadro 4.5 - Valores referentes aos passos intermédios para obtenção da certificação energética.....	78

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

A temática da necessidade do aumento da eficiência energética e uma melhor gestão energética dos edifícios tem vindo a ser cada vez mais tema central em encontros entre estados-membros da União Europeia (UE), justamente por este estar negativamente associado às emissões de gases de efeito de estufa (GEE). Com a dependência global de energia em combustíveis fósseis, as condições ambientais e económicas encontram-se instáveis pelo mundo inteiro. A queima destes combustíveis, para que sejam alcançadas as necessidades energéticas, tem naturalmente grande impacto nas emissões de GEE, sendo a indústria e o uso de automóveis os sectores que têm tido um impacto mais drástico nas emissões de GEE [1].

De todos os sectores em causa, o sector automóvel é considerado um dos maiores responsáveis, com cerca de 1/5 das emissões de CO<sub>2</sub>, sendo 75% por contribuição do sector dos transportes rodoviários. Assim, é necessário haver ações mais rigorosas para controlar o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>, não só por parte do sector dos transportes, mas também pelos sectores produtores de energia. Acompanhando estas ações, é obrigatório também que haja maior desenvolvimento de fontes de energia mais ecológicas que tragam uma promessa de um ambiente mais limpo [1].

Na Europa, observando as parcelas de consumo final de energia entre os diversos sectores de atividade energética, o sector dos edifícios é o que apresenta uma maior fração no consumo final, sendo responsável por 40% das necessidades energéticas, onde 27% é referente aos edifícios residenciais e 13% aos edifícios de serviços [2]. Este sector é responsável por 36% das emissões de dióxido de carbono, fazendo assim com que a eficiência energética dos edifícios seja um elemento central na política da eficiência energética da UE.

De acordo com dados provisórios de 2020 da DGEG [3], e fazendo uma analogia com os valores da UE, verifica-se que o panorama português segue a tendência europeia. Segundo a Figura 1.1, o sector dos edifícios e o sector dos transportes são os que

tiveram maior contribuição no consumo final de energia em Portugal, no ano atípico de 2020. O sector dos edifícios detém uma percentagem total de 32,9% (sendo 19,5% responsável pelo sector doméstico e 13,4% pelo sector de serviços) e o sector dos transportes possui uma contribuição de 32,6%.

O sector dos transportes foi o sector mais penalizado no ano de 2020 devido aos efeitos da pandemia, o que levou a uma forte redução do consumo de combustíveis. Igualmente com o efeito do confinamento, o sector dos serviços também foi um dos mais afetados, o que fez culminar uma transferência de consumos para o sector doméstico.

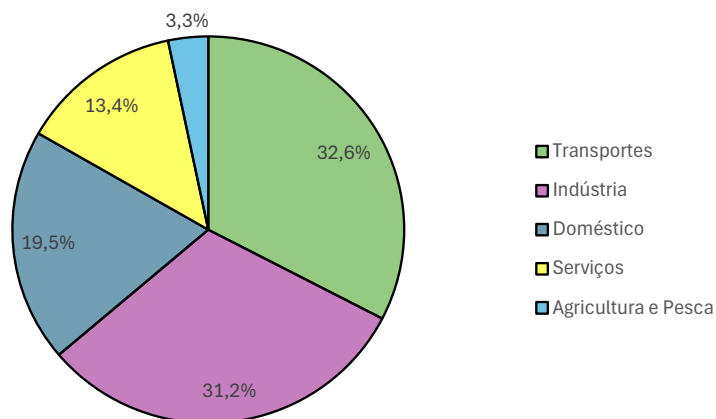


Figura 1.1 - Consumo de energia final por sector de atividade em Portugal, ano 2020 (Adaptado de: [3])

Fazendo comparação com os valores mais recentes em Portugal, em 2022, como ilustra a Figura 1.2, o sector dos transportes foi o que teve maior crescimento em termos de consumo de energia, passando a representar 35,4% do consumo de energia final, sendo um sector que continua a recuperar face aos efeitos causados pela pandemia. O sector dos edifícios, por sua vez teve um decréscimo natural no sector doméstico, e um aumento do sector dos serviços (17,9% e 14,5% respetivamente). Este aumento justifica o facto destes dois setores serem os maiores contribuidores de consumo energético.

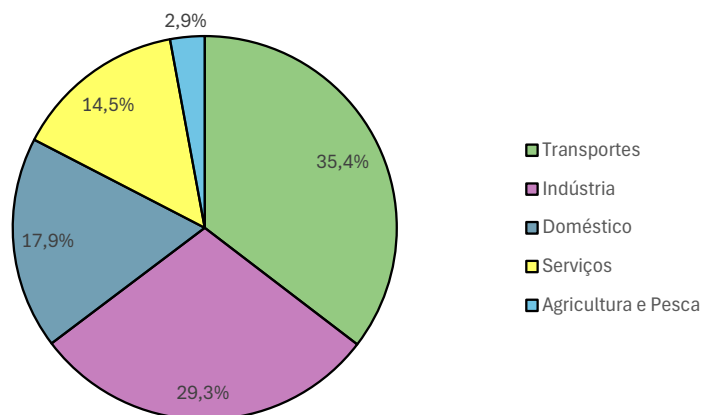


Figura 1.2 - Consumo de energia final por sector de atividade em Portugal, ano 2022 (Adaptado de [4])

No que diz respeito às emissões de GEE, em 2022, Portugal foi o 3º país da UE com as emissões totais de GEE mais baixas por habitante, 30% abaixo do valor médio na UE [4]. Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), no ano de 2022, as emissões de GEE foram estimadas em cerca de 56,4 Mton CO<sub>2eq</sub>. Estas emissões estão distribuídas por 4 sectores, nomeadamente os processos industriais, a agricultura e os resíduos, que representam respetivamente 10,4%, 12,3% e 10%, sendo a restante percentagem (67,2%) agrupada num quarto sector denominado pela APA de sector da “Energia” [5].

Este sector da Energia é composto pela produção e transformação de energia, combustão na indústria, transportes, emissões fugitivas e outros tipos de “energia”, onde a produção de energia e os transportes são as fontes mais importantes, representando, respetivamente, 14,9% e 30,3% do total das emissões nacionais [5].

No sector dos Transportes, de forma a combater o aumento das emissões de GEE, a implementação do uso do veículo elétrico (VE) começa a ser vista como uma solução. Com um gradual aumento de consumo de energia no sector dos transportes, o VE será o ponto fulcral para que as metas nacionais em termos de matéria renovável sejam próximas de alcançar.

Em termos da estrutura energética no sector residencial, sendo este um dos sectores com maior foco neste trabalho, segundo a DGEG [4], em 2022 o consumo de energia final diminuiu 1,4% em relação ao ano anterior. Na Figura 1.3, referente aos consumos no sector doméstico, em ktep, verifica-se que o consumo dos produtos de petróleo, maioritariamente gásóleo de aquecimento e GPL, têm vindo a diminuir gradualmente nos últimos 10 anos, reduzindo em 33,5%. No mesmo período, os consumos de gás natural e eletricidade aumentaram 3,5% e 7,5%, respetivamente.

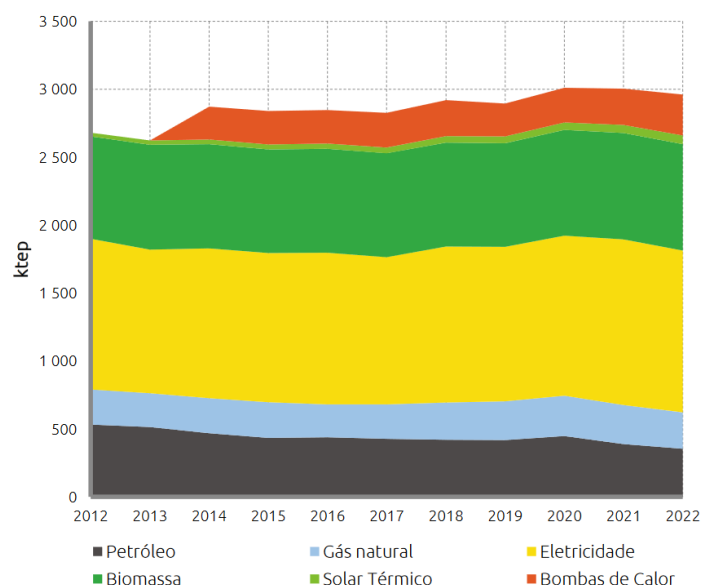


Figura 1.3 - Consumo no sector residencial (Fonte: DGEG [4])

Com o contributo renovável, sendo esta a classificação pronunciada na legislação DGEG [4], assinala-se o crescimento das bombas de calor, subindo para 10,2% do consumo deste sector. Este é um ponto de interesse, pois segundo a legislação, as bombas de calor são consideradas como sendo um equipamento “renovável”, devido à sua elevada eficiência energética. Segundo o Anexo VII da Diretiva 2009/28/CE [6], está definida o método de determinação da quantidade de energia captada pelas bombas de calor que deve ser considerada como energia proveniente de fontes renováveis.

Em relação à energia elétrica renovável, assinalou-se que 61% da eletricidade produzida em 2022 foi de origem renovável. No consumo de energia no sector da habitação, registou-se que o contributo da energia elétrica renovável foi cerca de 62,3% do total consumido neste sector [4].

Perante estes dados do sector da habitação e do cumprimento das metas nacionais em matéria de renováveis e de eficiência energética, segundo a DGEG [4], este sector é o que representa o maior volume de certificados energéticos emitidos, onde dos 2,64 milhões de certificados energéticos emitidos entre 2008 e 2023, 89% referem-se a edifícios de habitação.

Os projetos de certificação energética do ano 2022 para o ano 2023 aumentaram em 18,5% (passaram a existir 52 837 projetos de CE face a 44 600 em 2022) e para o mesmo período a aprovação de novos certificados energéticos aumentaram em 602,1% (numericamente comparando, 3 728 novos certificados em 2023, com 531 em 2022). Face a 2014, o investimento nestes projetos de certificação e a implementação de novos certificados energéticos tem sofrido um crescimento notável, passando de 9 590 projetos em 2014 para 52 837 em 2023, representando um aumento de 3 628% face a 2014 de novos certificados energéticos emitidos.

Diferenciando os certificados energéticos emitidos de edifícios de habitação, 76,6% dos certificados emitidos desde 2014 são de edifícios existentes (de acordo com o Decreto-Lei nº 101-D/2020 [7]), 19,1% referem-se à fase de projeto e 4,2% dizem respeito a certificados emitidos a novos edifícios [4].

Relativamente à classe energética dos certificados emitidos no período de 2014 a 2023, predominam nos edifícios de habitação as classes C, D e E, correspondendo a 57% de todo o parque certificado. Os restantes 35% referem-se às classes A+, A, B e B -.

Neste âmbito da certificação energética dos edifícios, esta nova realidade foi sendo implementada após ter sido desenvolvida a Diretiva 2018/844 do parlamento europeu e do conselho, de 30 de maio de 2018 [8], que alterou a antiga Diretiva 2010/31/EU [9] relativa também ao desempenho energético dos edifícios e a antiga Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética [10]. As metas nacionais nesta matéria de renováveis e eficiência energética, remetem para 2010, onde Portugal submeteu o seu primeiro Plano

Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), cumprindo a obrigatoriedade introduzida pela Diretiva 28/2009/CE, em que todos os países membros da UE teriam de submeter um plano de promoção de utilização de energia renovável [6].

A 11 de dezembro de 2018, o Regulamento da UE 2018/1999, estabelece nova obrigatoriedade para países de estados-membros da UE, de elaboração de novo plano nacional integrado em matéria de energia e clima, com a definição de medidas para atingir o contributo nacional para as metas de 2023, relacionadas com a energia renovável. Portugal estabelece assim o Plano Nacional Integrado de Energia e Clima (PNIEC), com os objetivos das políticas energéticas e climáticas, fazendo assim a substituição, desde 2020, do PNAER. As metas definidas no plano incluem 47% de renovável no consumo final bruto de energia (CFB), 20% de renovável no consumo final de energia nos transportes e 80% de renováveis na produção de eletricidade [4].

Mais recentemente, o Decreto-Lei n.º 84/2022, relativamente à promoção do uso de energias renováveis, estabelece novos objetivos, como 49% de renováveis no consumo final bruto de energia e 29% de renováveis no consumo final no sector dos transportes. A introdução de fontes de energia renováveis (FER) no consumo final tem aumentado consideravelmente em Portugal, tendo-se registado 34,7% em 2022, tornando Portugal o 6º país com maior peso de energia proveniente de FER na UE. Na quota de eletricidade proveniente de fontes renováveis, Portugal é o 4º país com 61% [4].

Assim, com a implementação destas regulamentações no sector dos edifícios, os consumos dos mesmos deverão ser substancialmente reduzidos, permitindo que os edifícios continuem a tornar-se ainda mais autossustentáveis, tornando-se próximos das características de um edifício de necessidades energéticas quase nulas (nZEB – nearly Zero-Energy Buildings). Numa forma introdutória, um edifício nZEB define-se como um edifício de balanço energético quase nulo, de elevada eficiência e com utilização de energia oriunda de fontes de energia renovável produzidas no local ou nas suas proximidades, com recurso quase nulo de energia proveniente da rede de distribuição de energia.

No sector dos transportes, os consumos estão a ser combatidos principalmente com a gradual transição para o veículo elétrico (VE), sendo este o sector com maior consumo de energia final bruta, predominantemente dominado pelos veículos de motores a combustão interna. O VE torna-se cada vez mais como o maior candidato para a mudança neste sector, contribuindo para a diminuição das emissões de GEE. A isto alia-se o facto de, a partir de 2035, todos os veículos novos que entram no mercado não poderão emitir quaisquer emissões de CO<sub>2</sub> [11].

A conjugação das medidas de melhoria nestes dois grandes sectores, como o investimento em materiais de construção e equipamentos mais eficientes, a

implementação da obrigatoriedade de instalação de unidades de produção para autoconsumo (UPAC), no desenvolvimento de novos edifícios e renovações, e a ascensão do VE no sector automóvel, tornar-se-á um passo importante para o desenvolvimento energético sustentável e descarbonizado.

Sendo este o ponto de partida do presente trabalho, observando o edifício como um produtor e consumidor de energia, a ligação com a mobilidade elétrica poderá permitir que o VE consiga adquirir mais valias, integrando-se com a gestão de cargas dos edifícios, tornando-se um meio de ligação energético entre os dois cenários. Adicionalmente, será analisado o potencial que o VE terá quando enquadrado na regulamentação do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que sendo bem-sucedido, poderá fazer catapultar a importância do VE, alterar a visão do que é e será o veículo no futuro, dar um novo propósito e solução para as baterias, e transformar o VE para além do uso para o mero transporte.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo desta dissertação é analisar a contribuição das cargas bidirecionais do VE no desempenho energético de uma moradia, nomeadamente no impacto na certificação energética da habitação e reforçar quão significativo é o peso da mobilidade elétrica na gestão de energia. Assim, modelando um caso de estudo que contenha diferentes tipos de perfis de mobilidade, pretende-se avaliar a contribuição do veículo elétrico na melhoria do desempenho energético do edifício, de acordo com a regulamentação em vigor, bem como encontrar uma solução para que a mobilidade elétrica consiga mais facilmente integrar a classificação energética dos edifícios.

Desta forma, foi desenvolvida uma ferramenta de otimização energética de maneira a conseguir gerir e monitorizar numericamente as cargas da habitação em conjunto com várias configurações, como o recurso a um sistema de painéis fotovoltaicos e uma bateria estacionária (BE), criando diferentes cenários de análise. Em conjunto com a introdução da mobilidade elétrica, esta pode ser considerada como consumidor (carregamento) ou fonte (cedência de energia armazenada). Nesta fase de desenvolvimento do código computacional, definiu-se todos os parâmetros que dão início à simulação, bem como a definição dos dados base de consumo da habitação.

Com base nestes dados iniciais, consegue-se chegar aos valores de consumos mensais para cada caso de estudo com as diferentes configurações, e assim desenvolver-se a metodologia de cálculo para a certificação energética. É neste parâmetro que serão usadas as premissas da legislação em vigor, e adaptadas pontualmente para poderem ser ajustadas a este caso de estudo.

Assim, com a metodologia de cálculo do consumo energético e da certificação energética, avalia-se os consumos energéticos da habitação e as alterações que estes fazem na certificação energética. Dentro destas análises, concilia-se ainda o consumo com diferentes tarifas, a sua autossuficiência face a um cenário de controlo, e por fim o enquadramento com as emissões de gases com efeito de estufa que cada um dos casos alcança, com o objetivo de cruzar os dados com as metas implementadas para a UE e Portugal.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

O presente documento está dividido em 5 capítulos, sendo este primeiro dedicado ao enquadramento do tema, que aborda as preocupações com a eficiência e gestão energética dos edifícios devido ao excessivo consumo de energia, associado também ao constante aumento das emissões de gases de efeito de estufa. São enunciados os principais objetivos a alcançar com o presente trabalho, que pretende de uma maneira geral estudar principalmente o impacto da introdução do veículo elétrico nos consumos de numa habitação.

O segundo capítulo é dedicado à caracterização do estado da arte referente ao tema, começando pela descrição da ideologia nZEB, com a explicação do conceito, das suas diferentes categorias e de todos os componentes que caracterizam um edifício com elevada eficiência energética, como as características das envolventes, o sistema de iluminação, os equipamentos de climatização e os sistemas renováveis. Segue-se com a explicação da mobilidade elétrica em Portugal, e a sua evolução, terminando com exemplos e casos de estudo da integração do VE com a habitação, ilustrando o efeito que a conjugação traz na melhoria e poupança de consumo energético da habitação e VE.

O terceiro capítulo aborda o caso de estudo, sendo esta a secção do trabalho mais extensiva, onde são introduzidas as entradas (inputs) e saídas (outputs) do caso de estudo, estando o capítulo estruturado de forma a enumerar os passos efetuados desde a implementação dos dados, às características dos ativos, aos métodos de cálculo usados e às considerações/adaptações que tiveram de ser impostas ao caso de estudo. De forma mais detalhada, no âmbito das entradas são apresentadas as características da habitação, a implementação do sistema fotovoltaico e as características do VE e do sistema de BE. No âmbito das saídas, são descritos os métodos usados para a determinação da certificação energética da habitação, da análise económica, do cálculo das emissões de gases com efeito de estufa, e da gestão energética total.

No quarto capítulo pode-se encontrar os resultados e análise dos estudos propostos, estando estes divididos de forma semelhante ao terceiro capítulo, onde estão

identificados os valores finais obtidos para as necessidades energéticas da habitação, a energia produzida pelo sistema de painéis fotovoltaicos, o consumo do VE e a contribuição energética da BE quando considerada em conjunto com os restantes fatores. A parte final do capítulo quatro refere-se à discussão de resultados relacionados com a certificação energética obtida para os diferentes cenários, incluindo na mesma análise os valores económicos, as emissões e a gestão energética global.

O quinto capítulo é dedicado à conclusão do trabalho, às ilações que se retira desta dissertação, bem como a discussão e expectativa futura de evolução do tema, numa perspetiva de melhorias em futuros trabalhos, mas também nas possibilidades de implementação do tema na realidade da regulamentação portuguesa.

## **2 Estado da Arte**

O presente capítulo começa por abordar mais aprofundadamente o conceito nZEB, a evolução da legislação europeia e a adaptação de Portugal com a implementação de regulamentação em matéria de desempenho energético dos edifícios, passando depois para a descrição de diferentes classificações e conceitos do nZEB, variando entre países e autores.

Após esta fase, realiza-se a descrição dos constituintes e soluções mais usadas, não só em edifícios nZEB, mas também no panorama português, passando pelas características estruturais, aos sistemas de iluminação, climatização e renováveis, bem como pelo seu custo ideal, e a evolução do seu investimento na UE e em Portugal.

Por fim, os últimos dois subcapítulos são tratados os temas da mobilidade elétrica em Portugal, e a descrição de estudos baseados no tema da integração do veículo elétrico com as necessidades energéticas dos edifícios.

### **2.1 Conceito nZEB**

A revisão da legislação materializada pela Diretiva UE 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho [8], que alterou a Diretiva 2010/31/UE [9] relativa ao desempenho energético dos edifícios (em inglês “EPBD”) e a Diretiva 2012/27/UE [10] sobre a eficiência energética (em inglês “EED”), cria uma estratégia clara alinhada com o desenvolvimento de um sistema energético sustentável e descarbonizado, com medidas a atingir, até 2050. O seu objetivo é a redução das emissões de gases de efeito de estufa e de descarbonização do sector imobiliário, apoiado por financiamento e investimento público e privado. Institui ainda sobre os Estados-Membros (EM) a adoção de estratégias nacionais de renovação a longo prazo do edificado, que permitirá principalmente a renovação dos edifícios existentes, convertendo-os em edifícios descarbonizados e de elevada eficiência energética, até 2050, facilitando a transformação rentável de todos os edifícios existentes em edifícios com necessidades de energia quase nulas [8].

A Diretiva UE 2018/844 [8], no âmbito da Certificação Energética dos Edifícios, trouxe alterações significativas como o reforço da utilização de sistemas energéticos renováveis, o desincentivo à utilização de combustíveis fósseis para alimentação de sistemas, a integração da mobilidade elétrica nos edifícios, sistemas de automatismo e controlo dos consumos de energia dos edifícios, utilização de tecnologias inteligentes para um melhor uso e gestão de energia, bem como a melhoria dos procedimentos de manutenção e inspeção. Foram adicionadas em 2018 alterações a alguns aspetos com impacto nos requisitos em vigor, tais como:

- Incluir o conceito custo/benefício na ótica de alargar a vida útil dos edifícios;
- A alteração do retorno do investimento, de forma a passarem a serem pensados a longo prazo em termos de retorno energético;
- Adotar requisitos mínimos mais exigentes e controláveis a nível europeu através de uma metodologia comum, passando a ser obrigatória a justificação da viabilidade económica destes requisitos;
- Criar um Plano de Melhorias do Desempenho Energético dos Edifícios (PMDEE), estabelecendo um método para fixar uma classe energética mínima nos edifícios existentes;
- Definir a metodologia dos edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), que obriga a que todos os novos edifícios cumpram os referidos requisitos, impondo que as necessidades energéticas dos novos edifícios sejam supridas com recurso a uma componente renovável superior a 50%.

Passando para a legislação nacional, surge o Decreto-Lei nº 101-D/2020 [7], que transpõe a Diretiva UE 2018/844 [8] e parcialmente a Diretiva UE 2019/944 [12], que estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regulando o Sistema de Certificação Energética (SCE) [13], integrando o Regulamento de Desempenho Energético de Habitação (REH) [14] e dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [15]. São incluídos também os requisitos técnicos e energéticos aplicados aos edifícios de habitação, comércio e serviços, novos e renovados. Com estes regulamentos, Portugal passa a ter um conjunto de obrigatoriedades relativamente ao desempenho energético dos edifícios, aplicando-se assim o conceito de edifícios com necessidades energéticas quase nulas, nZEB. Assim, deve-se garantir que a partir de 31 de dezembro de 2018 todos os edifícios novos na propriedade ou ocupados por uma entidade pública tenham características de um nZEB, e a partir de 31 de dezembro de 2020 aplicado a todos os novos edifícios. Isto significa que estes novos edifícios terão sistemas de elevada eficiência energética, indo ao encontro das necessidades mínimas de energia requeridas pelos nZEB, sendo que todas estas necessidades têm de ser maioritariamente alcançadas pela produção de

energia on-site por Fontes de Energia Renovável (FER), indicado no Art.2 Diretiva 2010/31/UE [9].

Na EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), a identificação das características dos nZEB não são claras em relação à gama e intervalos numéricos associados ao tipo de classe energética, às características de construção do edifício, à exigência de produção de energia renovável e nível de autonomia. Estas ambiguidades dão azo a que existam várias interpretações, tanto para a definição como para os limites em que se enquadra o edifício nZEB, podendo as diferenças estarem relacionadas com condições ambientais específicas ou pelo tipo de construção tradicionalmente usual. Assim, todos estes diferentes tipos de interpretações e casos permitem originar diferentes focos de atuação de renovação dos edifícios nZEB [16].

Alguns critérios gerais, usualmente aplicados também na arquitetura bioclimática, contribuíram para alcançar a definição do nZEB [16]:

- A posição e orientação do edifício para controlar as contribuições da radiação solar sobre a envolvente opaca e transparente, bem como a exposição ao vento;
- A capacidade térmica mássica do edifício, que permite reduzir a variação da temperatura, devido também às condições climatéricas exteriores;
- A regulação da temperatura, tendo a finalidade de manter as condições interiores ideais, de forma que se consiga alcançar a garantia do conforto térmico e um consumo mínimo de energia;
- Sombreamento adequado de forma a evitar o sobreaquecimento nos meses de verão.

Assim, tanto a localização de cada edifício, tal como a sua envolvente, onde são incluídas as condições topográficas, vegetação, distância entre edifícios ou o uso de espaços abertos, são fatores importantes a ter em conta na fase inicial de design e projeto, não esquecendo as condições climatéricas que cada edifício será sujeito, podendo alterar drasticamente em função da estação e em cada instante do dia [17].

Com a implementação destas estratégias passivas durante a fase de desenvolvimento do projeto do edifício, o passo seguinte será a definição apropriada dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC). Assim, é fundamental considerar uma análise económica, como a seleção mais eficiente do tipo de sistema de AVAC e a seleção da Fonte de Energia Renovável (FER) mais adequada, de forma a alcançar os níveis de conforto requeridos, tal como a redução do impacto ambiental [17].

Tendo em conta todos estes conceitos essenciais, chega-se à principal meta do modelo nZEB que diz respeito à redução das necessidades de energia e uma melhoria na eficiência da mesma, sendo que os sistemas de climatização têm um peso bastante significativo, daí haver a necessidade de terem elevada eficiência, e preferencialmente

serem apoiados por energia renovável. Com a aplicação destas diretivas europeias nos edifícios novos e existentes, é expectável num futuro próximo haver um decréscimo das necessidades de aquecimento das habitações, muito devido à especial atenção ao isolamento térmico e ao uso de sistemas de climatização com elevada eficiência [16]. No sentido contrário, as necessidades de arrefecimento têm vindo a aumentar, e a procura de sistemas de ar condicionado no verão tem tido um crescimento constante, especialmente nos países centro e sul da Europa, provocado também pelas alterações climáticas.

### **2.1.1 Categorias nZEB**

De forma a obter uma melhor compreensão desta ideologia, é importante referir que o termo “ZEB” pode ser usado tanto para se referir a um edifício de energia zero como a um edifício com zero emissões. O primeiro refere-se à energia consumida por uma estrutura no uso do dia-a-dia, e o segundo refere-se às emissões de CO<sub>2</sub> libertadas para o meio ambiente em resultado da sua operação [18].

Numa outra categoria dos edifícios ZEB, introduzida por Laustsen, faz-se a distinção entre *Autonomous ZEB* e *Net ZEB* [19]. Um edifício ZEB Autónomo não necessita de estar conectado à rede, pois sendo um edifício independente, consegue ser autossuficiente usando a sua própria energia para as suas necessidades, armazenando energia para uso noturno ou no inverno, com recurso a sistemas auxiliares de baterias e inversores, que convertem a energia produzida em corrente alternada (AC) para corrente contínua (DC), de maneira a poder ser armazenada nesses sistemas.

No caso de coletores solares, que é uma fonte renovável para produção de água quente, esta é igualmente armazenada para uso posterior, sem a necessidade de recurso a aquecimento a gás ou caldeira.

Um *Net ZEB* é um edifício neutro com categoria mais exigente, em que a energia que consome, no curso de um ano, é proveniente na totalidade de energia produzida no local (energia renovável), não necessitando de qualquer energia fóssil da rede para climatização, iluminação ou outro tipo de uso de energia [19].

Um edifício bastante parecido aos supracitados é o *+ZEB (Energy Plus Building)*, que produz mais energia através de FER do que importa da rede [18]. Estes edifícios de energia positiva (PEB), são considerados como um nZEB, mas com uma capacidade energética bastante superior, pois produz mais energia do que a necessária, deixando essa energia em sobra para outras utilidades, tais como o carregamento de dispositivos móveis, equipamentos elétricos, ou carregamento de veículos elétricos [16].

Esta representação do PEB poderá tornar-se numa evolução do modelo nZEB, pois este modelo poderá contribuir para a distribuição de energia para outros edifícios, novos e existentes, criando um sistema de conexão entre si.

Com o objetivo de criar a neutralidade ou, em casos extremos, energia positiva, cria-se um conceito mais interessante, o *Positive Energy District* (PED) [16]. Devido a essa conexão de edifícios ao nível dos bairros, para criar não só uma distribuição “inteligente” de energia segura e limpa, como também para acelerar o desenvolvimento destes edifícios e da sua implementação, começa a haver a necessidade de intervenção não a nível individual, mas a nível de bairros e cidades.

É também possível classificar ZEB relativamente à necessidade de energia e ao tipo de energia renovável instalada. De acordo com Lund [20], um *PV-ZEB* é um edifício com baixas necessidades de energia elétrica e com um sistema de painéis fotovoltaicos (PV), e um *Wind-ZEB*, novamente com baixas necessidades de energia elétrica e com uma pequena instalação no local de uma turbina eólica. As restantes categorias são uma adição às duas anteriores, culminando num edifício *PV-Solar thermal-heat pump ZEB*, caracterizado pela baixa necessidade tanto de energia elétrica como de aquecimento, usando uma instalação fotovoltaica em combinação com coletores solares térmicos, bomba de calor e depósito. A outra categoria seria *Wind-solar thermal-heat pump ZEB*, com as mesmas características e equipamentos do anterior, diferenciando na instalação de produção de energia elétrica [18].

Com esta explicação do conceito nZEB, da passagem da sua legislação europeia e nacional, e da nomeação das suas várias categorias que variam entre países e autores, tem-se a descrição de todos os componentes e sistemas que caracterizam um edifício com baixas necessidades energéticas, conjugando-os com indicadores do custo ideal, comparando os tipos de ativos mais usados em nZEB, os usados maioritariamente em Portugal, e a viabilidade financeira de todos estes ativos no futuro próximo.

### **2.1.2 Envolvente opaca, superfícies envidraçadas e iluminação**

Começando pela intervenção da envolvente opaca dos edifícios, exterior ou interior, esta tem como objetivo reforçar o coeficiente global de transmissão de calor ( $U [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ ), utilizando por exemplo a aplicação do isolamento térmico em paredes, coberturas, fachadas verdes, pavimentos e caixas de estores. As envolventes sem isolamento térmico são responsáveis por elevadas trocas de calor. Paredes que desenvolvam pontos de condensação, fungos e bolores poderão ser sinais de falta de isolamento.

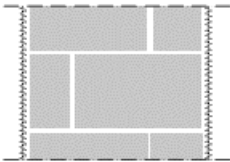
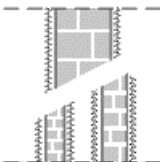
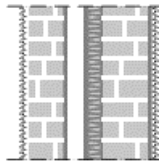
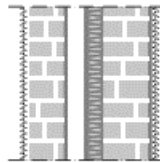
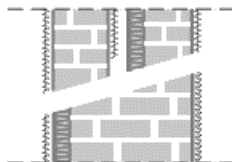
Existem formas de identificar paredes pouco eficientes, como envolvente que apresentem coloração negra e/ou amarela, ou em contacto físico com a parede, esta apresenta-se bastante fria no inverno ou quente no verão. No caso de haver paredes

com pouca espessura ou paredes duplas, com espessura inferior a cerca de 30 cm, poderão significar que existe ausência de isolamento ou ser insuficiente [21].

As envolventes eficientes permitem uma melhoria do conforto térmico, minimizam o aparecimento de patologias e promovem a melhoria da salubridade no interior da habitação, reduzem o valor da fatura de energia e podem permitir também um maior isolamento acústico. No panorama português, infelizmente, existe um elevado número de edifícios construídos que não possuem qualquer isolamento térmico.

Observando o Quadro 2.1, que tipifica algumas paredes construídas em Portugal, verifica-se que num edifício anterior a 1990 que nunca tenha sido reabilitado, existe uma probabilidade maior da não existência de isolamento, sendo este também o tipo de parede mais comum em Portugal, representando 44% dos edifícios [21].

Quadro 2.1 - Tipos de paredes construídas em Portugal [adaptado de [15]]


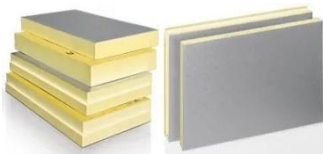




Anterior a 1960	1960 - 1990	1990 - 2006	2006-2013	Após 2013
				
Parede de pedra solta ou aparelhada	Parede simples ou dupla de alvenaria de tijolo	Parede dupla de alvenaria de tijolo	Parede dupla de alvenaria de tijolo	Parede dupla de alvenaria de tijolo ou simples, isolada pelo exterior
Sem isolamento	Sem isolamento	0 a 20 mm	40 a 50 mm	50 a 60 mm
25% dos edifícios	44% dos edifícios	22% dos edifícios	8% dos edifícios	1% dos edifícios

Em relação aos tipos de isolamento térmico mais comuns, o que tem menor condutibilidade térmica é o XPS (Polistireno Expandido Extrudido), seguindo pelo EPS (Poliestireno Expandido Moldado). Outros tipos de isolamento usuais são a lã de rocha, o PUR/PIR (Espuma Rígida de Poliuretano ou de Poli-isocianurato), o ICB (um aglomerado de cortiça expandida) e a argamassa térmica.

Todos estes isolamentos podem ser aplicados pelo exterior, interior ou no caso de paredes de alvenaria com caixa de ar, poderá ser injetado isolamento para o seu interior.

No Quadro 2.2 podem-se encontrar os diversos tipos de isolamento térmico identificados, bem como os seus valores de condutibilidade térmica.

Quadro 2.2 – Tipos de isolamento térmico e respetiva condutibilidade térmica

<b>Polistireno Expandido Extrudido (XPS)</b>	<b>Espuma rígida de poliuretano ou de poliisocianurato (PUR/PIR)</b>	<b>Poliestireno Expandido Moldado (EPS)</b>
		
$\lambda: 0,037 \text{ W/m.K}$	$\lambda: 0,040 \text{ W/m.K}$	$\lambda: 0,040 \text{ W/m.K}$
<b>Lã Mineral (MW)</b>	<b>Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB)</b>	<b>Argamassa Térmica</b>
		
$\lambda: 0,045 \text{ W/m.K}$	$\lambda: 0,045 \text{ W/m.K}$	$\lambda: 0,050 \text{ W/m.K}$

Do ponto de vista da eficiência energética o isolamento pelo exterior é a forma de aplicação mais adequada, pois garante uma aplicação uniforme, corrigindo eventuais pontes térmicas da envolvente, dando mais garantias de evitar humidade e condensações futuras.

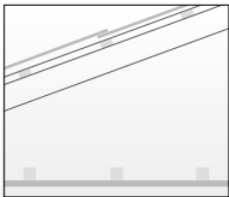
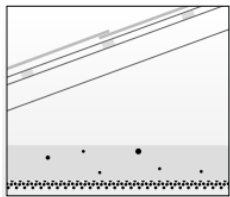
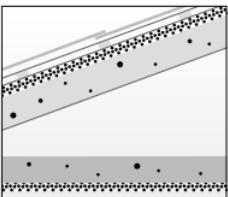
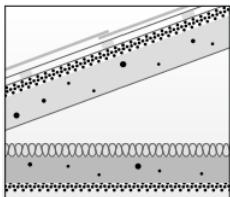
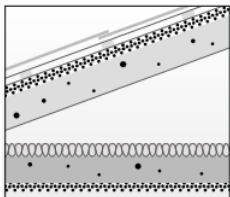
No caso de edifícios multifamiliares, a colocação de isolamento pelo exterior poderá ser condicionada aos limites exteriores do edifício, por exemplo por limitação imposta pela via pública [21].

No caso do isolamento interior, este tem mais aplicação em apartamentos, tendo a desvantagem da redução da área útil do pavimento, bem como a capacidade da parede em armazenar o calor (inércia térmica), tornando-a mais vulnerável às variações de temperatura [21].

A eficiência energética em coberturas é considerada fundamental para o conforto de uma habitação e responsável por ganhos e perdas de calor, sendo que em média, as coberturas representam 30% das perdas de calor nas habitações do tipo moradia [22]. Estima-se que mais de 90% do tipo de coberturas existente em Portugal sejam coberturas inclinadas revestidas com telha cerâmica ou de betão.

No Quadro 2.3 estão tipificadas algumas coberturas existentes nas habitações portuguesas.

Quadro 2.3 - Tipos de coberturas construídas em Portugal [adaptado de [17]]

Anterior a 1960	1960 - 1990	1990 - 2005	2005-2013	Após 2013
				
Cobertura em desvão com estrutura de madeira	Cobertura em desvão com estrutura de betão	Cobertura em desvão com estrutura de betão	Cobertura em desvão com estrutura de betão com isolamento na esteira	Cobertura em desvão com estrutura de betão com isolamento na esteira
Sem isolamento	Sem isolamento	Sem isolamento	60 a 70 mm	70 a 80 mm

O isolamento térmico pode ser aplicado na laje de esteira (diretamente sobre a laje), aplicado nas vertentes (na vertente inclinada) ou no caso de coberturas horizontais aplicado sobre a laje e após a impermeabilização, sendo os tipos de isolamento mais usuais os mesmos nas paredes, podendo nas coberturas ser colocado betonilha com isolamento térmico [22].

A instalação de coberturas e fachadas verdes permitem melhorar as características térmicas de uma habitação, pois através da vegetação e solo, as trocas térmicas entre o interior da habitação e o exterior podem ser minimizadas, e a criação destes espaços verdes no interior das cidades permitem diminuir o efeito de ilha de calor, reduzindo assim a temperatura no verão. No inverno e no caso de ocorrência de chuvas, estes espaços verdes permitem captar as águas e eliminar eventuais patologias que possam ocorrer por infiltrações [23].

Relativamente à intervenção na envolvente envidraçada dos edifícios e respetivos dispositivos de sombreamento, o regulamento sugere a substituição de caixilharia com vidro simples por janelas energeticamente mais eficientes (classe energética igual ou superior a “B”, de acordo com o Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos CLASSE+), a instalação de proteções solares exteriores e de dispositivos de sombreamento associados aos vãos envidraçados, entre outras medidas [23].

As envolventes envidraçadas pouco eficientes são caracterizadas por vidro simples e de fraca qualidade, que promovem a ocorrência de condensação quando se verificam diferenças de temperatura significativas entre o interior e o exterior, pois estes tipos de janelas possuem fraca vedação e não conseguem um controlo efetivo da passagem de ar. A substituição de janelas antigas por outras mais eficientes é uma medida que

permite reduzir o consumo de energia com a climatização da habitação e melhorar o conforto térmico e acústico.

Em relação a soluções técnicas a considerar na substituição de janelas, existem considerações no âmbito da caixilharia, do tipo de vidro, a orientação e a abertura das janelas. Começando pela caixilharia, os materiais usuais que constituem a caixilharia são o alumínio, PVC ou madeira, podendo haver combinações entre cada material, como por exemplo ser alumínio no exterior e madeira no interior [16], [17].

Sobre o tipo de vidro, os vidros duplos são a solução mais usada, podendo o espaço entre eles conter gás ou ar, e a sua espessura poder variar, sendo usual para uma caixa de ar a espessura de 16 mm. A utilização de gás permite obter soluções com melhor comportamento energético, sendo o Árgon um dos gases mais usados.

Em janelas com forte exposição solar, principalmente orientadas a Sul, é recomendada a adoção de medidas de controlo da radiação solar, proteções solares ou dispositivos de sombreamento, de forma a minimizar o efeito do sobreaquecimento na habitação [23]. Janelas orientadas a norte com ausência de radiação solar, ter especial atenção ao coeficiente de transmissão térmica da janela, para minimizar as perdas de calor para o exterior.

Relativamente à abertura, as janelas podem ser de correr, batente, oscilo-batente, guilhotina, projetante, entre outros. Em termos energéticos e em regra geral, as janelas de correr poderão ter um desempenho inferior às restantes por terem maior permeabilidade ao ar do que as janelas de batente [16], [17].

Em Portugal, as proteções solares mais utilizadas são as persianas ou estores, sendo que as portadas também são vulgarmente utilizadas. Em relação à transmissão de calor, os vãos envidraçados correspondem a 35% dos ganhos numa habitação, sendo que ao serem instaladas proteções solares, consegue-se evitar perdas de calor no mínimo de 62% e no máximo de 96%, podendo contribuir também para a redução da temperatura interior entre 1 °C e 10 °C, segundo o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [23].

A iluminação tem também um papel importante na redução de energia, podendo conjugar as soluções de iluminação elétrica mais eficientes com um uso mais eficaz da iluminação natural, juntamente com sistemas de iluminação inteligente. Sistemas automatizados, como interruptores horários, detetores de presença e detetores de iluminação natural são também uma opção para a redução do gasto de energia [24]. Lâmpadas LED, lâmpadas de baixo consumo e detetores de presença e de luminosidade são os mais comuns nos nZEB, havendo também uma percentagem pouco significativa onde se pode encontrar lâmpadas T5 e lâmpadas CFL, com as percentagens de aplicação em edifícios nZEB apresentadas na Figura 2.1.

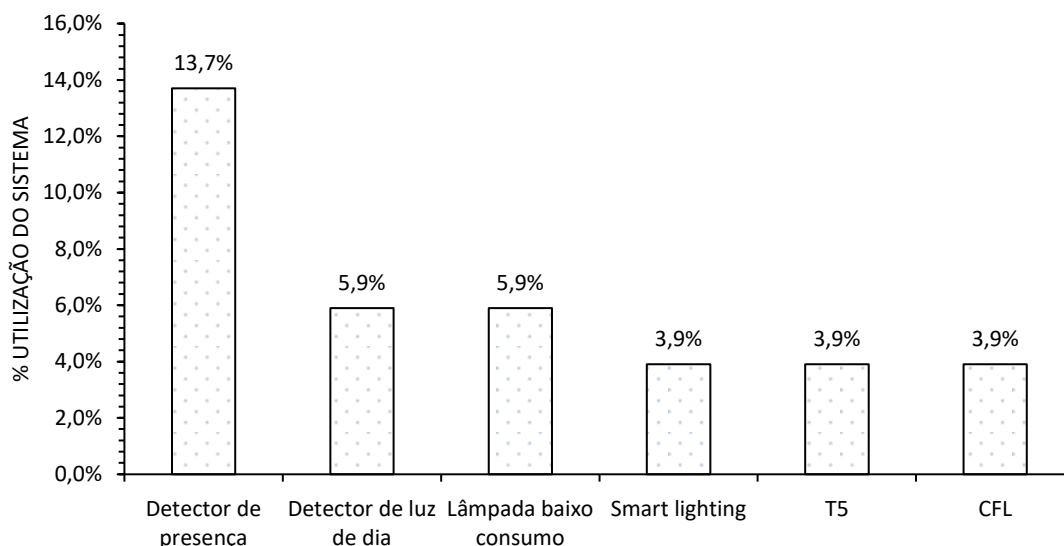


Figura 2.1 - Sistemas de iluminação mais comuns em nZEB [adaptado de [18]]

Em Portugal, no que respeita à iluminação e, mais especificamente, ao tipo de lâmpadas utilizadas nas habitações, verifica-se uma transição para lâmpadas de baixo consumo, sendo que a percentagem de utilização de lâmpadas LED é cerca de 80%, verificando-se também que o rácio de lâmpadas LED por habitação é bastante elevado (12,6 lâmpadas por habitação). Todos estes dados poderão ser encontrados na Figura 2.2 [25].

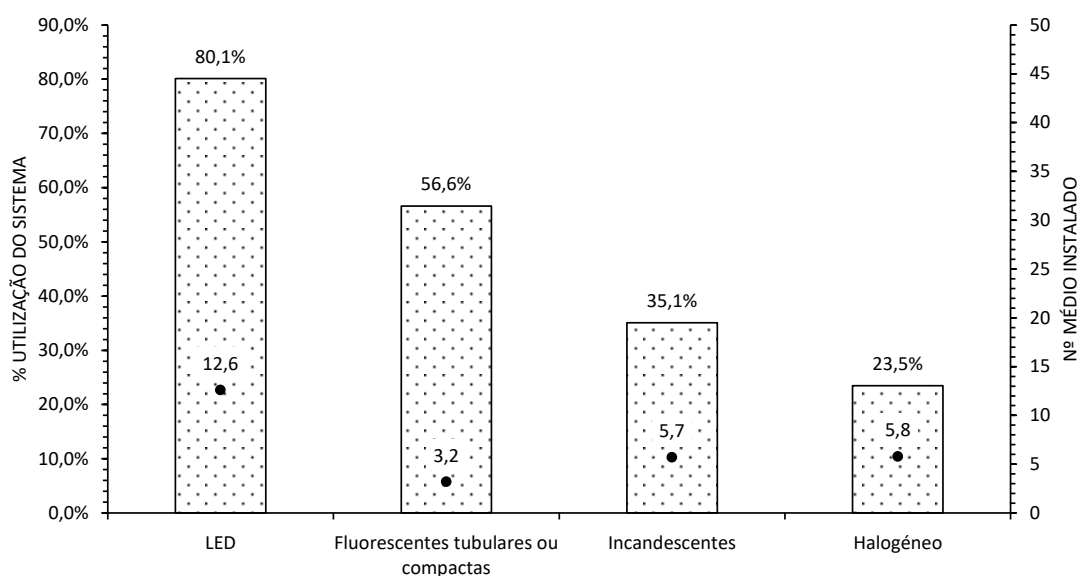


Figura 2.2 - Sistemas de iluminação mais usados em habitações portuguesas [adaptado de [19]]

Com a explicação das diversas soluções técnicas na intervenção da envolvente opaca e envidraçada, bem como a apresentação de soluções com menor consumo de energia a usar na iluminação e a utilização mais eficiente a iluminação natural, parte-se de seguida para a importância dos equipamentos de climatização e das suas cargas, pelo facto de estas serem consideradas as cargas com maior peso no consumo de energia num edifício de habitação.

### 2.1.3 Equipamentos de climatização

De forma a alcançar as metas de um edifício nZEB é necessário um uso apropriado de tecnologias renováveis acompanhado de boas práticas de utilização a implementar na fase de projeto e planeamento [26]. Dever-se-á tirar proveito dos equipamentos com grande eficiência para minimizar as necessidades energéticas, juntamente com as fontes de energia renováveis, como painéis fotovoltaicos (PF), coletores solares, energia eólica e bombas de calor, permitindo que sejam alcançadas as restantes necessidades energéticas [24].

As principais soluções para o aquecimento, arrefecimento, iluminação e outros equipamentos podem ser distinguidos entre ativos e passivos [27], bem como a distinção entre soluções usadas em edifícios nZEB novos e renovados. Genericamente, um edifício, com um ótimo isolamento térmico, janelas de vidro duplo ou triplo, sombreamento, geometria adequada de forma que facilite a iluminação natural e a ventilação, a implementação de práticas de poupança de energia, iluminação eficiente e sistemas de armazenamento de energia, sistemas mecânicos de ventilação com recuperação de calor, juntamente com as energias renováveis, consegue alcançar muito facilmente as metas dos nZEB [24].

A partir de estudos de projetos piloto para edificações com características nZEB [28] e de projetos de nZEB financiados pela UE [29], [30], [31], [32], [33], consegue-se identificar a evolução e o crescimento do mercado para tornar viável e mais acessível o investimento neste tipo de edifício.

Com todos os benefícios ambientais e sociais, consegue-se apresentar os sistemas mais usados em climatização e em AQS, sendo que as soluções ativas passam pela instalação de bombas de calor, caldeiras e fornecimento de calor a partir de centrais de aquecimento ou aquecimento e ventilação descentralizada.

No que concerne a aquecimento, dentro dos tipos de caldeiras usadas, a caldeira a gás é a tecnologia mais usada na Europa em 2020, com uma percentagem perto de 40% de uso [29], apesar do potencial de redução de custos desta tecnologia até 2050 ter uma percentagem bastante baixa (5-11%), como apresentado no Quadro 2.4.

Caldeiras a combustível ou óleo tenderão a diminuir ainda mais, devido ao nível de emissões. Caldeiras a biomassa, alimentadas a pellets, são também uma solução com alta eficiência para os nZEB, por serem baseadas em energias renováveis e terem muito pouca produção de emissões, o que começa a tornar-se uma solução onde os estados-membros poderão implementar e incentivar um maior uso da biomassa [33].

Quadro 2.4 - Intervalos de valores potenciais de redução dos custos das tecnologias de aquecimento até 2030 e 2050 (fonte:[23] e adaptado de [18])

Tecnologia	Intervalo até 2030 (%)	Intervalo até 2050 (%)
Caldeira a gás	4,1 – 9,2	4,9 – 11,1
Caldeira a óleo	0,3 – 0,7	0,8 – 1,9
Caldeira a biomassa	7,2 – 13,4	9,6 – 17,8
Bomba de calor permuta exterior a ar	4,8 – 21,6	11 – 43,9
Bomba de calor permuta exterior solo	5,9 – 25,8	7,9 – 33,4
Ar condicionado	9,3 – 25,2	17,8 – 44,3
Ventilação descentralizada	30,3 – 49,3	40,4 – 62,2
Ventilação centralizada	24,4 – 41	34,6 – 55,1

Em relação a tecnologias implementadas para aquecimento, o sistema com maior percentagem de utilização em edifícios nZEB é a bomba de calor, com uma percentagem de 49%, o que torna o equipamento de aquecimento mais popular, como apresentado na Figura 2.3 [29]. Este equipamento também é usado na produção de água quente sanitária (AQS), como apresentado na Figura 2.4, sendo que esta solução tem uma percentagem de utilização de 24%, onde muitas vezes se encontra combinada com coletores solares, tendo uma percentagem de utilização próxima dos 14%.

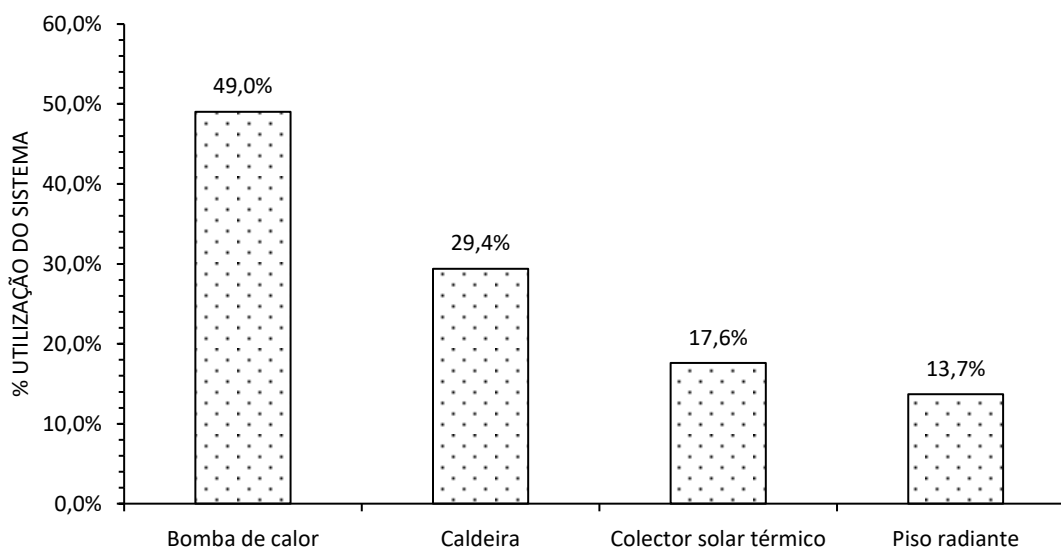


Figura 2.3 - Soluções de equipamentos para aquecimento mais usados em nZEB (adaptado de [18])

As classificações das bombas de calor dependem do tipo de captação de calor (no solo, no ar exterior ou água) e da entrega de calor para o aquecimento (podendo ser diretamente distribuída ao ar ou até a um circuito de água em instalações fechadas).

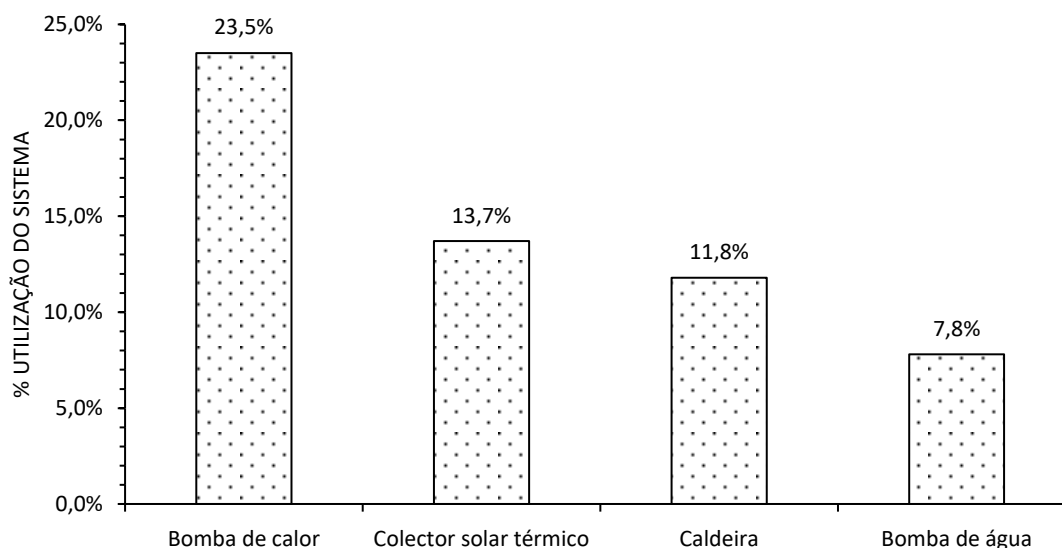


Figura 2.4 - Soluções de equipamentos para AQS mais usados em nZEB (adaptado de [24])

Em relação às tendências e aos objetivos que os estados-membros têm implementado, têm favorecido bastante as bombas de calor, o que poderá levar ao aumento de instalações deste tipo nos próximos anos, e levar à sua redução de preço, que segundo o Quadro 2.4, terão uma potencial redução de custo até 2050 entre 11-44% e 8-33%, no caso de bombas de calor com permuta exterior a ar e com permuta exterior no solo, respetivamente.

A ventilação, como já mencionado, é bastante importante nos edifícios nZEB, pois permite melhorar substancialmente a qualidade do ar interior, daí a ventilação centralizada ou descentralizada serem bastante usadas nos nZEB, em combinação com recuperadores de calor e salamandras.

A ventilação natural é algo complementar e alcançado maioritariamente a partir das janelas e com maior uso durante as estações mais quentes; o sistema de ventilação mecânico tem um controlo e circulação do ar mais preciso, sem depender das condições exteriores [24].

Em relação ao aquecimento, existe mais preferência para bombas de calor e sistemas de ar condicionado, mas também existe o uso de arrefecimento por piso radiante hidráulico (*underfloor cooling*) e pela rede de abastecimento de água arrefecida. Estas soluções conciliam-se com tecnologias passivas para arrefecimento, como o sombreamento da fachada e ventilação natural, fazendo com que se consiga reduzir significativamente a fatura total de energia do edifício.

Analisando também os vários dados de nZEB [34], 20% dos edifícios usam exclusivamente ou maioritariamente soluções de arrefecimento natural, enquanto 18% usam exclusivamente soluções de arrefecimento mecânico, e os restantes uma junção dos dois [24].

Fazendo a comparação dos equipamentos de aquecimento, arrefecimento e de água quente sanitária (AQS) mais usados em nZEB europeus com os mais utilizados pelos portugueses nas suas casas, o paradigma altera bastante. De acordo com a informação fornecida pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) e pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) [25] (ilustradas na Figura 2.5, Figura 2.6 e Figura 2.7), constata-se que o aquecedor elétrico independente foi o equipamento com maior expressão, tendo sido identificando um uso percentual de 64,8% deste equipamento para aquecimento do ambiente, seguindo-se por ordem de importância a Lareira com recuperador de calor e a Bomba de calor (sistema ar-ar para aquecimento e arrefecimento), com percentagem de utilização de 24,2% e 19,2%, respetivamente.

A Caldeira tem um peso de utilização de 16,6% e a Lareira aberta nos 15,0%, seguindo-se em 9,3% a utilização da Salamandra e em 7% do aquecedor a GPL garrafa. Por fim, a Bomba de calor só para aquecimento (a partir de radiadores) e o Painel Solar térmico registaram uma inexpressiva identificação de utilização para aquecimento do ambiente (1,1% e 0,2% de utilização, respetivamente) [25].

Em relação aos equipamentos usados para arrefecimento, foram três os tipos de equipamentos avaliados, nomeadamente a Ventoinha ou ventilador (utilização em 58,8%), a bomba de calor, que corresponde ao aparelho de ar condicionado com dupla função de aquecimento e arrefecimento do ambiente (com uma utilização de 45,4%) e o Ar condicionado portátil usado apenas para arrefecimento, (utilizado em 7,3%), estando estes valores representados na Figura 2.6 [25].

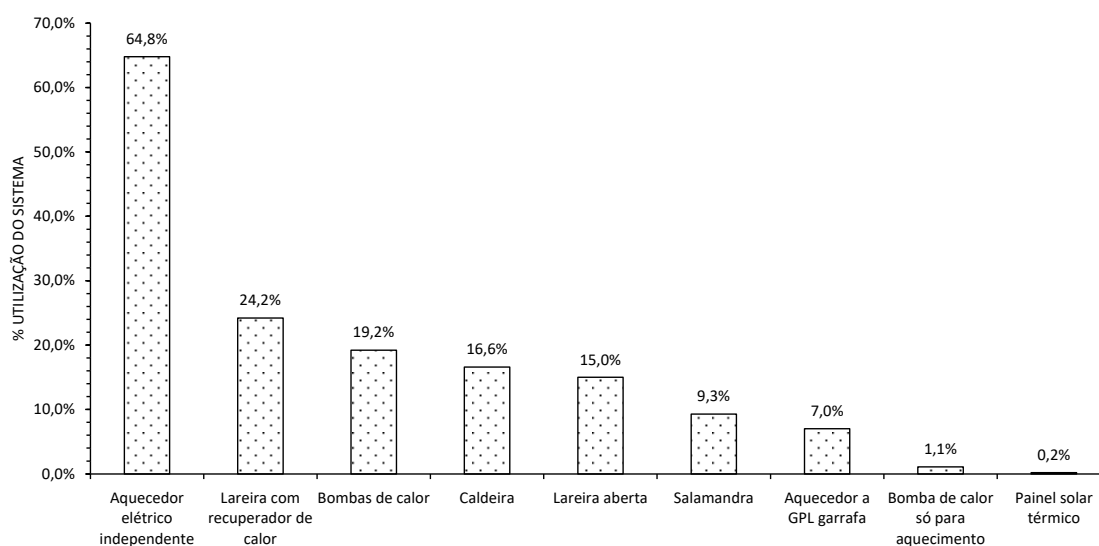


Figura 2.5 - Equipamentos usados para aquecimento em habitações portuguesas (adaptado de [25])

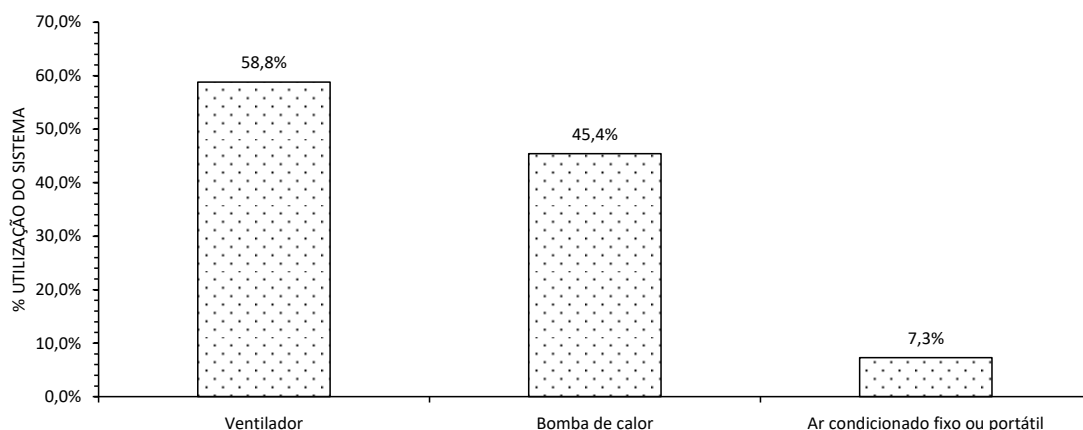


Figura 2.6 - Equipamentos usados para arrefecimento em habitações portuguesas (adaptado de [25])

Passando para os equipamentos de produção de AQS, como ilustra a Figura 2.7, o equipamento fundamentalmente mais utilizado foi o Esquentador, presente em 67,3% das habitações, seguindo-se as Caldeiras e os Termoacumuladores, usados em 16,7% (mesma percentagem para ambos os equipamentos). A utilização de Sistema solar térmico para aquecimento de águas foi identificada uma utilização de 8,0%, evidenciando um crescimento de utilização na última década. Este equipamento, apesar de poder ser também utilizado para aquecimento do ambiente (sendo necessária uma maior área instalada), é principalmente utilizado no aquecimento de águas.

A área média dos painéis instalados nos alojamentos é de 4,3 m<sup>2</sup>, predominando os equipamentos com sifão. Para os que têm sistema de apoio, a eletricidade é a principal fonte de energia utilizada quando existe insuficiência calorífica da energia solar, para se atingir a temperatura necessária ao normal funcionamento do coletor. A Bomba de Calor para aquecimento de águas revelou uma utilização inexpressiva, sendo usada em apenas 0,8% [25].

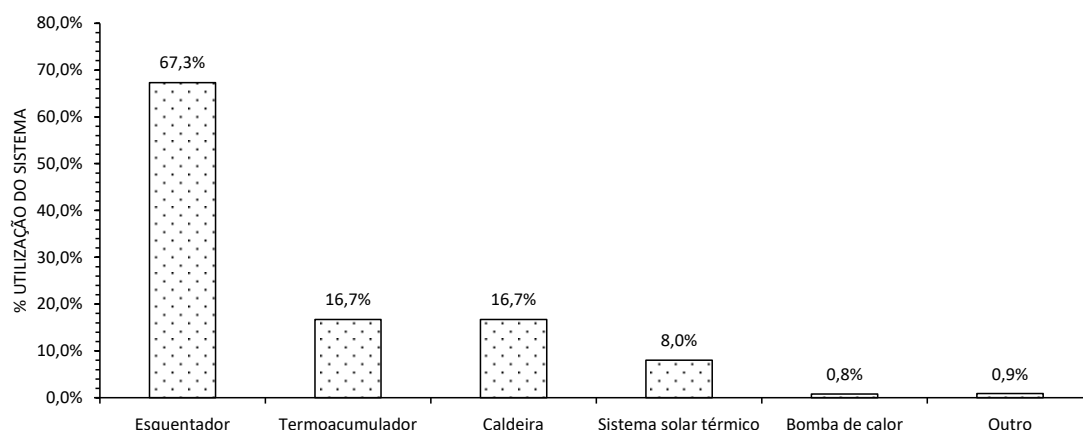


Figura 2.7 - Equipamentos usados para AQS em habitações portuguesas (adaptado de [25])

A verificação do cumprimento dos requisitos de eficiência dos sistemas deve ser efetuada com base na eficiência nominal.

Em relação aos equipamentos de expansão direta e indireta devem obedecer aos requisitos mínimos de eficiência indicados na Tabela I.10 da Portaria nº 349-B/2013 [35], em função da sua classificação pela certificação *Eurovent*. Onde os sistemas de ar condicionado do tipo *split*, *multisplit*, VRF e bombas de calor de ciclo reversível, devem ter uma eficiência mínima, após 31 de dezembro de 2015, de classe B [14].

Assim, para os equipamentos de expansão direta e indireta, deverão ser cumpridos os valores de eficiência do Quadro 2.5 e Quadro 2.6, respectivamente.

Quadro 2.5 - Requisitos mínimos de eficiência de equipamentos com permuta exterior a ar (adaptado de [35])

Entrada em vigor	Split, Multi-split e VRV	
	Arrefecimento	Aquecimento
01/01/2016	EER > 3,00	COP > 3,40
01/12/2013	EER > 2,80	COP > 3,20
Entrada em vigor	Chiller bomba de calor de compressão	
	Arrefecimento	Aquecimento
01/01/2016	EER ≥ 2,90	COP ≥ 3,00
01/12/2013	EER ≥ 2,70	COP ≥ 2,80

Quadro 2.6 - Requisitos mínimos de eficiência de equipamentos com permuta exterior a água [adaptado de [35]]

Entrada em vigor	Split, Multi-split e VRV	
	Arrefecimento	Aquecimento
01/01/2016	EER > 3,30	COP > 3,70
01/12/2013	EER > 3,10	COP > 3,40
Entrada em vigor	Chiller bomba de calor de compressão	
	Arrefecimento	Aquecimento
01/01/2016	EER ≥ 4,65	COP ≥ 4,15
01/12/2013	EER ≥ 4,25	COP ≥ 3,85

De forma a clarificar os requisitos dos equipamentos do tipo bomba de calor, referir que estes, para além da função de climatização, podem realizar as funções de climatização e produção de AQS em simultâneo, ou serem exclusivamente para produção de AQS ou AQS e aquecimento. Desta forma, seguindo o esquema da Figura 2.8, verifica-se os requisitos ao nível da eficiência e o respetivo referencial normativo em que foram ensaiadas.

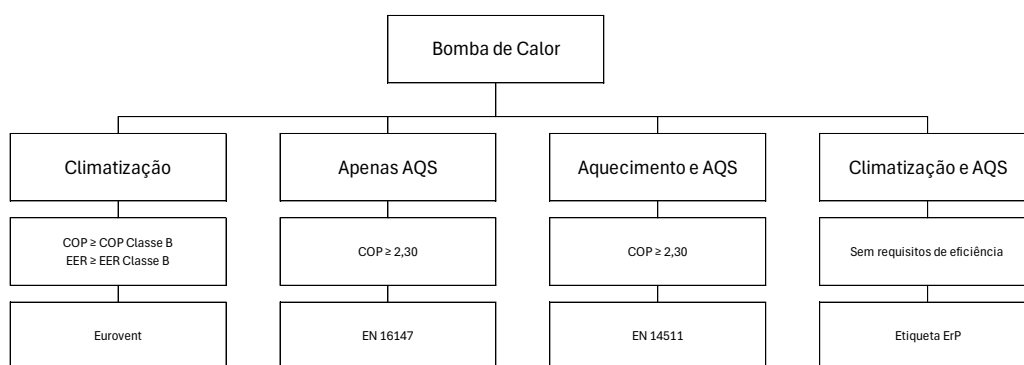


Figura 2.8 - Requisitos mínimos de eficiência de equipamentos do tipo bomba de calor em função da sua operação (adaptado de [35])

No contexto de aquecimento, arrefecimento e ventilação, Portugal apresenta novamente valores inferiores comparativamente à média europeia. Observando o custo médio de aquecimento a partir de uma caldeira a pellets, apesar de ser considerada uma aposta como alternativa de aquecimento nos próximos anos, nota-se que os preços praticados ainda são relativamente altos. O custo de arrefecimento em Portugal é o que apresenta a maior diferença para a UE e no campo da ventilação, com ou sem recuperador de calor, representam opções com custos acessíveis e de forte investimento. Os custos de alguns dos sistemas de AVAC, praticado em Portugal e média europeia, estão apresentados no Quadro 2.7.

Quadro 2.7 - Custo médio de sistemas aquecimento, arrefecimento e ventilação (adaptado de [24])

	Média UE	Portugal	
<b>Custo médio de aquecimento</b> [€/kWth]	Caldeira a gás (Capacidade 50–200 kWth)	125,1	80
	Caldeira a biomassa <i>pellets</i> (Capacidade 50–200 kWth)	328,6	210
<b>Custo médio de arrefecimento / Ar Condicionado</b> [€/kWth]	398	252	
<b>Custo médio de ventilação mecânica</b> [€/m³/h]	2	1,4	
<b>Custo médio de ventilação mecânica c/recuperador calor</b> [€/m³/h]	15	8	

Como se pode verificar no Quadro 2.8, as bombas de calor (com capacidade nominal de 50 – 200 kWth) fazem parte do grupo de equipamentos que estão a começar a crescer em Portugal. Apesar do elevado investimento, as bombas de calor proporcionam valores altos de eficiência e perspetiva-se que se tornará um equipamento que facilmente se encontrará em grande número nas habitações num futuro próximo. O preço praticado em Portugal, comparado com a média europeia, é inferior em todos os tipos de bombas de calor, no entanto o seu investimento não tem sido ainda notado.

Quadro 2.8 - Custo médio de bombas de calor (adaptado de [24])

	Média UE	Portugal
<b>Bomba de calor Ar-Água reversível [€/kWth]</b>	3827,6	2445
<b>Bomba de calor Ar-Água não-reversível [€/kWth]</b>	1649,1	1053
<b>Bomba de calor Água-Água reversível [€/kWth]</b>	1322,8	757
<b>Bomba de calor Água-Água não-reversível [€/kWth]</b>	356,3	228

Tendo em conta a visão geral dos equipamentos de climatização mais usados e mais eficientes em edifícios nZEB, comparando com o panorama português, e analisando da mesma forma os custos médios da UE e em Portugal, segue-se a visão do panorama das soluções de energia renovável.

### 2.1.4 Renováveis

Em relação às energias renováveis, estas podem ser colocadas no próprio edifício ou próximo. Existe ainda o tipo energia renovável off-site, que consiste no uso de, por exemplo, biodiesel, pellets ou etanol para produção de energia renovável, e ser distribuída para a rede à posteriori [31].

Observando a Figura 2.9 sobre as tecnologias renováveis mais usadas em edifícios nZEB [24], destacam-se os painéis fotovoltaicos (PF), coletores solares, energia geotérmica e biomassa, onde os PF se destacam com uma representação de 64,7%.

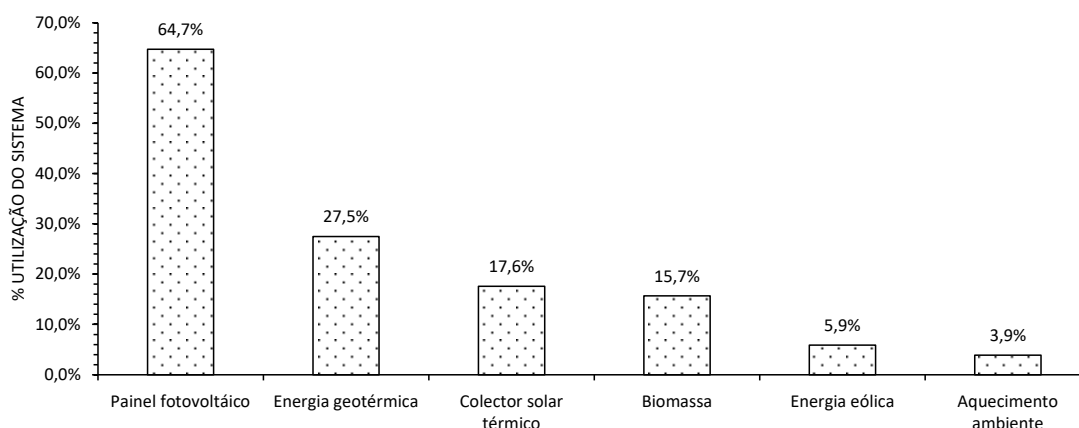


Figura 2.9 - Soluções de energias renováveis mais usadas em nZEB (adaptado de [18])

O solar térmico é uma tecnologia renovável amplamente usada tanto para aquecimento de espaços como para produção de água quente sanitária, sendo a eficiência fortemente dependente das condições climáticas. A energia nestes painéis é absorvida e acumulada no mesmo, podendo os coletores solares térmicos serem, por exemplo, não-envidraçados, *flat-plate*, *evacuated flat-plate and vacuum tube*, *tracked concentrating* [24].

Segundo a legislação nZEB, é exigido que parte da energia primária seja suprimida pelo aproveitamento de fontes de energia renovável, sendo que em Portugal esse aproveitamento tenha de ser no mínimo 50% da energia primária [36].

Na maioria dos nZEB, é considerado boa prática o uso de uma ou mais tecnologias renováveis para as suas necessidades de energia, juntando alteração de tecnologias de climatização e equipamentos de iluminação mais eficientes, que farão diminuir não só o uso de energia da rede elétrica, mas também para a contribuição da diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>.

Através da análise dos sistemas renováveis com maior peso nos edifícios de habitação nZEB, é assim natural assumir que os PF são o principal elemento a considerar no que diz respeito à escolha de tecnologias renováveis a usar no sector residencial, especialmente em Portugal, havendo imensas vantagens para a sua aquisição. Os seus sistemas podem ser classificados como um sistema único e à parte da rede ou com ligação à rede [33], sendo que a energia produzida nos dois sistemas pode ser autoconsumida ou distribuída/perdida para a rede.

O Quadro 2.9, indica que a projeção do custo do PF irá diminuir entre 41% a 56% até 2050, o que será sem dúvida um pilar na descarbonização e na distribuição de uma energia limpa na próxima década. Em segundo lugar em termos de potencial e elevada importância para o futuro, apresentam-se os coletores solares térmicos, que representam um intervalo de redução de custo entre 22% e 50,8% até 2050.

Quadro 2.9- Intervalos de valores potenciais de redução dos custos das tecnologias renováveis até 2030 e 2050 (fonte:[29] e adaptado de [24])

<b>Tecnologia</b>	<b>Intervalo até 2030 (%)</b>	<b>Intervalo até 2050 (%)</b>
<b>PF</b>	20 – 29	41 – 55,5
<b>Solar Térmico</b>	9,1 – 23,9	22 – 50,8
<b>Armazenamento térmico</b>	9,5 – 26,9	15,7 – 41,4
<b>Armazenamento energia elétrica</b>	34,9 – 62,7	47,9 – 77,7

Juntando ao tema do potencial das tecnologias a implementar no futuro, é importante também referir os custos das reabilitações das habitações, em especial nas habitações portuguesas, de forma a alcançar uma solução ótima de custo.

Para o efeito, segundo os valores apresentados no Quadro 2.7, Quadro 2.8 e Quadro 2.10, referente ao custo médio de investimento em equipamentos de aquecimento e arrefecimento e ventilação, das bombas de calor e de instalações de energia renovável, respetivamente, observa-se os valores praticados em Portugal são bastante mais atrativos comparativamente com o valor da média da União Europeia.

Quadro 2.10 - Custo médio de sistemas renováveis [adaptado de [24]]

	Média UE	Portugal
<b>Sistema FV [€/kWp] – Capacidade &lt;25 kWp</b>	1205	770
<b>Coletor solar térmico [€/m<sup>2</sup>] - Plano Tubular (20–80) m<sup>2</sup></b>	423,5	267

Nas soluções mais usadas para sistemas renováveis, nomeadamente o sistema fotovoltaico e o sistema de aquecimento de água a partir de coletores solares térmicos, Portugal encontra-se bastante abaixo dos preços praticados pelos restantes estados-membros, principalmente pelo facto de Portugal ter um clima muito favorável para estas tecnologias, o que torna os preços mais atrativos.

A produção de energia renovável e a sua importância na gestão energética do edifício também se pode conjugar com sistemas de baterias estacionárias. A utilização de baterias tem vindo a aumentar significativamente de importância, especialmente em combinação com os sistemas de PF. A ligação entre estes dois sistemas traz a grande vantagem de se poder armazenar o excesso que o sistema fotovoltaico produz, fazendo com que esse excesso não seja perdido para a rede, e seja reaproveitado em períodos do dia onde não existe produção de energia renovável. No capítulo 2.2 é analisado o tópico do sistema de baterias, mais propriamente a mobilidade elétrica, e o seu crescimento em Portugal.

## 2.2 Mobilidade Elétrica

O sector da energia que é, segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), o principal responsável pelas emissões de gases com efeito de estufa (GEE), com uma percentagem de 67,1% do total em 2020, inclui-se o sector dos transportes e da mobilidade, que representa 25,8% do total de emissão de GEE e poluentes para a atmosfera [37]. O principal causador das emissões de GEE no sector dos transportes é a dependência da utilização de motores de combustão interna, tornando-se assim um sector crítico e com um grau elevado de necessidade de intervenção, sendo o uso do VE cada vez mais uma opção promissora. A isto alia-se o facto de, a partir de 2035, todos os veículos novos que entram no mercado não poderem emitir quaisquer emissões de CO<sub>2</sub> [11], reforçando o crescimento do VE e a definir-se como o maior candidato para a transição.

Como apoio e incentivo ao uso do renovável e do VE, verifica-se em 2023 que a potência instalada em Portugal foi maioritariamente de origem renovável, com uma representação de 75,8% da potência total instalada [4]. A potência instalada que mais tem crescido nos últimos anos é a fotovoltaica, tendo esta componente representado 20,8% da potência total instalada de origem renovável.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE) e a Autoinforma, no parque automóvel português existem 4,3 milhões de automóveis em circulação, sendo que o veículo de combustão a gásóleo ainda domina, com 61,2% dos veículos em circulação, seguido do veículo a gasolina com 37,1%. Os veículos elétricos e híbridos (convencional e plug-in) em circulação apenas representam 1,6% [25]. No entanto, o panorama altera-se bastante na análise do mercado automóvel nos últimos anos, mais propriamente na aquisição do veículo elétrico em comparação com os veículos a combustão, mostrando o enorme crescimento do mesmo. A partir dos dados fornecidos pelo Autoinforma [38], agrupou-se na Figura 2.10 a variação homóloga para as matrículas de automóveis ligeiros de passageiros dos meses de janeiro até maio entre os anos 2022 e 2023.

Analisando a Figura 2.10, verifica-se o enorme crescimento na venda de veículos elétricos, o que mostra que começa a existir uma maior preferência neste veículo em comparação com os veículos a combustão, tendo sido registado um aumento de investimento de 163% comparando o mês de maio do ano 2022 com o de 2023. Em relação aos veículos a combustão, o veículo a gasolina ainda representa a percentagem com maiores vendas, acontecendo o oposto com a venda de veículos a diesel, chegando a apresentar uma descida em vários meses.

Na Figura 2.10 é apresentado um dado complementar referente aos veículos híbridos convencionais e plug-in, onde a percentagem de vendas em veículos com combustível a gásóleo são das mais reduzidas (sendo 2,2% e 0,2% de venda de HEV e PHEV a gásóleo, respetivamente, do total de vendas de veículos novos).

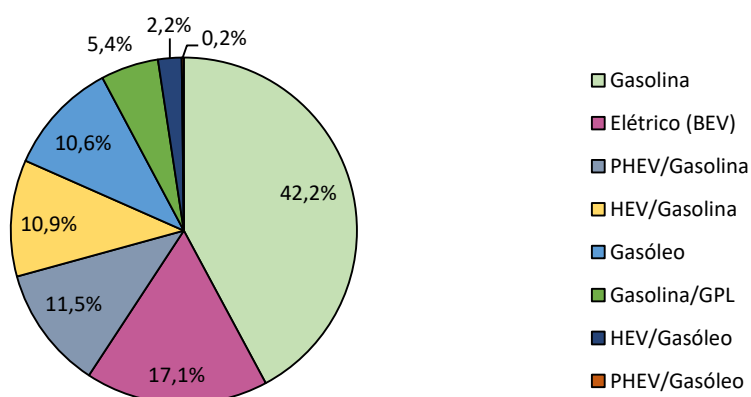


Figura 2.10 - Distribuição das vendas dos automóveis ligeiros de passageiros em Portugal por tipo de energia em maio de 2023 [adaptado de [34]]

O veículo plug-in a gasolina e o híbrido a gasolina são os que apresentam maior percentagem de venda no grupo do veículo híbrido, sendo a percentagem de ambos superior à da venda de veículos de combustão a gásóleo, com uma percentagem de vendas de equiparável (10,9% para veículos híbridos a gasolina e 11,5% para veículos plug-in a gásóleo).

O Autoinforma ainda fornece informação adicional da percentagem de vendas dentro de cada mês, e analisando o mês de maio de 2023, verifica-se o crescimento notório do veículo elétrico, sendo o segundo tipo de energia com maior investimento, notando-se o decréscimo do veículo a diesel, sendo ultrapassado pelo VE, mas também pelos plug-in e híbridos ambos a gasolina

Dados de agosto de 2024 indicam que o acumulado de VE novos corresponde a 17,5% do total de veículos novos (24 966 veículos). Conjuntamente com os automóveis a gasolina, acumulam a maior percentagem de vendas até ao momento, correspondendo a 37,2% do total (52 984 veículos) [38]. Comparando o período de janeiro-agosto de 2023 com janeiro-agosto de 2024, o número de VE novos tem aumentado, solidificando a sua percentagem como o segundo tipo de veículo novo mais vendido. Fazendo o comparativo entre os períodos, de janeiro a agosto de 2023, houve a compra de 22 755 VE, e de janeiro e agosto de 2024 aumentou para 24 966 VE (praticamente um aumento de 10%). Assim, com este crescimento constante nos recentes anos, os VE conseguirão ser um fator fundamental para a descarbonização do próprio sector, pois apesar dos casos onde o VE é carregado com energia que seja combinada com uma percentagem de energias provenientes de combustíveis fósseis, as emissões well-to-wheel (WTW) são comparáveis às emitidas pelos veículos de combustão interna [39], [40]. Quando o VE é carregado por uma energia com uma vasta parcela de energia proveniente de fontes renováveis, as emissões WTW do VE poderão chegar muito próximas de zero [41]. Num estudo realizado em custos e emissões de veículos plug-in, concluiu-se que carregando 50 mil VE usando fontes de energia renovável poder-se-ia alcançar uma redução de GEE até 400 milhões toneladas por ano [42].

Por conseguinte, uma forma inteligente de se tirar partido das vendas dos veículos elétricos passará pela sua interação com o sector residencial, ao nível da gestão de energia, pois mais tarde ou mais cedo este será um ponto fulcral e sem possibilidade para ser negligenciado.

### **2.3 Interação Veículo – Habitação**

Com a diminuição do custo dos PF, será expectável que os equipamentos de armazenamento de energia elétrica sejam cada vez mais atraentes financeiramente. Verifica-se no Quadro 2.9, que as baterias apresentarão uma redução de custo substancial, rondando os 63% até 2030, e 78% até 2050, o que fará com que medidas específicas sejam necessárias para o suporte desta tecnologia, pois a nova geração de nZEB irá incluir o carregamento de veículos elétricos, fazendo uma transformação para uma economia viável e para uma maior recuperação e reaproveitamento de energia desperdiçada [24].

De forma a apoiar esta temática, cada vez mais são desenvolvidos estudos relacionados com a interação de veículos elétricos e edifícios, de forma que se consiga perceber as verdadeiras vantagens desta interação. Num estudo sobre a implementação de sistemas renováveis e VE em interação com as cargas de uma habitação, no caso onde se considera apenas um sistema de PF instalado, obtém-se uma redução de 82% de consumo, e num caso onde existe o sistema de PF, uma BE e um VE, consegue-se reduzir, face a um que não contemple nenhuma destas soluções, até 83,3% de consumo [43].

Nesse sentido, a integração do veículo elétrico – casa, que dá o nome à tecnologia V2H (Vehicle-to-Home), pode fazer catapultar as tecnologias de energia renovável nos nZEB. Na tecnologia V2H, ao usar a bateria do veículo elétrico como uma rede de armazenamento de energia, faz com que se consiga mitigar as flutuações de energia renovável que é produzida na habitação. Serve também como um apoio energético de emergência, minimizando em parte ou totalmente a energia que seria perdida, conseguindo com isso balancear as necessidades de energia, usando menos energia da rede em horas de pico [44]. Neste sentido, uma eficiente integração do V2H nos nZEB poderia maximizar a economia de custos com a energia que “sobra” de origens renováveis, principalmente na redução das emissões de CO<sub>2</sub>, mas também servir como uma solução promissora para que se atinjam as metas dos edifícios de energia zero, bem como atingir o objetivo dos veículos e cidades de energia zero, fazendo aumentar a estabilidade das micro-redes com o desenvolvimento deste sistema de distribuição de energia [45].

A tecnologia V2H distingue-se da V2G (Vehicle to Grid), pois enquanto esta última permite apenas a interação com a rede, na tecnologia V2H as baterias dos veículos elétricos, operando no modo bidirecional, não só farão o carregamento do veículo (servindo como uma carga de consumo), mas também servirão de sistema de fonte de energia renovável (considerando-se como carga de distribuição/produção de energia). Desta forma, possuem um papel crucial para a implementação de uma rede distinta de distribuição de energia ao nível residencial [46].

Um novo esquema de gestão de energia, desenvolvido para fomentar a interação entre edifícios (nZEB e PEB), VE e os PF, tem sido investigado por diversos autores. Esta nova abordagem dá pelo nome de V2B<sup>2</sup> (Building to Vehicle to Building), em que consiste numa melhoria da tecnologia V2H (que se refere apenas à interação do veículo com habitações), considerando o VE como um vector de energia renovável, armazenada na bateria do mesmo e distribuída entre múltiplos edifícios, incluindo edifícios residenciais e de serviços [46]. Assim, este conceito V2B<sup>2</sup> estenderá a tecnologia veículo-casa e os edifícios *zero-energy* rumo a um novo paradigma, no qual edifícios e veículos elétricos atuam como colaboradores de produção e distribuição de energia.

A tecnologia V2B<sup>2</sup> permite explorar a produção de energia fotovoltaica e a capacidade de armazenamento do VE através da partilha de energia renovável entre VE e todo o tipo de edifícios, com o propósito de se alcançar virtualmente os objectivos ZEB usando energia renovável produzida off-site (por exemplo por um PEB) e distribuído pelos VE para outros edifícios, melhorando e apoiando o consumo próprio de FER on-site. Para além deste objetivo, uma outra visão é potenciar o aparecimento de futuras comunidades autossustentáveis, bem como facultar apoio ao sistema de rede de energia em regiões isoladas ou em ambientes adversos [45]. As necessidades dos utilizadores e a produção de energia são assim otimizadas de forma a reduzir substancialmente a interação com a rede, influenciado principalmente pelo carregamento bidirecional do VE, que permite aumentar o autoconsumo de energia renovável. Outro ponto interessante diz respeito à rentabilidade económica, onde os melhores valores de retorno monetário são obtidos em localizações com elevado nível de radiação solar em conjunto com os preços de energia mais favoráveis.

Num outro estudo do esquema V2B<sup>2</sup>, um sistema menos complexo em que combina uma instalação fotovoltaica no local, com um conjunto de baterias estacionárias e a interação com um VE [47]. Realiza-se a análise de outros dois fatores importantes no objetivo principal de diminuir a percentagem de utilização da rede, sendo eles o *State of Charge* (SOC) e a capacidade da bateria do VE.

Para avaliar o estado de carga (SOC) e o impacto que tem o VE chegar à habitação com baixos ou elevados valores de SOC, verifica-se que é possível reduzir os consumos a partir da rede com maiores valores de SOC disponíveis.

A capacidade e potência da bateria do VE, são aspetos relevantes a favor da integração dos VE com as habitações, isto porque a potência das mesmas (em kW) são geralmente superiores à grande maioria das baterias estacionárias, o que torna possível haver mais equipamentos em funcionamento em simultâneo com o VE a fornecer energia.

Desta forma, estes conceitos e os resultados provenientes destes estudos podem levar a um maior desenvolvimento destes sistemas de energia, onde a energia do veículo e a fonte de energia interagem de forma a aumentar a flexibilidade dos edifícios, cooperando para um uso mais eficiente do armazenamento de energia através do VE. Este novo esquema demonstra que deverá ser considerado como uma solução de custo-benefício, sendo adequadamente concebido para o enriquecimento de um novo leque de tecnologias e conceitos de gestão de energia necessários para fazer repensar na forma de consumo e produção de energia [45]. Apesar disso, é necessária uma melhoria contínua no que diz respeito à previsão da degradação das baterias dos VE, pois este continua a representar a principal barreira para a implementação dos conceitos de interação energética entre os veículos e os edifícios. Um segundo ponto importante é o facto de não existirem mecanismos que afirmem em detalhe o tipo de carregamento

do VE, ou seja, visto que o mesmo pode carregar tanto a partir de painéis fotovoltaicos como a partir de postos de carregamento públicos, não é evidente aferir o tipo de energia que o VE fornece.

Um dos pontos mais prementes e essenciais é a necessidade do desenvolvimento da legislação para a integração dos veículos elétricos na certificação energética das habitações, e que se espera ser um objetivo alcançado num futuro próximo. Adicionalmente, fazendo a analogia com as bombas de calor, estas são consideradas pela legislação como “renováveis”, apesar de consumirem energia a partir da rede. A especificação para este tipo de equipamentos, torna-se num argumento a favor para a classificação energética do VE no que diz respeito à fonte de energia – renovável ou não.

Esta abordagem e implementação contribuirá para a eficiência energéticas dos edifícios (habitação e serviços), visto que a ligação entre os vários edifícios e o VE fará alterações aos consumos de todos os intervenientes e influenciará na classificação energética de cada edifício.



### 3 Metodologia

Neste capítulo será apresentada a ferramenta computacional desenvolvida, onde estão descritas as diversas entradas (inputs) e saídas (outputs) e todos os passos intermédios. Estes encontram-se ilustrados no diagrama da Figura 3.1, considerados para a avaliação global energética do edifício e a sua gestão de cargas, de forma que se consiga melhorar a eficiência do edifício e por consequente a convergência para a meta nZEB.

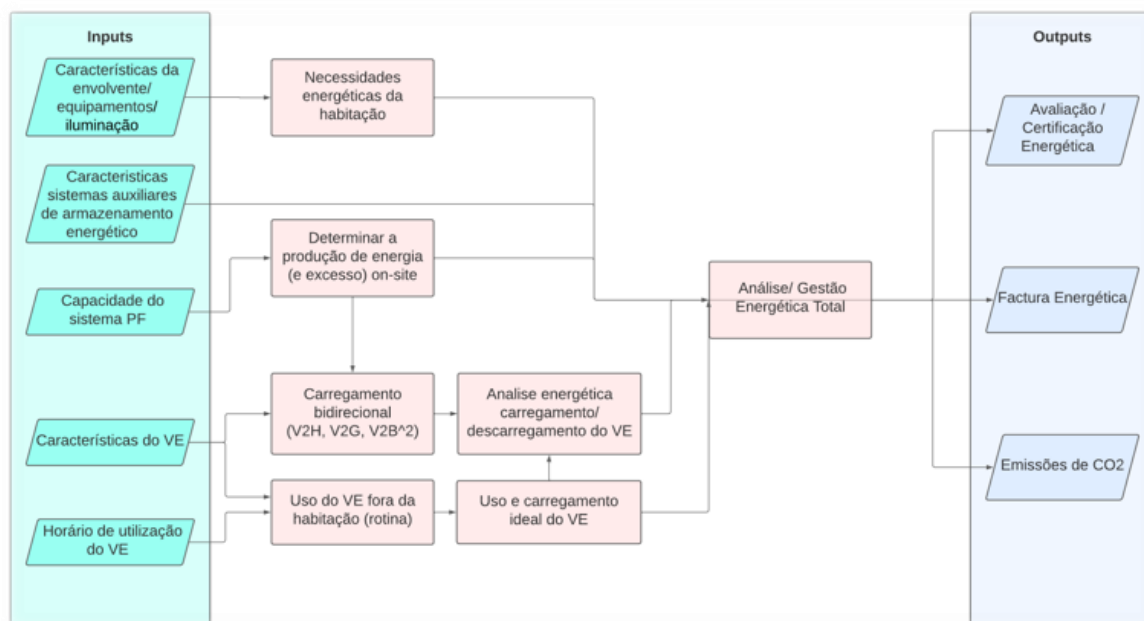


Figura 3.1 - Diagrama de inputs e outputs

Para uma melhor compreensão da distribuição dos temas, começando pelos dados de entrada, no subcapítulo 3.1.1 são abordadas as características do edifício bem como as suas necessidades energéticas; no subcapítulo 3.1.2 é descrita a implementação do sistema de painéis fotovoltaicos; no subcapítulo 3.1.3 as características e horário de utilização do VE e no subcapítulo 3.1.4 as características do sistema auxiliar da BE (bateria estacionária on/off). Em relação aos resultados pretendidos, no subcapítulo 3.2.1 é apresentada a metodologia usada para a obtenção dos indicadores de desempenho energético para representação da certificação energética; no subcapítulo 3.2.2 a metodologia para a análise económica, tanto a fatura energética como o retorno

económico; no subcapítulo 3.2.3 a metodologia para o cálculo referente às emissões de GEE e no subcapítulo 3.2.4 a metodologia usada para a análise e gestão energética global do edifício.

### 3.1 Caracterização dos dados do caso de estudo (inputs)

#### 3.1.1 Habitação: Características e Necessidades Energéticas

O edifício usado neste caso de estudo, estudado previamente em [48], consiste numa moradia construída em três pisos, numa tipologia T5 composta por 4 quartos, sala de estar e jantar separadas, cozinha, um *hall* principal e um corredor, correspondendo a uma área útil total de 274 m<sup>2</sup>. As fachadas principais encontram-se orientadas a este. A oeste apresenta-se ainda uma moradia adjacente. A Figura 3.2 e a Figura 3.3 representam a moradia em corte longitudinal e o alçado a este, e o modelo 3D da mesma, respetivamente [48]

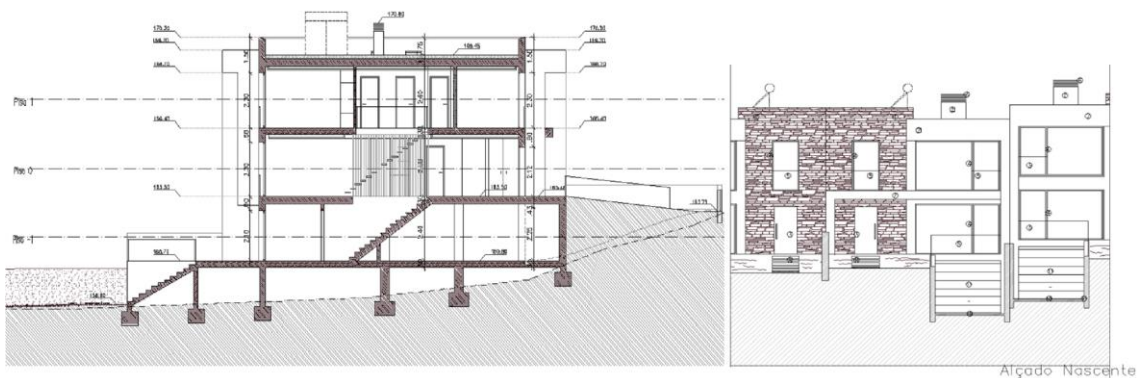


Figura 3.2 - Representação em corte longitudinal (esquerda) e alçado este (direita) (adaptado de [48])

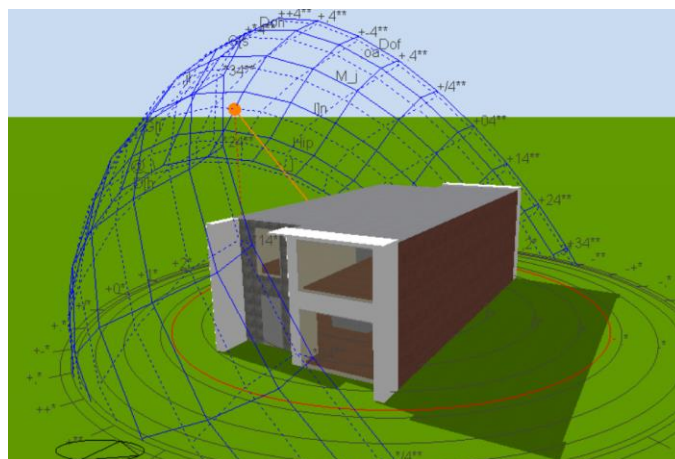


Figura 3.3 - Representação 3D da moradia [48]

Começando pelas características dos elementos da envolvente, no Quadro 3.1 estão apresentados os coeficientes globais de transmissão de calor das envolventes do edifício. e no Quadro 3.2 as características das janelas.

Quadro 3.1 - Coeficientes globais de transmissão de calor das envoltentes do edifício (adaptado de [48])

Descrição	U [W/m <sup>2</sup> K]
Parede exterior s/ basalto	0,478
Parede exterior c/ basalto	0,480
Parede em contacto com o edifício adjacente	0,569
Parede interior	0,593
Cobertura	0,543
Pavimento	0,451

De notar que toda a definição dos espaços da habitação no software Hourly Analysis Program (HAP) é inteiramente baseada no trabalho [48].

Quadro 3.2 - Características das janelas

Coeficiente de transmissão térmica [W/m <sup>2</sup> K]	2,809
Fator solar do vidro	0,469

Ainda em relação às características das janelas, no *software* HAP foram definidas como tendo um vão simples em caixilharias de alumínio termolacado cinzento, de batente, com corte térmico de vidro duplo incolor de 6 mm e caixa de ar de 13 mm [48].

Relativamente à ocupação/utilização dos espaços, tratando-se de uma habitação unifamiliar e com o intuito de fazer uma aproximação à realidade de uma rotina dita normal e diária de uma família de 5 pessoas, considerou-se que a maior parte do dia, isto é, entre no período de meio da manhã e final da tarde, a atividade é bastante reduzida, sendo naturalmente superior aos fins-de-semana e feriados.

Na consideração do sistema de climatização a definir no HAP, os espaços atribuídos foram as salas de estar e jantar, cozinha e quatro quartos, sendo todas estas divisões climatizadas a partir de uma única zona de climatização. Este tipo de sistema considerado foi o *Split DX Fan Coil*, onde considera uma unidade exterior e diversas unidades terminais. O perfil de funcionamento binário definido indicará que o sistema durante a semana estará em funcionamento apenas com a presença das pessoas na habitação – entre as 17h00 e as 07h00 – e aos fins-de-semana o sistema funcionará sem interrupção.

Em relação à definição dos equipamentos, considerou-se a existência de televisão (20 W) na sala de estar e sala de jantar, nos quartos a existência de televisão e portátil (18 W) e na cozinha o conjunto de equipamentos e eletrodomésticos perfazem uma potência total de 470 W. Sobre a instalação elétrica, o valor de potência instalada para cada divisão pode ser observado no Quadro 3.3, contendo cada espaço um conjunto de luminárias LED de 8,5 W e 4 W.

Quadro 3.3 - Potência da iluminação instalada para cada espaço da habitação [48]

<b>Espaço</b>	<b>Potência instalada (W)</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>
<b>Hall</b>	8,5	0,63
<b>Sala de jantar</b>	33,5	2,19
<b>Sala de estar</b>	46	1,09
<b>Cozinha</b>	17	1,06
<b>Instalação Sanitária 1</b>	8,5	0,64
<b>Corredor</b>	25,5	3,16
<b>Quarto A</b>	16,5	1,16
<b>Quarto B</b>	16,5	0,76
<b>Quarto C + closet</b>	25	1,13
<b>Quarto D</b>	16,5	1,63
<b>Instalação Sanitária 2</b>	17	2,58
<b>Instalação Sanitária 3</b>	17	3,07

Em relação aos consumos energéticos dos equipamentos e iluminação, decidiu-se fazer pequenas alterações aos horários de utilização e potências em casos pontuais, tais como o aumento de presença em divisórias com maior tempo de utilização (quartos e sala), introdução de pequenos incrementos de atividade em períodos fora de horas, e aumento de potência de utilização de equipamentos em períodos de maior presença na habitação (nomeadamente na divisória da cozinha), de forma que o resultado das necessidades energéticas da habitação seja um pouco mais exigente.

Com este tópico definido, procede-se à implementação do sistema de produção de energia renovável da habitação.

### **3.1.2 Implementação do sistema de painéis fotovoltaicos**

Na definição do sistema de painéis fotovoltaicos decidiu-se fazer uma primeira abordagem, onde se considera uma área limitada de instalação na cobertura, para uma segunda iteração deste sistema, onde o número de painéis instalados aumenta de forma que a cobertura da habitação seja preenchida na totalidade. Assim, estes dois casos poderão servir para averiguar o panorama ideal para suprimir as necessidades da habitação e, em casos pontuais, o carregamento do VE em simultâneo.

O método de modelação deste sistema, além do levantamento do espaço a considerar na cobertura da habitação, implicou determinar os níveis de radiação que nela incide, recorrendo neste caso à ferramenta *Photovoltaic Geographical Information System* [49], apresentado na Figura 3.4.

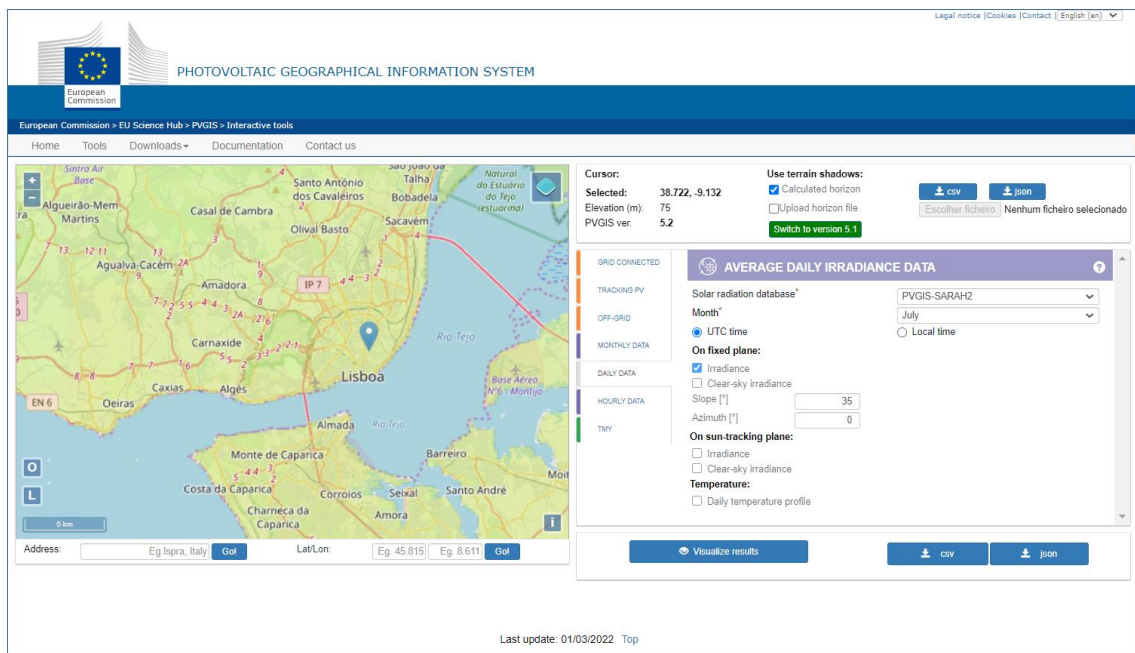


Figura 3.4 - Método de obtenção dos valores de irradiação para a localização da habitação [49] Foram obtidos os valores de irradiação, em  $W/m^2$ , da localização da habitação, sendo estes valores médios a cada hora do dia, para os meses especificados. De notar que a ferramenta fornece os valores de radiação global, direta e difusa, tendo sido considerada a radiação direta, uma vez que é essa a radiação que incide na área da cobertura a considerar. Mencionar ainda que os dois meses considerados para o estudo foram os meses de janeiro e julho, pois são estes que, segundo o software HAP, correspondem ao mês mais frio e mais quente, respetivamente.

Com os dados da irradiação solar horária, usando a equação 3.1, é possível calcular uma estimativa da potência produzida pelo sistema instalado na habitação, em  $W$ .

$$P = I \cdot A \cdot \eta \cdot N_p \quad (3.1)$$

Nesta determinação da potência produzida pelos painéis fotovoltaicos, o termo  $I$  corresponde à irradiação solar em  $W/m^2$ ,  $A$  corresponde à área de instalação em  $m^2$ ,  $\eta$  refere-se à eficiência de cada painel e  $N_p$  ao número de painéis fotovoltaicos usados no sistema.

Relativamente à eficiência de cada painel fotovoltaico, foi considerada a sua variação em função da temperatura registada. Em condições e testes standard ( $25\text{ }^\circ\text{C}$  e irradiação de  $1000\text{ }W/m^2$ ), por cada aumento de  $1\text{ }^\circ\text{C}$ , a eficiência do painel fotovoltaico decresce aproximadamente  $0,40\text{-}0,50\%$  [50], tendo sido considerado para o cálculo um decréscimo de  $0,45\%$  por cada aumento de  $1\text{ }^\circ\text{C}$  (valor intermédio).

O modelo selecionado foi o da marca TrinaSolar [51], estando as principais características apresentadas no Quadro 3.4, sendo estes valores referenciados para as condições ideais de simulação ( $25\text{ }^\circ\text{C}$  e irradiação de  $1000\text{ }W/m^2$ ).

Quadro 3.4 - Características do modelo do painel fotovoltaico

Potência [W]	355
Tensão de potência máxima [V]	36,8
Corrente nominal [A]	9,66
Tensão em circuito aberto [V]	44,6
Corrente de curto-circuito [A]	10,24
Dimensões [mm]	1852 x 996 x 35
Eficiência [%]	19,2
Tipo de célula	Monocristalina
Número de células	132

### 3.1.3 Características do veículo elétrico e horário de utilização

Neste subcapítulo apresentam-se as características do VE, bem como a sua integração com as cargas da habitação. Desta forma, respeitando o horário de utilização do VE, em vez de existir a situação onde o veículo elétrico usa o excesso de energia renovável produzida pela habitação para carregar a sua bateria, onde funcionaria como uma nova carga na habitação, o veículo funcionará também como uma fonte de energia, fornecendo parte da energia armazenada na sua bateria às necessidades da habitação.

Para uma melhor explicação da situação descrita, a definição do horário de utilização do veículo será fundamental. Considerando uma rotina normal de uma família, que ditará o período de utilização do VE como fonte de energia, durante os dias de semana o veículo sairá pelas 07h00 e regressará pelas 19h00, sendo que durante os fins de semana o mesmo permanecerá ininterruptamente na habitação. Considerando este horário, terá a desvantagem de não se conseguir fazer o aproveitamento da energia renovável produzida em excesso para o carregamento da bateria do VE, mas trará uma vantagem acrescida pois o VE poderá fornecer energia à habitação quando a produção de energia renovável é mínima ou nula.

Neste processo de troca de energia entre o veículo e a habitação (V2H), é importante considerar alguns aspetos essenciais, tais como a capacidade de armazenamento do VE, consumo de energia no trajeto diário, o estado de carga (SOC) e a capacidade de ceder energia.

Na capacidade de armazenamento da bateria e na carga de energia que o veículo fornece considerou-se uma gama de valores entre os 50 kWh e 80 kWh, que correspondem à grande maioria dos VE da atualidade, e a condição de cedência mínima de energia a 2,2 kW, derivada dos valores de tensão e corrente de 220 V e 10 A respetivamente.

Relativamente ao consumo diário da bateria no trajeto casa – trabalho – casa, utilizou-se uma base de dados de ciclos de condução [52], e foi usada a metodologia *Vehicle Specific Power* (VSP) [53], [54], para análise da potência requerida à roda em função da dinâmica do veículo (aceleração, velocidade, topografia). Foi efetuada uma análise modal, onde se utilizou o consumo por VSP de um veículo elétrico tipo (Nissan Leaf) [55]. Para o efeito, optou-se por um ciclo de condução misto, ou seja, um ciclo com condução urbana e extraurbana. Mais detalhadamente, dentro deste ciclo de condução escolheu-se um percurso com uma distância de 28 km, sendo efetuado a uma velocidade média de 52 km/h, numa duração de aproximadamente 30 minutos.

Com os dados da velocidade do veículo, distância, altitude e aceleração, determinou-se a inclinação a cada segundo [52], dado importante para a determinação do VSP [53]. Assim, com recurso à equação simplificada da metodologia VSP [53], [54], transposta na equação 3.2, determinou-se o valor VSP ao segundo, em W/kg, para o percurso escolhido.

$$VSP = v \cdot (1,1 \cdot a + 9,81 \cdot \text{inclinação} + 0,132) + 3,02 \cdot 10^{-4} \cdot v^3 \quad (3.2)$$

Na equação 3.2, os termos  $v$  e  $a$  representam a velocidade do veículo em m/s e a aceleração em  $\text{m/s}^2$ , respetivamente. Com esta determinação ao segundo do VSP, cada ponto é agrupado e dividido em 14 modos, em que cada modo tem diferentes intervalos de VSP em W/kg. Após a contagem de cada modo a cada segundo, efetuou-se a comparação com o consumo por VSP de um veículo elétrico tipo, multiplicando o consumo em Wh/s de cada um dos 14 modos pela contagem de segundos do modo associado, obtendo-se um consumo total para o percurso escolhido, de aproximadamente 4000 Wh. Com este valor de consumo, determinou-se que o consumo do VE será aproximadamente 15 kWh/100 km.

Um outro parâmetro implementado no uso do VE, é a possibilidade de o mesmo poder fazer o carregamento fora da habitação, sendo a potência máxima de carregamento definida como 3,7 kW, correspondendo à potência mínima de um posto de carregamento (Wallbox). Este valor pode ser ajustado para a segunda potência acima mais usual em monofásico, 7,4 kW.

Relativamente ao SOC, que dita a percentagem de energia remanescente na bateria, considerou-se para uma primeira condição um valor aleatório entre os 20% e 80% de forma a dar início à simulação. Definiu-se também que o VE irá deixar de fornecer energia quando atinge os 20% de SOC, e na situação de carregamento, o VE atingindo 80% de SOC, deixará de carregar. Estes dois intervalos definidos para os regimes de

descarregamento e carregamento, permitem que se consiga preservar a vida útil da bateria e a tornar a simulação mais dinâmica e realista.

Na variante do carregamento ser efetuado exclusivamente fora da habitação, ou seja, não sendo permitido o carregamento durante a noite pela rede da habitação, os parâmetros de descarregamento tornam-se mais exigentes, fazendo com que o VE deixe de descarregar quando atinge os 40% de capacidade, permitindo sair de casa com energia suficiente para efetuar o seu trajeto até ao local de trabalho, e iniciar o seu carregamento.

Na determinação dos indicadores de eficiência energética, devido ao facto da legislação não ser aplicável à mobilidade elétrica, estes irão depender do tipo de energia considerada. Ou seja, podendo ser uma energia cedida à habitação (tipo R, entrando no cálculo como uma carga positiva), podendo contribuir para o aumento da carga que a habitação recebe (tipo S, tratando-se de uma carga negativa) e/ou considerar cenários onde representam uma carga tipo T que não são contabilizadas no cálculo do indicador de eficiência energética.

#### **3.1.4 Características do sistema de bateria estacionária**

Apesar do sistema auxiliar de BE não ser considerado um dado de entrada principal, pois não é essencial nem central neste estudo, considera-se como um equipamento adicional a estudar, podendo estar ou não disponível (input ON/OFF). O seu algoritmo será idêntico ao funcionamento da bateria do VE, diferenciando na sua capacidade de armazenamento e cedência de energia serem substancialmente inferiores, sendo definida uma capacidade de 10 kWh e potência de 1 kW.

Este sistema como está ininterruptamente instalado à habitação, trará a vantagem de poder carregar usando o excesso de energia renovável produzida na habitação e fornecer energia à mesma quando a produção de energia renovável é nula, analogamente ao VE, apesar dos valores de energia e potência serem bastante inferiores. Considerando os mesmos limites de armazenamento usados para a bateria do VE, a bateria estacionária ainda terá de se conciliar com o sistema fotovoltaico, pois terá a oportunidade de carregar quando existe excesso de energia ou até complementar o sistema fotovoltaico caso a produção de energia renovável não seja suficiente para as cargas da habitação.

Na determinação dos indicadores de eficiência energética, da mesma forma que o VE não está contemplado na legislação da certificação energética, as baterias estacionárias também não o estão. O único aspeto que difere do VE, é que neste caso de estudo, é completamente garantido que a energia que a BE fornece é inteiramente renovável, pois apenas irá carregar pelo excesso produzido pela instalação PF, e nunca pela rede.

Assim, estando todos os inputs devidamente identificados e descritos, segue-se o subcapítulo referente aos diferentes parâmetros caracterizadores (outputs) que servirão de resultados neste caso de estudo.

## 3.2 Parâmetros caracterizadores (outputs)

### 3.2.1 Certificação Energética

O primeiro parâmetro (output) a ser considerado é a análise da certificação energética da habitação, segundo a legislação aplicada [56], que tal como mencionado em capítulos anteriores deste documento, um novo imóvel a partir de 31 de dezembro de 2020 tem de seguir obrigatoriamente a ideologia nZEB [8].

Segundo o Despacho nº 6476-H/2021 [56], a certificação energética a realizar para um edifício de habitação terá por base a análise de balanços energéticos previstos e de referência, ambos determinados em condições normais de temperatura interior a 18 °C na estação de aquecimento e 25 °C na estação de arrefecimento, para que sejam calculados os Indicadores de Eficiência Energética.

O cálculo da certificação energética ( $R_{Nt}$ ) é determinado através do rácio entre as necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_{tc}$ ) e o seu valor máximo ( $N_t$ ), sendo calculada através da equação 3.3 de acordo com o Despacho (extrato) 15793-J/2013 [57].

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (3.3)$$

O Quadro 3.5, apresenta a classe energética em função do valor de  $R_{Nt}$  obtido através da equação 3.3.

Quadro 3.5 - Classificação energética em função do valor de  $R_{Nt}$  (adaptado de [49])

Classe Energética	Valor de $R_{NT}$
A+	$R_{NT} < 0,25$
A	$0,26 \leq R_{NT} \leq 0,5$
B	$0,51 \leq R_{NT} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{NT} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{NT} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{NT} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{NT} \leq 2,50$
F	$R_{NT} \geq 2,51$

De acordo com o Decreto-Lei nº 118/2013 o valor das necessidades nominais anuais de energia primária,  $N_{tc}$ , de um edifício novo de habitação não pode exceder o valor

máximo das necessidades nominais anuais de energia primária,  $N_t$ , ou seja, o valor de  $R_{N_t}$  tem de ser inferior a 1, o que obriga a todos os novos edifícios de habitação apresentem no mínimo classe energética B-, segundo o Quadro 3.5.

Em relação aos edifícios de habitação NZEB, a Portaria nº 98/2019 [58], estabelece a nível das necessidades energéticas as premissas apresentadas nas equações 3.4 e 3.5.

$$N_{ic} \leq 0,75 \times N_i \quad (3.4)$$

$$N_{tc} \leq 0,5 \times N_t \quad (3.5)$$

De forma a entender cada parcela do cálculo da certificação energética, é efetuada a explicação da sequência da determinação do  $N_{tc}$  e os ajustes que se teve de efetuar de modo a ser possível aplicar ao caso de estudo apresentado neste trabalho. Adicionalmente, é efetuada a explicação e a determinação do  $N_i$ , igualmente com as alterações à equação original, e todos os passos intermédios da mesma.

Assim, começando pela determinação das necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_{tc}$ ), a equação original é a representada na equação 3.6 [56], em  $kWh/m^2/ano$ , de acordo com o Despacho (extrato) 15793-I/2013 [59]. O seu valor resulta da soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com os diferentes usos: aquecimento ( $N_{ic}$ ), arrefecimento ( $N_{vc}$ ), produção de AQS ( $Q_a$ ) (não considerada para o caso de estudo) e ventilação mecânica (neste caso de estudo é nula uma vez que se está a recorrer à ventilação natural), deduzindo as eventuais contribuições de energia renovável ( $E_{ren}$ ).

$$N_{tc} = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_i \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_v \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad (3.6)$$

Para aplicação da equação 3.6 no presente trabalho, houve a necessidade de fazer alguns ajustes à mesma, de forma que se consiga diferenciar, dentro da parcela da energia renovável, os valores efetivos de contribuição renovável (em kWh) dos ativos considerados na habitação (PF, VE e BE). A este somatório da parcela renovável, implementada apenas para os meses de janeiro e julho, divide-se pela área de pavimento, por forma a respeitar as unidades da equação original.

Outras duas alterações à equação 3.6 foi que, o somatório de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  passa a ser unicamente como  $N_t$ , subtraindo a este a parcela da renovável. Esta decisão de passar a ser apenas  $N_t$  é justificada pelo facto de  $N_t$  ser uma constante de referência (a energia primária de referência da habitação), e por simplificar o cálculo do  $N_{tc}$ .

A última alteração foi a divisão do resultado por 2 meses, pois o caso de estudo foi simulado apenas para os meses de julho e janeiro. Assim, a equação 3.7 apresenta o cálculo definitivo das necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_{tc}$ ), em  $kWh_{ep}/m^2mês$ .

$$N_{tc} = N_t - \frac{\left[ \left( \frac{Ren PF_{jan} + Ren bateria_{jan} + Ren VE_{jan}}{A_{pav}} \cdot F_{pu} \right) + \left( \frac{Ren PF_{jul} + Ren bateria_{jul} + Ren VE_{jul}}{A_{pav}} \cdot F_{pu} \right) \right]}{2 \text{ meses}} \quad (3.7)$$

Relativamente ao valor usado para o fator de conversão de energia ( $F_{pu}$ ), este está apresentado no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 - Fator de conversão de energia primária [adaptado de [60]]

Fonte de Energia	$F_{pu}$
Eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável)	2,5 $kWh_{ep}/kWh$

A equação 3.8 refere-se às necessidades nominais anuais de energia primária de referência ( $N_t$ ) que correspondem ao total de energia primária para satisfazer anualmente as necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente e de preparação de AQS do edifício de referência, admitindo a inexistência de consumos de energia associados ao funcionamento de sistemas de ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis. Assim a equação original está definida em (3.8) [56].

$$N_t = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_{a,ref} / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (3.8)$$

Tal como na determinação do  $N_{tc}$ , o cálculo do  $N_t$  teve de sofrer as mesmas alterações para que esteja em conformidade com o  $N_{tc}$ , sendo as unidades por base mensal. Como as unidades do  $N_{tc}$  são em ( $kWh_{ep}/m^2mês$ ), ao cálculo do  $N_t$ , acrescenta-se a divisão por 12 meses. Assim, na equação 3.9 apresenta-se a determinação ajustada do  $N_t$ .

$$N_t = \frac{\left[ \left( \frac{N_i}{\eta_{ref aqueci}} \cdot F_{pu} \right) + \left( \frac{N_v}{\eta_{ref arref}} \cdot F_{pu} \right) \right]}{12 \text{ meses}} \quad (3.9)$$

No que diz respeito ao valor  $F_{pu}$ , este é o mesmo e apresenta-se o seu valor no Quadro 3.6. Relativamente aos valores ( $\eta_{ref aqueci}$  e  $\eta_{ref arref}$ ), estes têm por base em valores de eficiência de referência de sistemas de climatização do tipo *split*, *multiplit* e *VRV* com permuta exterior a ar, sendo os valores usados apresentados no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 - Eficiência de referência por sistema em edifícios de habitação [adaptado de [13]]

Uso Regulado	Sistema	Eficiência de Referência
Aquecimento	<i>Split, Multisplit</i> e VRV com permuta exterior a ar	3,4
Arrefecimento	<i>Split, Multisplit</i> e VRV com permuta exterior a ar	3

Para a determinação dos valores de  $N_i$  e  $N_v$ , segue-se a descrição da abordagem utilizada nos cálculos. Começando pela determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência ( $N_i$ ), este traduz a quantidade de energia necessária para manter o edifício de referência a uma temperatura de 18 °C durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento.

Estas necessidades são determinadas tendo em consideração as condições de referência na transferência de calor pela envolvente, a transferência de calor por ventilação e os ganhos de calor úteis. Este valor é determinado com base na metodologia prevista na Norma EN ISO 13790 [61], em  $kWh/m^2\text{ano}$ , de acordo com a equação 3.10:

$$N_i = (Q_{tr,i_{ref}} + Q_{ve,i_{ref}} - Q_{gu,i_{ref}})/A_p \quad (3.10)$$

O termo  $Q_{tr,i_{ref}}$ , representa a transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício de referência na estação de aquecimento em kWh/ano, o termo  $Q_{ve,i_{ref}}$ , representa a transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento em kWh/ano, e o termo  $Q_{gu,i_{ref}}$ , representa os ganhos térmicos úteis de referência resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes em kWh/ano. O termo  $A_p$  representa a área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior em  $m^2$ .

A determinação da transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício de referência ( $Q_{tr,i_{ref}}$ ) é efetuada tal como na equação 3.11 [61].

$$Q_{tr,i_{ref}} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad (3.11)$$

Em que  $GD$  representa Número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de 18 °C, e o termo  $H_{tr,i}$  representa o coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento em  $W/^\circ C$ .

Para a utilização da equação 3.11, foram consideradas as seguintes particularidades:

a) Valores de coeficiente de transmissão térmica de referência ( $U_{ref}$ ), constantes no Quadro 3.8, considerando a zona climática I1;

Quadro 3.8 - Coeficiente de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação  
[adaptado de [13]]

$U_{ref}$ [W/m <sup>2</sup> .°C]		Zona Climatérica
<b>Envolvente</b>		Portugal Continental
		I1
Condição fronteira exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	Elementos opacos verticais	0,50
	Elementos opacos horizontais	0,40
Vãos Envidraçados		2,80
Elementos em contacto com o solo		0,50

b) Valores de coeficiente de transmissão térmica linear de referência ( $\psi_{ref}$ ), constantes no Quadro 3.9;

Quadro 3.9 - Coeficiente de transmissão térmica linear de referência em edifícios de habitação  
[adaptado de [13]]

Tipo de ligação	$\psi_{ref}$ [W/(m.°C)]
Fachada com pavimento térreo	0,50
Fachada com pavimento sobre o exterior ou espaço interior não útil	
Fachada com cobertura	
Fachada com pavimento de nível intermédio	
Fachada com varanda	
Fachada com caixilharia	0,20
Zona de caixa de estore	

c) Área de vãos envidraçados até 20% da área interior útil de pavimento do edifício, devendo a eventual área excedente ser somada à área de envolvente opaca exterior, nos termos das alíneas anteriores. Esta análise é efetuada considerando a área total de vãos envidraçados exteriores em espaços interiores úteis.

Ainda sobre a equação 3.11, os graus-dias (GD), utilizados para caracterizar a severidade do inverno num local, correspondem à diferença entre a temperatura base, de 18 °C, e a temperatura exterior inferior a esta ao longo do ano. Para o seu cálculo, recorreu-se à equação 3.12 e com recurso ao Despacho 15793-F/2013 [62], indicado no Quadro 3.10, contendo os dados referentes ao GD de referência e  $a$  para a localização de Grande Lisboa.

A equação 3.12 é uma equação genérica, onde para a determinação dos graus-dias,  $[X]$  é o  $[GD]$ ,  $[X_{REF}]$ ,  $a$  e  $z_{REF}$  são respectivamente  $[GD_{REF}]$ ,  $GD_a$  e  $z_{REF}$  do Quadro 3.10. o valor  $z$  é a cota a que a habitação se encontra, e o valor usado é igual ao  $z_{REF}$ .

$$X = X_{REF} + a(z - z_{REF}) \quad (3.12)$$

Quadro 3.10 - Valores usados no cálculo do GD [adaptado de [62]]

	$Z_{REF}$ [m]	$GD_{REF}$ [°C]	$GD_a$ [°C/km]
<b>Grande Lisboa</b>	109	1071	1700

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento ( $H_{tr,i}$ ), calculado com base na metodologia prevista na Norma EN ISO 13789 [61], traduz-se como o somatório dos coeficientes de transferência de calor por transmissão pelos vários elementos da envolvente, compreendendo paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos, pontes térmicas planas e lineares, conforme a equação 3.13:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (3.13)$$

Em que o termo  $H_{tr,i}$  é coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento,  $H_{ext}$  o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, o termo  $H_{enu}$  é o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com espaços interiores não úteis,  $H_{adj}$  é o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes e o termo  $H_{ecs}$  é o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo. As unidades de todas as parcelas da equação 3.13 são em  $W/°C$ .

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior ( $H_{ext}$ ), em  $W/°C$ , é determinado conforme a equação 3.14 [61].

$$H_{ext} = \sum [U_i \cdot A_i] + \sum [\psi_j \cdot B_j] \quad (3.14)$$

Em que o primeiro termo,  $\sum [U_i \cdot A_i]$ , é o somatório entre ( $U_i$ ) o coeficiente de transmissão térmica do elemento  $i$  da envolvente, em  $W/(m^2 \cdot °C)$ , e ( $A_i$ ) a área do elemento  $i$  da envolvente, medida pelo interior do edifício em  $m^2$ ; e o segundo termo,  $\sum [\psi_j \cdot B_j]$ , é o somatório entre ( $\psi_j$ ) o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear  $j$ , em  $W/(m \cdot °C)$ , e ( $B_j$ ) o desenvolvimento linear da ponte térmica linear  $j$ , medido pelo interior do edifício, em m.

A determinação dos coeficientes de transferência de calor por transmissão através da envolvente interior, nomeadamente, o coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente em contacto com espaços interiores não úteis ( $H_{enu}$ ) e em

contacto com edifícios adjacentes ( $H_{adj}$ ), é condicionada pela temperatura no espaço interior não útil ou no edifício adjacente refletida no respetivo  $b_{ztu}$ , conforme equação 3.15 [61].

$$H_{enu} e H_{adj} = \sum_h b_{ztu_h} \cdot \left( \sum [U_i \cdot A_i] + \sum [\psi_j \cdot B_j] \right) \quad (3.15)$$

Em que  $b_{ztu_h}$  é o coeficiente de redução do espaço interior não útil, sendo o valor usado 0,7 [13], que multiplica pelos mesmos dois somatórios,  $\sum [U_i \cdot A_i]$  e  $\sum [\psi_j \cdot B_j]$ , da equação 3.14.

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com o solo ( $H_{ecs}$ ) é determinado através da equação 3.16 [61].

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf_i} \cdot A_i] + \sum_j [z_{solo_j} \cdot P_{solo_j} \cdot U_{bw_j}] \quad (3.16)$$

Em que o termo  $U_{bf_i}$  é o coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado  $i$  em  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ,  $A_i$  é a área do pavimento em contacto com o solo  $i$ , medida pelo interior do edifício, em  $m^2$ , o termo  $z_{solo_j}$  refere-se à profundidade média da parede em contacto com o solo  $j$  em metros,  $P_{solo_j}$  é o desenvolvimento total da parede em contacto com o solo  $j$ , medido pelo interior do edifício em metros e o termo  $U_{bw_j}$  é o coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo  $j$ , em  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ .

A transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento ( $Q_{ve_i}$ ), em kWh/ano, é obtida através da equação 3.17 [61].

$$Q_{ve_i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} \quad (3.17)$$

Em que  $GD$  corresponde ao número de graus-dias na estação de aquecimento, e o termo  $H_{ve,i}$  é o coeficiente de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento em  $W/^\circ C$ .

O coeficiente de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento ( $H_{ve_i}$ ) é determinado pela equação 3.18 [61].

$$H_{ve_i} = 0,34 \cdot R_{ph,ref} \cdot A_p \cdot P_d \quad (3.18)$$

Em que o termo  $R_{ph,ref}$  corresponde à taxa nominal de renovação do ar interior de referência na estação de aquecimento, e segundo a Portaria N° 349-B/2013 [35], o valor de referência é 0,6 [ $h^{-1}$ ],  $A_p$  é a área interior útil de pavimento em  $m^2$  e  $P_d$  é o pé direito médio ponderado em m.

Na estação de aquecimento, os ganhos térmicos úteis ( $Q_{gu,i}$ ) em kWh/ano, são determinados em função dos ganhos térmicos brutos ( $Q_{g,i}$ ) e do fator de utilização dos ganhos térmicos ( $\eta_{iref}$ ), conforme equação 3.19 e considerando as seguintes particularidades:

- a) Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar de referência ( $Q_{sol,i}$ ), em kWh/ano, obtidos de acordo com a equação 3.22;
- b) Fator de utilização de ganhos térmicos de referência na estação de aquecimento ( $\eta_{iref}$ ) igual a 0,6 [35].

$$Q_{gu,i} = \eta_{iref} \cdot Q_{g,i} \quad (3.19)$$

Os ganhos térmicos brutos ( $Q_{g,i}$ ) resultam do somatório dos ganhos térmicos provenientes das cargas internas, originadas pela iluminação, pelos equipamentos e pela ocupação ( $Q_{int,i}$ ), em kWh/ano, e dos ganhos solares através dos vãos envidraçados ( $Q_{sol,i}$ ), também em kWh/ano, conforme equação 3.20 [61]:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (3.20)$$

Os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor ( $Q_{int,i}$ ) são determinados em função dos ganhos térmicos internos médios ( $q_{int}$ ), que assumem o valor fixo de  $4 \text{ W/m}^2$  (segundo o Despacho 15793-I/2013 [59]), da duração média da estação de aquecimento e da área interior útil de pavimento, conforme equação 3.21 [61]:

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad (3.21)$$

Relativamente aos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento ( $Q_{sol,i}$ ), em kWh/ano, estes devem ser determinados pela equação 3.22 [61]:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot 0,146 \cdot 0,15 \cdot A_p \cdot M \quad (3.22)$$

As constantes (0,146 e 0,15) estão representados nos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar de referência [56].

O termo  $G_{sul}$  corresponde à energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento, retirado do Despacho 15793-F/2013 [62], em  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mês})$ , a área interior útil de pavimento, e o termo  $M$  corresponde à duração da estação de aquecimento, em meses, sendo o valor 5,3 segundo o despacho 15793-F/2013 [62].

Terminada a enumeração de todos os passos e equações necessárias para a determinação do  $N_i$ , segue-se as equações e as etapas usadas na determinação do  $N_v$ . Assim, as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ), traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura de 25 °C durante 24 horas e durante toda a estação de arrefecimento. O valor é determinado através da equação 3.23, em kWh/(m<sup>2</sup>.ano).

$$N_v = (1 - \eta_{v_{ref}}) \cdot \frac{Q_{g,v_{ref}}}{A_p} \quad (3.23)$$

Onde  $\eta_{v_{ref}}$  corresponde ao factor de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento de referência, o termo  $Q_{g,v_{ref}}$  corresponde a ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento em kWh/(ano) e  $A_p$  corresponde à área interior útil de pavimento em m<sup>2</sup>.

A determinação do fator de utilização de ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento ( $\eta_{v_{ref}}$ ), equação 3.24, varia em função da diferença entre a temperatura interior de referência ( $\theta_{ref,v}$ ) e a temperatura exterior média ( $\theta_{ext,v}$ ) conforme equação 3.25 e as condições seguintes [56]:

a) Se  $\Delta\theta > 1$ , então:

$$\eta_{v_{ref}} = 0,52 + 0,22 \cdot \ln(\Delta\theta) \quad (3.24)$$

b) Se  $0 < \Delta\theta \leq 1$ , então  $\eta_{v_{ref}}$  assume o valor de 0,45;

c) Se  $\Delta\theta \leq 0$ , então  $\eta_{v_{ref}}$  assume o valor de 0,30.

$$\Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \quad (3.25)$$

Sendo  $\Delta\theta$  a diferença de temperatura, o termo  $\theta_{ref,v}$  a temperatura interior de referência na estação de arrefecimento, igual a 25 °C e  $\theta_{ext,v}$  a temperatura exterior média na estação de arrefecimento. Todas as parcelas da equação 3.25 têm as unidades em °C [56].

Para a determinação do valor da temperatura exterior média ( $\theta_{ext,v}$ ), recorreu-se à equação genérica 3.12 e ao Quadro 3.11 adaptada do Despacho 15793-F/2013 [62].

Tal como na determinação do GD, no cálculo do  $\theta_{ext,v}$ , os termos [ $X$ ,  $X_{REF}$ ,  $a$  e  $z_{REF}$ ] correspondem a [ $\theta_{ext,v}$ ,  $\theta_{ext,v_{REF}}$ ,  $\theta_{ext,v_a}$  e  $z_{REF}$ ] respectivamente, sendo os últimos 3 valores apresentados no Quadro 3.11.

Quadro 3.11 – Valores usados no cálculo do  $\theta_{ext,v}$  [adaptado de [62]]

	$Z_{REF}$ [m]	$\theta_{ext,v_{REF}}$ [°C]	$\theta_{ext,v_a}$ [°C/km]
<b>Grande Lisboa</b>	109	21,7	-10

Os ganhos térmicos brutos de referência na estação de arrefecimento por unidade de área ( $Q_{g,v_{ref}}/A_p$ ), em [kWh/( $m^2$ .ano)], resultam do somatório dos ganhos térmicos provenientes das cargas internas por unidade de superfície ( $q_{int}$ ), com valor igual a  $4 \text{ W/m}^2$ , e dos ganhos solares através da envolvente opaca e envidraçada, conforme equação 3.26 [56]:

$$Q_{g,v_{ref}}/A_p = [q_{int} \cdot \frac{L_v}{1000} + g_{v_{ref}} \cdot (A_w/A_p)_{ref} \cdot G_{sol_{ref}}] \quad (3.26)$$

Ainda na equação 3.26, referir que o termo  $L_v$  corresponde à duração da estação de arrefecimento, sendo igual a 2928 horas [56] (aproximadamente 4 meses de arrefecimento),  $g_{v_{ref}}$  é o fator solar de verão de referência, igual a 0,43, o termo  $(A_w/A_p)_{ref}$  é a razão entre a área de vãos envidraçados e a área interior útil de pavimento, que assume o valor fixo de 0,20 [62], e o termo  $G_{sol_{ref}}$  é a energia solar média incidente de referência acumulada durante a estação de arrefecimento, que corresponde ao valor de  $G_{sol}$  para uma superfície orientada a oeste, em [kWh/( $m^2$ .ano)] [62].

Com todas as equações identificadas, usadas ao longo da metodologia de cálculo adaptada da certificação energética, procede-se com metodologia usada na análise económica dos consumos energéticos da habitação.

### 3.2.2 Análise Energética

Neste subcapítulo serão abordadas as tarifas energéticas a aplicar na habitação, bem como os períodos horários aplicáveis e as tarifas médias indicativas referentes à injeção de energia renovável na rede de distribuição.

Primeiro, tendo em conta o edifício ser do tipo habitacional, o fornecimento de energia elétrica será realizado através da alimentação em Baixa Tensão Normal (BTN), sendo a tarifa escolhida a tri-horária.

Os valores das tarifas são fornecidos pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) [63] e no Quadro 3.12, encontram-se identificados os preços das tarifas de energia bem como o preço da potência contratada, tendo sido usada a potência contratada de 10,35 kVA.

Quadro 3.12 - Tabela de preços da tarifa de energia – 2023 (adaptado de [56])

Preço da tarifa de energia						
Nível tensão e tarifário	Períodos I e IV			Períodos II e III		
	Horas de ponta	Horas cheias	Horas vazio	Horas de ponta	Horas cheias	Horas vazio
BTN - tri-horario	0,1971	0,1844	0,1521	0,1971	0,1844	0,1521
BTN - bi-horario	0,1879		0,1521	0,1879		0,1521
BTN - simples		0,1752			0,1752	
Tarifa de Acesso às Redes em BTN < 20,7 kVA					Preços	
Potência contratada					EUR/dia	
Tarifa simples, bi-horária e tri-horária			10,35	0,2691		
Energia activa					EUR/kWh	
Tarifa tri-horária	Horas de ponta			0,0818		
	Horas cheias			-0,0232		
	Horas de vazio			-0,0349		
Tarifa bi-horária	Horas de fora de vazio			-0,0005		
	Horas de vazio			-0,0349		
Tarifa simples			-	-0,0121		

No Quadro 3.13 apresentam-se as características do tarifário tri-horário - hora de ponta, horas cheias e horas vazio normal -, tanto para os dias de semana como para o sábado e domingo, nos períodos horários de inverno (Período I-IV) e verão (Período II-III).

Quadro 3.13 - Períodos horários [adaptado de [63]]

	Inverno - Período I-IV		
	Dias de semana	Sábado	Domingo
Horas de ponta	09h30-12h00	-	-
	18h30-21h00	-	-
Horas cheias	07h00-09h30	09h30-13h00	-
	12h00-18h30	18h30-22h00	-
	21h00-24h00	-	-
Horas vazio normal	00h00-02h00	00h00-09h30	00h00-23h00
	06h00-07h00	13h00-18h30	-
	-	22h00-00h00	-
	Verão - Período II-III		
	Dias de semana	Sábado	Domingo
Horas de ponta	09h15-12h15	-	-
	07h00-09h15	09h00-14h00	-
Horas cheias	12h15-24h00	20h00-22h00	-
	00h00-02h00	00h00-09h30	00h00-23h00
Horas vazio normal	06h00-07h00	13h00-18h30	-
	-	22h00-00h00	-

Para além da redução da utilização de energia a partir da rede de distribuição poder contribuir para a redução da fatura energética, existe uma outra possibilidade que poderá ser a partir de uma compensação monetária pela injeção na rede de distribuição de energia renovável produzida em excesso pelo sistema fotovoltaico instalado. Assim, segundo o Decreto-Lei nº225/2007 [64], são definidas as tarifas médias indicativas que correspondem a venda de energia à rede de distribuição, estando representadas no Quadro 3.14, notando que a remuneração de um sistema PV instalado em edifícios residenciais, variará entre 355 e 470 €/MWh, dependendo da potência do sistema instalado.

Quadro 3.14 - Tarifas indicativas da venda de energia à rede de distribuição [adaptado de [63]]

Tecnologia	Tarifa média indicativa (€/MWh)	Observações
PV microgeração ≤ 5 kW	470	Quando instalados em edifícios de natureza residencial, comercial, serviços ou industrial, 15 anos
PV microgeração ≥ 5kW e ≤ 150kW	355	

### 3.2.3 Análise de emissões de gases com efeito de estufa

Na produção de eletricidade será inevitável a produção de emissões de GEE, e que depende da fonte de energia primária utilizada, sendo que a produção de energia de origem térmica é considerada a mais poluente, devido esta proveniente da queima de combustíveis fósseis, como o carvão, diesel, gás natural, entre outras variantes.

Através da Diretiva nº16/2018 da ERSE [65], lançou-se a rotulagem de energia elétrica, consistindo na apresentação de informação aos consumidores sobre as origens da energia elétrica consumida e os impactos ambientais que advêm da sua produção, sendo esse impacto ambiental associado em emissões de CO<sub>2</sub>.

Segundo a *European Environment Agency* [66], a nível europeu, verifica-se que por cada kWh de energia fornecida pela rede de distribuição, as emissões registadas são 258 gCO<sub>2eq</sub> para 2022 (valor e ano mais recente registado), estando a evolução anual representada na Figura 3.5 [66].

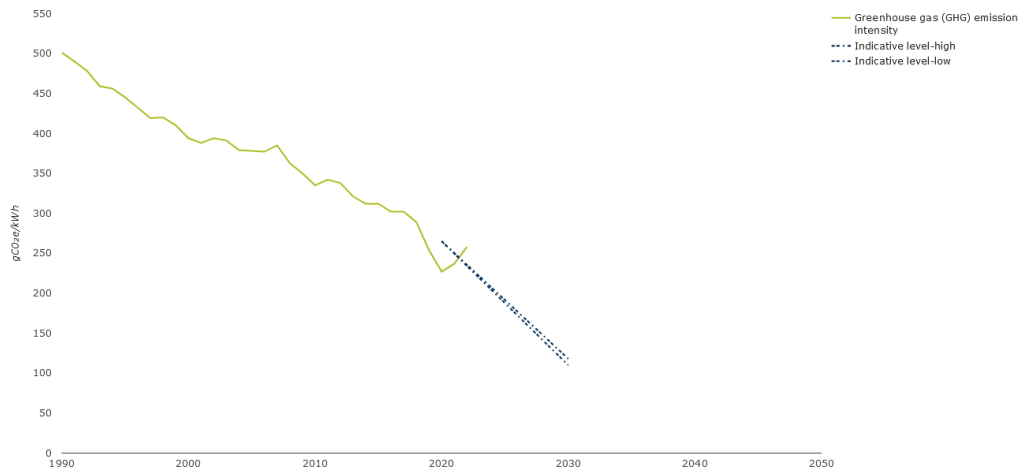


Figura 3.5 - Intensidade de emissões de GEE pela geração de energia elétrica – UE [66]

Assim, poderão ser determinadas as emissões de CO<sub>2</sub> correspondentes à energia fornecida pela rede elétrica nacional à habitação. Este valor irá naturalmente diminuir com a aplicação das medidas de eficiência energética, sendo expectável uma diminuição do uso de energia proveniente da rede de distribuição, o que resulta numa diminuição de produção de CO<sub>2</sub> pela moradia. Assim, foram determinados três valores distintos de energia (para cada mês), sendo eles a energia primária (EP), a energia final (EF) e as emissões de CO<sub>2</sub> (Em).

A equação 3.27 considera a conversão do valor de energia primária que corresponde à energia utilizada:

$$EP = EP_{kWh} \cdot FC \quad (3.27)$$

Sendo EP, a energia primária utilizada em (tep), obtida pela multiplicação da mesma energia primária utilizada em kWh pelo fator de conversão de kWh para tep (FC), onde (1 kWh = 215 x 10<sup>-6</sup> tep).

A energia final, em MJ, é determinada pela equação 3.28:

$$EF = \left( \frac{EP_{kWh}}{1000} \right) \cdot FC_E \quad (3.28)$$

Onde o termo FC<sub>E</sub> é o fator de conversão de kWh para MJ (sendo 1 kWh = 3,6 MJ).

E por fim no cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>, recorre-se à equação 3.29:

$$Em = EP_{kWh} \cdot FE \quad (3.29)$$

Sendo (Em) as emissões de CO<sub>2</sub> em [tCO<sub>2</sub>] e (FE) o fator de emissões de GEE (1 kWh = 258 gCO<sub>2eq</sub> (dado a nível europeu no ano de 2022, onde por cada kWh de energia fornecida pela rede de distribuição, as emissões registadas são 258 gCO<sub>2eq</sub>) [66]).

### 3.2.4 Análise e Gestão Energética do edifício

O último parâmetro (output) a ser implementado foi a análise e gestão de energia total do edifício, incluindo todas as diferentes premissas e obrigatoriedades implementadas para os diferentes casos de estudo.

Foi implementado um “menu inicial” para parametrizar e selecionar diferentes opções e definir valores base para cada opção, dando uma dinâmica aos resultados e rapidez de alteração de cenários de simulação. O Quadro 3.15 exemplifica o que se pode selecionar e definir para dar início aos cálculos: como associar o VE à simulação, a definição das suas características, a escolha do regime de carregamento do VE ser fora ou dentro da habitação, a associação dos painéis fotovoltaicos e a parametrização da BE.

Quadro 3.15 - Menu tipo de definição dos inputs

<b>Inputs</b>	<b>Opções</b>
<b>BE</b>	Sim / Não
	Valor Inicial da Capacidade em kWh
	Potência Max (Default 1 kW)
<b>Painéis Fotovoltaicos</b>	Sim / Não
<b>VE</b>	Sim / Não
	Valor Inicial da Capacidade em kWh
	Potência Máx (Default 2,2 kW)
	Capacidade do VE (Default 40 kWh)
	Descarregamento Máx (Default até 20%)
	Carregamento Máx (Default até 80%)
<b>VE – Carregamento Fora da Habitação</b>	Sim / Não
<b>VE – Carregamento em Casa pela Rede</b>	Sim / Não

Com estes diferentes parâmetros, permite que haja variedade de resultados, e verificar a interação e a influência que existe entre as diferentes opções. Seguindo os diagramas da Figura 3.6, Figura 3.7, Figura 3.8 e Figura 3.9, verificam-se as decisões da simulação, os resultados que se podem obter e as diferenças entre os 5 cenários usados neste trabalho.

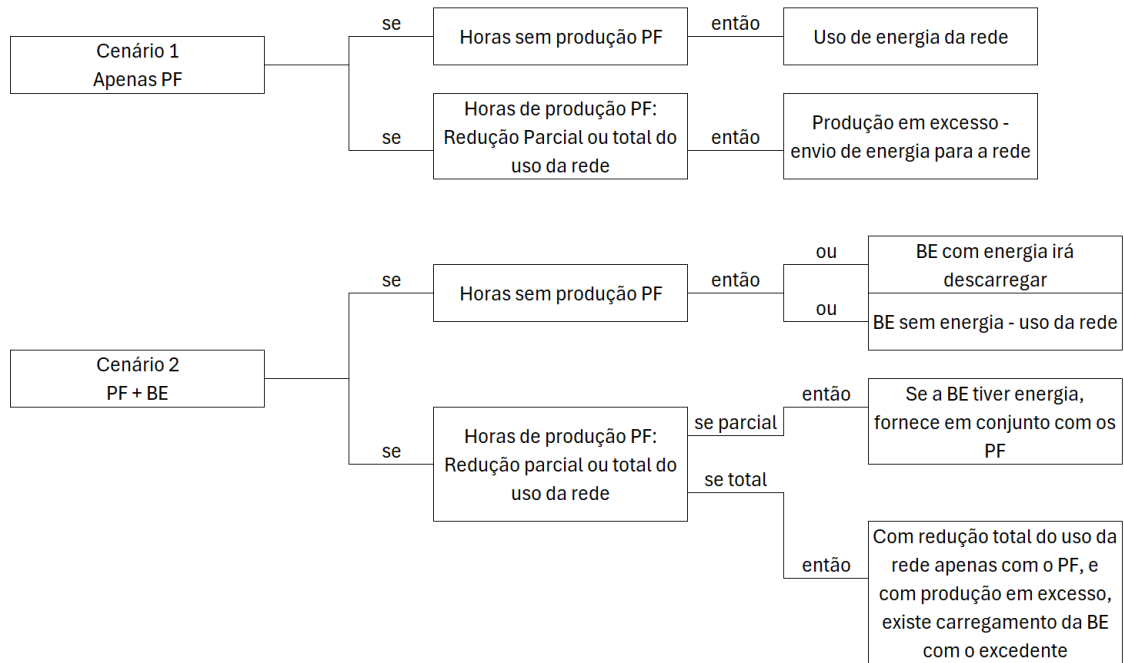


Figura 3.6 - Diagrama das diferentes finalidades que os cenários podem alcançar (Cenário 1 – Apenas PF; Cenário 2 – BE + PF)

Começando pelo cenário 1 (Apenas PF), este é o caso onde o único ativo considerado é o sistema dos painéis fotovoltaicos. Quando o sistema produz energia renovável, essa energia será usada para alcançar as necessidades da habitação durante essas horas de produção, enquanto a energia produzida não utilizada é perdida para a rede.

Durante os períodos onde não existe produção de energia pelo sistema de painéis fotovoltaicos, as necessidades da habitação são atingidas por energia proveniente da rede de distribuição.

O cenário 2 (PF+BE) diz respeito à conjugação do sistema de painéis fotovoltaicos com uma bateria estacionária. A implementação da BE permite que, aquando da produção em excesso de energia renovável, a mesma possa carregar e impedir que, parcialmente ou totalmente, essa energia seja perdida para a rede.

Uma segunda vantagem, incide no facto da BE carregada com a energia dos painéis, poder fornecer energia à habitação em períodos onde já não existe produção de energia pelos painéis fotovoltaicos.

O cenário 3 (PF+VE), conjuga o sistema de painéis fotovoltaicos com o VE. Para esta situação, o VE não consegue carregar com o excesso produzido pelos painéis durante os dias da semana, pois o veículo não está presente na habitação quando existe produção pelos painéis fotovoltaicos, no entanto durante o fim-de-semana, havendo excesso de produção, o VE nesta situação irá carregar. Para o carregamento do VE sem ser a partir dos painéis fotovoltaicos, é possível a partir da rede na habitação e fora da mesma.

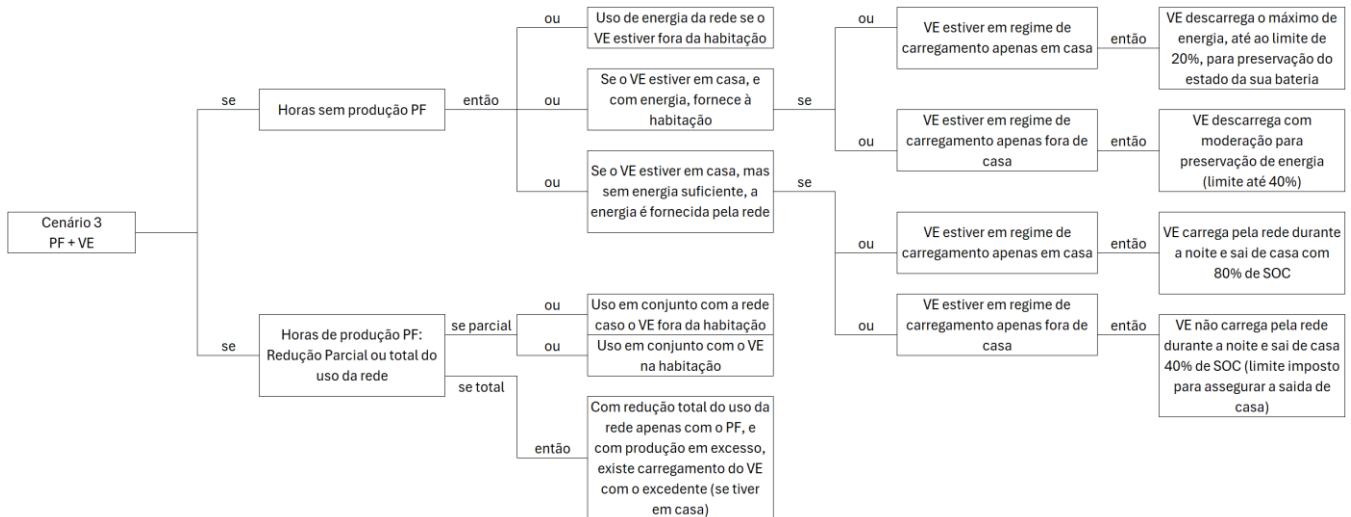


Figura 3.7 - Diagrama das diferentes finalidades que o cenário pode alcançar (Cenário 3 – PF+VE)

O cenário 4 (Apenas VE), o único ativo implementado é o veículo elétrico. A sua cedência de energia será apenas durante os períodos em que está presente na habitação, e o carregamento, a partir da rede de energia da casa ou fora da habitação.

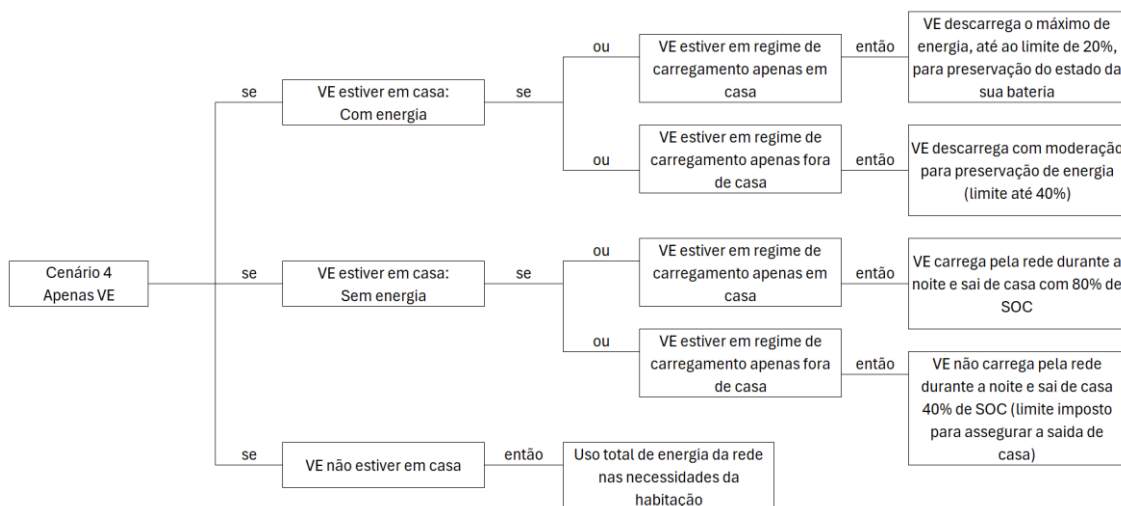


Figura 3.8 - Diagrama das diferentes finalidades que o cenário pode alcançar (Cenário 4 – Apenas VE)



$$\begin{aligned}
& \text{Se: } \text{Necess. Energ} > P_{\max} \text{VE} \\
& \text{Então: } \text{Potência}_{\text{Descarr}} \text{BE} = \text{Necess. Energ} - P_{\max} \text{VE}
\end{aligned} \tag{3.30}$$

No algoritmo da gestão energética entre o VE e a BE, com o descarregamento da BE à potência máxima de 1 kW, as premissas deste cálculo passam por garantir que este valor é usado quando a diferença entre as necessidades energéticas e a potência dos painéis seja superior ou igual à potência máxima da BE, quando o VE não está na habitação. Estando o VE presente na habitação, e se a diferença entre as necessidades energéticas, a potência dos PF e a potência do VE for superior ou igual à potência máxima da BE, a mesma irá descarregar a 1 kW. A equação 3.31 indica o método de determinação.

$$\begin{aligned}
& \text{Potência}_{\text{Descarr}} \text{BE} = P_{\max} \text{BE} \\
& (\text{VE fora}) \text{ Se: } \text{Necess. Energ} - \text{Potência}_{\text{PF}} \geq P_{\max} \text{BE} \\
& (\text{VE casa}) \text{ Se: } \text{Necess. Energ} - \text{Potência}_{\text{PF}} - P_{\max} \text{VE} \geq P_{\max} \text{BE}
\end{aligned} \tag{3.31}$$

No caso do descarregamento com uma potência inferior à máxima estabelecida para a bateria estacionária, se a diferença entre as necessidades energéticas e a potência dos painéis for inferior à potência máxima da BE, a potência que a BE usará será a diferença exata entre as necessidades e os painéis, estando o VE fora da habitação. Com o veículo presente na habitação, se a diferença entre as necessidades, os painéis e a potência do VE for superior a zero, a BE irá usar o valor exato da diferença descrita, tal como indica a equação 3.32.

Assim, estas premissas garantem que se consiga preservar a energia da BE, de forma que a mesma poupe energia para descarregar quando existe maior necessidade, podendo de igual forma dar apoio ao descarregamento do VE.

$$\begin{aligned}
& \text{Para: } \text{Potência}_{\text{Descarr}} \text{BE} < P_{\max} \text{BE} \\
& (\text{VE fora}) \text{ Se: } \text{Necess. Energ} - \text{Potência}_{\text{PF}} < P_{\max} \text{BE} \\
& \text{Potência}_{\text{Descarr}} \text{BE} = \text{Necess. Energ} - \text{Potência}_{\text{PF}}
\end{aligned} \tag{3.32}$$

$$\begin{aligned}
& (\text{VE casa}) \text{ Se: } \text{Necess. Energ} - \text{Potência}_{\text{PF}} - P_{\max} \text{VE} > 0 \text{ kW} \\
& \text{Potência}_{\text{Descarr}} \text{BE} = \text{Necess. Energ} - \text{Potência}_{\text{PF}} - P_{\max} \text{VE}
\end{aligned}$$

Para a gestão energética do VE em si, o algoritmo define-se com a presença do VE na habitação, o descarregamento, o carregamento pelos painéis fotovoltaicos, o consumo

no trajeto casa-trabalho, o carregamento fora (caso seja considerado) e o carregamento pela rede.

Na perspectiva do algoritmo de gestão, estando o VE com regime de carregamento pela rede da casa ou fora da habitação, o VE irá descarregar com o máximo da sua potência se a diferença entre as necessidades da habitação e a potência dos painéis for superior a esse valor, e se o estado da bateria do VE da hora anterior for superior a 20%, tal como indicado na equação 3.33.

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{Potência}_{Descarr\ VE} = P_{max}VE \\
 & \mathbf{Se: } \mathit{Necess. Energ} - \mathit{Potência}_{PF} > P_{max}VE \\
 & \mathbf{E: } \% \mathit{SOC}_{VE} > 20\%
 \end{aligned} \tag{3.33}$$

Para uma potência de descarregamento inferior à máxima definida para o VE, como indica a equação 3.34, com o veículo em regime de carregamento fora da habitação, a diferença entre as necessidades energéticas, a potência dos painéis e a potência da BE irá definir a potência exata que o VE descarrega, desde que a capacidade de energia do VE esteja acima dos 40%. Estando o VE em regime de carregamento pela rede da casa, basta que a capacidade de energia do VE esteja acima dos 20%. Assim, consegue-se distinguir o valor que será considerado para o descarregamento do VE, e a diferença de descarregamento entre os regimes de carregamento fora da habitação e pela rede.

$$\mathbf{Para: } \mathit{Potência}_{Descarr\ VE} < P_{max}VE$$

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{(VE\ carreg.\ fora)\ Se: } \mathit{Necess. Energ} - \mathit{Potência}_{PF} - P_{max}BE < P_{max}VE \\
 & \mathbf{Potência}_{Descarr\ VE} = \mathit{Necess. Energ} - \mathit{Potência}_{PF} - P_{max}BE \\
 & \mathbf{E: } \% \mathit{SOC}_{VE} > 40\%
 \end{aligned} \tag{3.34}$$

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{(VE\ carreg.\ casa)\ Se: } \mathit{Necess. Energ} - \mathit{Potência}_{PF} - P_{max}VE < P_{max}VE \\
 & \mathbf{Potência}_{Descarr\ VE} = \mathit{Necess. Energ} - \mathit{Potência}_{PF} - P_{max}BE \\
 & \mathbf{E: } \% \mathit{SOC}_{VE} > 20\%
 \end{aligned}$$

Em relação ao algoritmo de gestão desenvolvido para o carregamento do VE pela produção em excesso dos PF, como menciona a equação 3.35, o mesmo ocorre com a potência máxima do VE, se o que for produzido pelos painéis, retirando as necessidades energéticas e o carregamento da BE, seja ainda suficiente para que o VE seja carregado à potência máxima. Ocorre com potência inferior à máxima do VE, se o que for produzido pelos painéis, retirando as necessidades energéticas e o carregamento da BE, for inferior a essa potência. Este carregamento ocorrerá apenas em períodos de maior

produção de energia dos painéis, e que coincidem com o VE estar presente na habitação, ou seja, apenas poderá ocorrer durante o fim de semana, ou algum dia da semana em que o VE esteja na habitação.

$$\text{Potência}_{Carr} VE = P_{max}VE$$

$$\text{Se: Potência}_{PF} - \text{Necess. Energ} - P_{carr}BE \geq P_{max}VE$$

(3.35)

$$\text{Potência}_{Carr} VE < P_{max}VE$$

$$\text{Se: Potência}_{PF} - \text{Necess. Energ} - P_{carr}BE < P_{max}VE$$

Para o algoritmo do carregamento do VE fora da habitação, criaram-se duas premissas:

- Considerando que a potência de carregamento é 3,7 kW, para que o carregamento seja efetuado a esta potência exata, sem que se exceda a capacidade máxima do VE, o valor do SOC na hora anterior, em kWh, terá de ser inferior ou igual ao valor máximo admissível (capacidade máxima do VE multiplicado por 80%), retirando 3,7 kW, de forma que nesta condição, o carregamento com a potência máxima seja possível;
- Para uma potência de carregamento inferior a 3,7 kW, o valor da capacidade do VE na hora anterior terá de ser superior ao valor máximo admissível menos os 3,7 kW, e o valor a ser considerado para carregamento será o resultado da subtração do valor máximo admissível com o valor de SOC do VE na hora anterior.

Para o algoritmo implementado na gestão do carregamento do VE pela rede (dentro da habitação), é importante frisar que o mesmo apenas é efetuado durante o período de menor custo de energia, ou seja, das 24 h às 06 h.

A potência de carregamento em casa considerada foi 2,2 kW, que é a potência mínima possível de carregamento usando uma tomada normal, tipo Schuko. No entanto, este valor poderá ser ajustado para os mesmos valores usados nos postos de carregamento domésticos, tal como referenciado no algoritmo referente ao carregamento fora da habitação, onde 3,7 kW e 7,4 kW são as potências representativas dos carregadores em monofásico, e de 11 kW e 22 kW representativas dos carregadores em trifásico. Para uma questão de simulação, o tempo de carregamento não interfere nos resultados de gestão energética, pois as potências de carregamento total estarão a rondar os mesmos valores, estando sempre garantido o carregamento total do VE até ao máximo admissível nesta simulação, durante o período para o efeito, e com qualquer valor de potência.

Na questão do cálculo de carregamento em casa, a filosofia é a mesma do carregamento fora, ou seja, para a potência de carregamento máxima, e para que não se exceda a capacidade máxima da bateria do VE, o valor de SOC na hora anterior, em kWh, terá de ser inferior ou igual ao valor máximo admissível (capacidade máxima do VE multiplicando por 80%), retirando o valor máximo de carregamento pela rede, em kW.

Para uma potência de carregamento inferior ao definido, o valor da capacidade do VE na hora anterior terá de ser superior ao valor máximo admissível menos o valor de carregamento. O valor a ser considerado para carregamento será o resultado da subtração do máximo admissível com o SOC do VE na hora anterior.

Com isto, dá-se por terminado a explicação dos diferentes algoritmos de cada elemento que integra a simulação, onde são identificados todos os casos de estudo, são explicados todos os passos na gestão de energia, premissas consideradas e obrigações de carregamento e descarregamento, cedência e compra de energia aplicados ao caso de estudo (PF+VE+BE), de forma que se aproxime o mais possível do que será um caso real. No apêndice 21 pode-se encontrar uma imagem representativa do aspecto visual da ferramenta computacional, com o seu menu de opções e cada coluna representativa do descarregamento, carregamento, produção e necessidades energéticas da habitação e de cada ativo.

Dando seguimento ao documento, o capítulo seguinte apresenta os resultados e análises dos vários cenários, passando pelos consumos, onde estão representadas as necessidades energéticas da habitação; a produção de energia pelos painéis fotovoltaicos; a consequência da gestão de energia de todos os ativos intervenientes. Os resultados são complementados com o subcapítulo da certificação energética, percorrendo as diferentes condições e resultados que se obteve ao longo do desenvolvimento do trabalho.



## **4 Resultados e Análise**

Neste capítulo apresentam-se os resultados, com a respetiva análise, das necessidades energéticas da habitação, da produção dos painéis fotovoltaicos, da gestão de energia do VE e da bateria estacionaria, terminando com a análise à certificação energética com as várias considerações tomadas e diferentes estratégias. Em cada subcapítulo estão também presentes a evolução dos resultados, com a indicação das várias iterações, mostrando o desenvolvimento deste estudo.

### **4.1 Necessidades Energéticas da Habitação**

Começando pela análise da Figura 4.1, concluiu-se que o mês com maior necessidade de aquecimento é o mês de janeiro, e com maior necessidade de arrefecimento, o mês de julho. Observa-se que os consumos de climatização na habitação são predominantemente de arrefecimento, muito devido à exposição solar e à envolvente envidraçada característica da moradia em estudo, sendo as potências de aquecimento numa grandeza mais reduzida.

Verifica-se ainda que nos meses de março e novembro, existe uma necessidade simultânea de arrefecimento como aquecimento, ainda que tenham consumos relativamente diminutos comparando-os com os restantes meses.

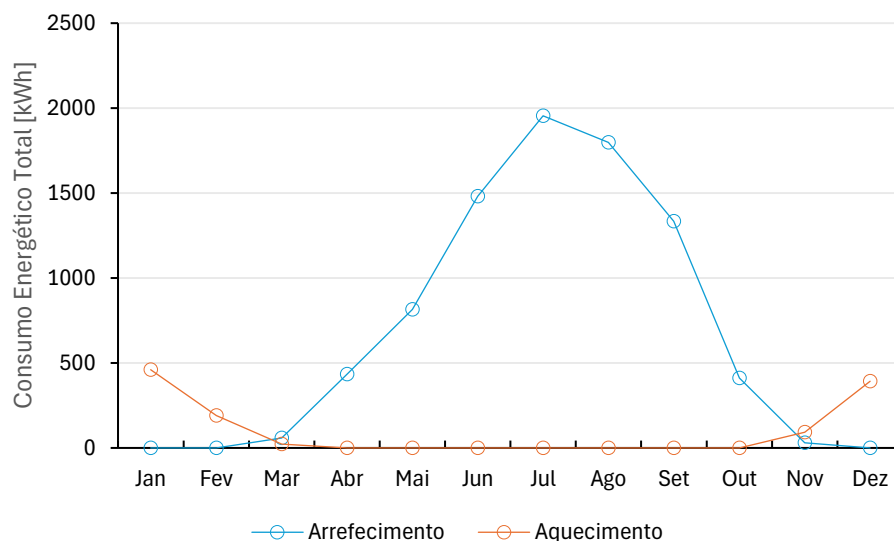


Figura 4.1 - Consumos energéticos de climatização (aquecimento e arrefecimento) para cada mês

Os consumos apresentados na Figura 4.1, comparando-os com os valores obtidos em [48], estes apresentam parencças numéricas, havendo diferenças entre os 50–100 kWh. A semelhança dos resultados também é notada na existência de consumos de aquecimento e arrefecimento nos meses de março e novembro, com o pico de consumo a ocorrer no mês de julho, existindo coincidência dos meses apenas com necessidades de arrefecimento e apenas de aquecimento, respetivamente.

Da Figura 4.1 retira-se informação importante relativa aos meses a abordar na simulação, que serão os meses de maior consumo de arrefecimento e aquecimento, os meses de julho e janeiro, respetivamente.

Seguindo com os resultados do software HAP, na Figura 4.2 e Figura 4.3, apresentam-se os valores de consumos diários dos meses de janeiro e julho, conseguindo assim verificar as semanas de maiores consumos, que posteriormente foram isoladas nos resultados do HAP e extraídos os consumos horários. Das duas figuras, Figura 4.2 e Figura 4.3, assumiu-se assim que a semana com maior consumo no mês de julho é do dia 24 a 30 de julho, e a semana com maior consumo no mês de janeiro é de 2 a 8 de janeiro.

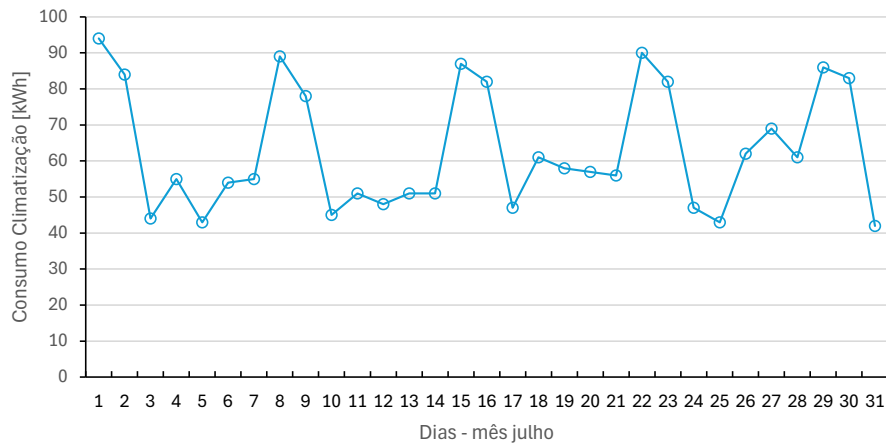


Figura 4.2 - Gráfico de consumo diário de climatização durante o mês de julho

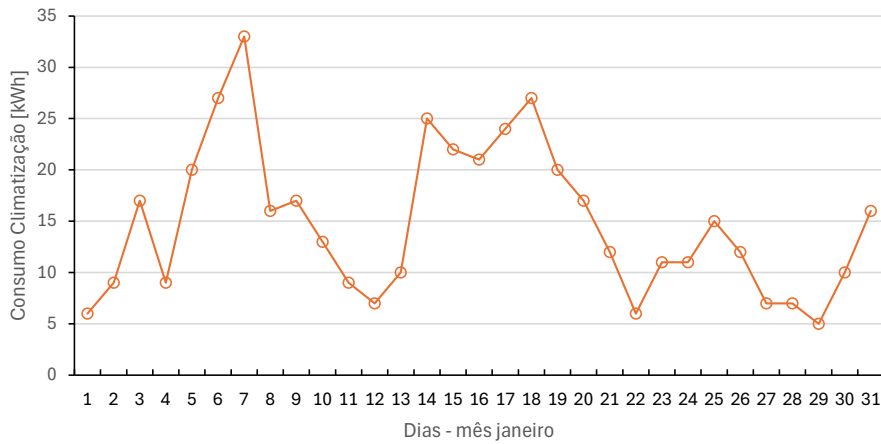


Figura 4.3 - Gráfico de consumo diário de climatização durante o mês de janeiro

A partir destas semanas de maior consumo dos dois meses, transpôs-se do HAP para a Figura 4.4 e Figura 4.5, os consumos totais (climatização, iluminação e equipamentos) hora a hora de cada dia da semana mais exigente do mês de julho e janeiro, respetivamente.

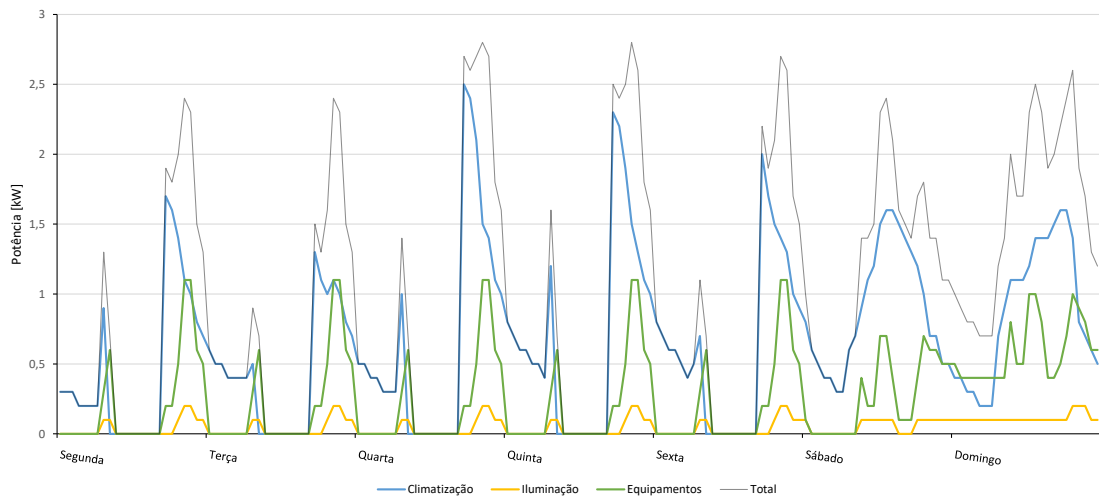


Figura 4.4 - Consumo energético durante o mês de julho

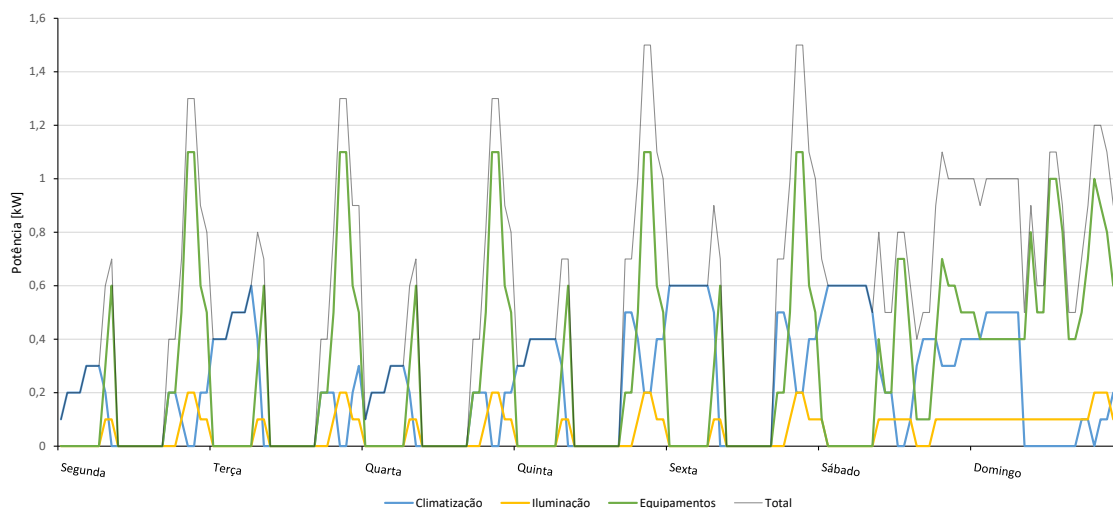


Figura 4.5 - Consumo energético durante o mês de janeiro

Do que diz respeito ao consumo de iluminação e de equipamentos, estes não diferem de mês para mês, e os consumos de ambos não são significativos, sendo a ordem de grandeza para o consumo de iluminação na ordem das dezenas e o consumo elétrico dos equipamentos na ordem das centenas.

As necessidades de AVAC tiveram em conta os equipamentos da habitação que estão em funcionamento ininterruptamente, e com potência suficiente para haver influência no consumo de climatização, tal como o frigorífico, onde foi considerado um consumo em standby de 100 Wh. Desprezaram-se outros equipamentos que, mesmo em funcionamento ininterrupto, têm potências de standby insignificantes e que não teriam qualquer impacto no resultado, tais como televisores, carregadores, computadores, entre outros.

Desta forma, definiu-se que os dados de cada semana do mês de julho e janeiro correspondem à semana mais exigente de cada respetivo mês, pois usando os valores de resultados diários que correspondem à semana de maior consumo, permite analisar condições mais críticas na evolução do carregamento e descarregamento das duas baterias consideradas na simulação (VE e BE).

Assim, após os resultados das necessidades energéticas da habitação, segue-se a análise aos resultados da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos.

## 4.2 Painéis Fotovoltaicos

A produção de energia em kWh, gerada pelos painéis fotovoltaicos, está representada no Quadro 4.1, o valor total produzido nos meses de janeiro e julho, estando representados no Anexo 1 e 2 os valores detalhados. Nestes resultados, foram considerados 6 painéis fotovoltaicos.

Quadro 4.1 - Potência produzida diariamente, nos meses de janeiro e julho

	Janeiro	Julho
Produção Diária (kWh)	5,65	11

Verifica-se que se consegue produzir diariamente, em janeiro, aproximadamente 6 kWh e em julho, 11 kWh diariamente, o que corresponde a uma produção mensal de aproximadamente 175 kWh e 328 kWh, respetivamente.

É de mencionar que esta produção energética está limitada no período entre as 07h00-18h00 no mês de julho, e em janeiro a produção começa uma hora mais tarde e termina uma hora mais cedo relativamente a julho.

Os resultados relevantes à análise energética do VE estão no capítulo seguinte.

### 4.3 Veículo Elétrico

Passando aos resultados que dizem respeito à análise do VE, ao ser considerado, este irá apenas descarregar quando efetivamente entra como carga na habitação, a partir das 19h00, fornecendo energia até as 23h00, sendo este o período de maior necessidade de potência e período de hora ponta/cheia.

Foi tido em consideração que o VE pudesse carregar pela rede, de forma a garantir que o mesmo saia de casa com percentagem suficiente para ter uma viagem diária urbana casa-trabalho dentro dos 50 km (não havendo necessidade de carregamento fora de casa, pois encareceria bastante). Com a introdução desta funcionalidade, o VE consegue assim fornecer mais energia à habitação e economizar, pois nesse período não estaria a ser usada energia da rede onde a mesma é mais cara (19h00-23h00) e o carregamento do veículo, sendo efetuado num período de vazio (0h00-7h00), faz com que em teoria esteja a usar-se energia durante o horário de cheia ao preço do período em vazio. Na Figura 4.6 está representada a evolução do *state of charge* (SOC), ou seja, da percentagem da bateria do veículo ao longo de uma semana para os meses de janeiro e julho, considerando todas as opções de simulação consideradas, ou seja, o auxílio da instalação de PF e a bateria estacionária.

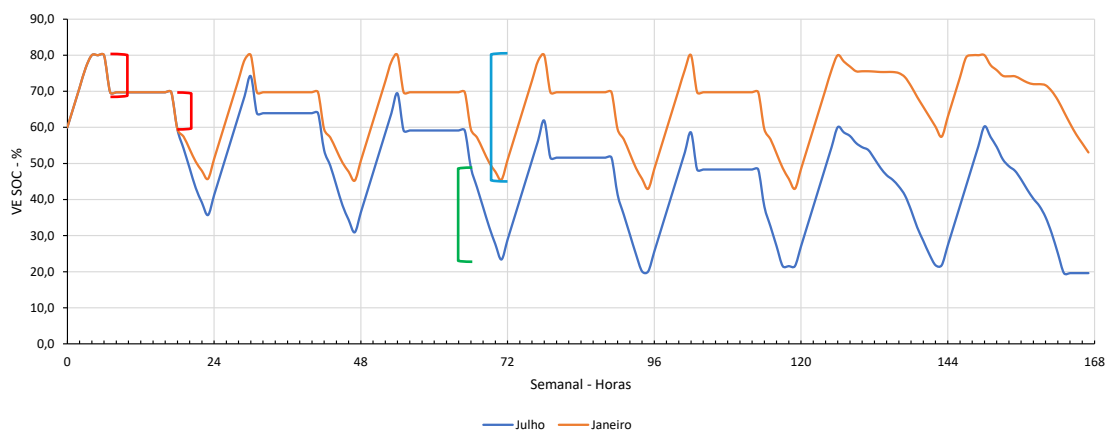


Figura 4.6 - Evolução do SOC do VE com carregamento em casa durante uma semana do mês de janeiro e julho (VE+PF+BE)

Da Figura 4.6, verificam-se 3 períodos distintos que exemplificam diferentes períodos do descarregamento e carregamento do VE, sendo que estes períodos identificados ocorrem de igual forma nos dois meses.

Os dois períodos a vermelho, identificam-se como o descarregamento do veículo do trajeto trabalho-casa e a verde, é o período de fornecimento de energia à habitação, conseguindo verificar-se a distinção entre o descarregamento do trajeto até casa, e o período em que passa a descarregar para a habitação, pois o declive de descarregamento para as necessidades é inferior.

A azul está representada o único período de carregamento, sendo esse efetuado, como explicado anteriormente, pela rede de distribuição de energia, e durante o período em vazio. O veículo sai de casa com potência suficiente para o seu trajeto, mas para haver uma garantia que saia sempre de casa com 80%, basta aumentar esta potência de carregamento na simulação.

Comparando a evolução do SOC nos dois meses, assinala-se que durante a semana de janeiro, o VE inicia sempre o dia com 80% de SOC e nunca termina o dia abaixo dos 40%, mostrando sempre consistência nos parâmetros de carregamento e descarregamento, enquanto em julho, o VE tem uma tendência de percentagem de SOC descendente ao longo da semana, começando e terminando os dias sempre com menos SOC que o dia anterior, durante os dias úteis.

No que diz respeito aos períodos a vermelho, azul e verde descritos anteriormente, verificando-se que no período a verde no mês de janeiro, ou seja, o fornecimento de energia do VE à habitação entre as 19h00 e as 23h00, apresenta-se como um intervalo mais curto comparado com julho, e com um menor declive, indicando que a exigência de descarregamento é inferior no mês de janeiro, o que permite ao VE guardar mais energia.

Durante o fim de semana a evolução da capacidade da bateria do VE difere bastante de julho para janeiro, em que o VE consegue armazenar mais energia, terminando o fim de semana, em janeiro, com 50% de SOC, significando que termina praticamente com mais 30% de SOC do que em julho. Isto é justificado pelo facto de as necessidades energéticas da habitação serem menores no mês de janeiro, e haver uma maior disponibilidade de energia por parte da BE, como se irá verificar no subcapítulo seguinte.

Adicionalmente, introduziu-se a opção de carregamento fora da habitação. Este carregamento em comparação com o carregamento em casa, apresenta vantagens e desvantagens. Este pode ser considerado como um carregamento renovável, pois não sabendo a origem da energia deste carregamento, pode-se considerar o exemplo do carregamento ser efetuado na empresa e a energia ser proveniente na totalidade ou em parte de PF. No que concerne ao custo do carregamento, apesar deste carregamento ser durante o período a cheio, pode-se considerar um caso onde o preço pode ser mais barato ou gratuito, considerando o tipo de contrato de carregamento que haja com a empresa.

A desvantagem que apresenta é o VE por vezes não conseguir alcançar na totalidade as necessidades da habitação, pois neste caso o carregamento é exclusivamente fora da habitação, o que implica que no período que pode descarregar para a casa, terá de se ter em conta o descarregamento em demasia, de forma a garantir que o veículo tenha energia suficiente para fazer o seu trajeto normal. Na Figura 4.7 está representada a evolução da percentagem de SOC do VE ao longo de uma semana durante os meses de janeiro e julho, com o VE a carregar exclusivamente fora da habitação, igualmente com as opções complementares da instalação dos PF e a bateria estacionária.

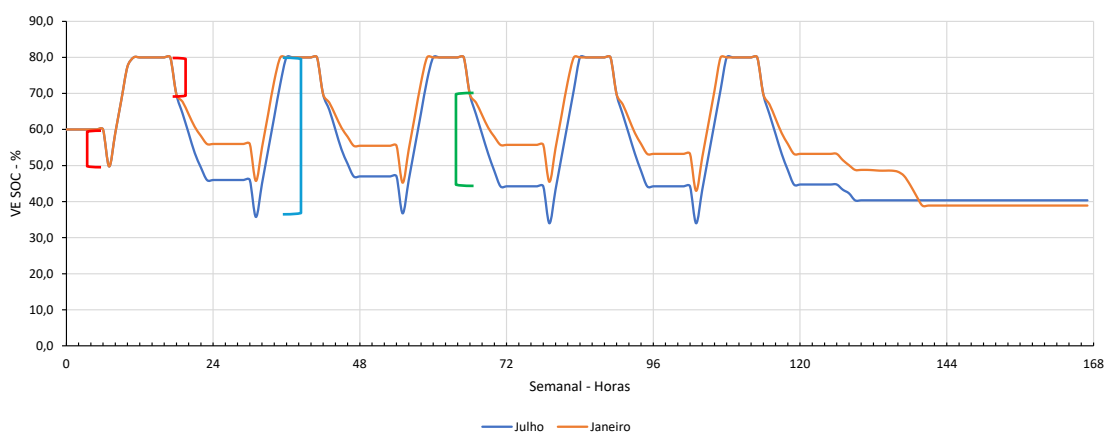


Figura 4.7 - Evolução do SOC do VE com carregamento fora de casa durante uma semana do mês de janeiro e julho (VE+PF+BE)

Com a mesma analogia da Figura 4.7, identificam-se novamente a vermelho os dois períodos de descarregamento provenientes do consumo para deslocação da habitação para o local de trabalho e o seu regresso, a azul identifica o carregamento fora da habitação, em que este atinge o limite imposto de 80% algumas horas antes do regresso

a casa, e a verde corresponde o período de descarregamento do VE para as necessidades da habitação.

Para este último período, consegue-se identificar o limite imposto de descarregamento, garantindo que o veículo saia de casa com pelo menos 40%. Ao fim de semana, que ocorre a partir da hora número 120, o VE descarrega até ao seu limite e permanece na mesma percentagem de SOC, pois além do veículo não carregar pela rede (na habitação), não consegue carregar pelos painéis fotovoltaicos, porque a produção dos mesmos (para o número considerado de 6 painéis), não é suficiente para haver energia produzida em excesso.

Comparando novamente os dois meses, assinala-se que em janeiro existe o mesmo padrão de carregamento e descarregamento durante os dias úteis comparando com julho, apesar de que no mês de janeiro o VE consegue terminar todos os dias semanais sempre com um SOC acima dos 50%.

A diferença encontra-se novamente durante o fim-de-semana, onde em janeiro o VE durante o dia de sábado consegue fornecer maior quantidade de energia, e num período um pouco mais alargado do que no mês de julho, onde atinge o limite imposto de descarregamento dos 40% de SOC mais cedo do que em janeiro.

Passando para a análise de consumos e usos percentuais de energia do caso (VE+PF+BE), com as duas variantes (carregamento na habitação e fora), o Quadro 4.2 apresenta uma adaptação dos valores apresentados na tabela do apêndice 3, identificando neste caso a utilização de energia da rede, fornecida pelo VE e o carregamento do mesmo, de forma a se fazer a análise apenas da influência do VE.

Quadro 4.2 - Utilização de energia (VE+PF+BE): Energia fornecida pela Rede, Energia fornecida pelo VE, Energia utilizada no carregamento do VE casa e fora - Mês Julho

VE+PF+ BE		Rede		VE		Carreg.	
		Carreg. Casa	178,69 kWh	24,53%	276,22 kWh	37,92%	VE - Rede
	Carreg. Fora	251,79 kWh	34,57%	203,03 kWh	27,87%	Carreg. VE - Fora	359,45 kWh

Do Quadro 4.2 verifica-se, para o mês de julho, que o VE tem um uso de aproximadamente 38% do total de energia usada na habitação, quando o carregamento é pela rede, sendo o valor em kWh usado no carregamento 426 kWh.

Para a variante de carregamento fora da habitação, a energia fornecida pelo VE reduz aproximadamente 10% em comparação com a variante de carregamento em casa, e o carregamento fora também reduz. Este aumento de uso da rede, e consequente redução do uso do VE deve-se à influência da premissa imposta no descarregamento

da bateria do veículo ser permitido até aos 40% de capacidade, quando efetua o carregamento fora da habitação.

Descartando para já as percentagens do uso do PF e da BE, que serão analisados no subcapítulo seguinte, o uso da rede é o mais baixo de todos os casos em simulação, sendo apenas 24,5% e 34,5%, para um carregamento pela rede da habitação e fora, respetivamente. Um último parâmetro que é descartado no Quadro 4.2 é o uso dos painéis fotovoltaicos para carregamento do VE, pelo facto de não haver produção suficiente para que seja possível satisfazer as necessidades da habitação e carregar o VE ao mesmo tempo.

Tendo em conta este fornecimento de energia permitido pela bateria do VE, quantificou-se se 1 mês seria um período suficiente para ter em conta a flutuação dos consumos da habitação e do veículo, e assim verificar a evolução de convergência da bateria. Sem considerar os PF e a BE, considerando apenas o VE a descarregar, efetuaram-se duas simulações com o VE a começar a semana com 80% e 30%, em que a duração da simulação perfaz a duração de um mês.

Observando a Figura 4.8, onde o VE inicia com 80% de capacidade, a convergência ocorre logo na quinta-feira da primeira semana, mantendo-se estável próximos dos 25% - 30% de capacidade. Começando a simulação com 30% de capacidade, este converge praticamente desde o primeiro dia, pois o valor inicial encontra-se na mesma gama e mesmo padrão de valores da linha de convergência.

Conclui-se que o valor inicial usado para início de simulação não tem praticamente nenhuma influência no que diz respeito à evolução da convergência do SOC do VE, pois a mesma atinge muito rapidamente a gama de valores da linha de convergência mesmo com um valor inicial de SOC elevado, e a evolução dos mesmos aparenta ser, em inúmeros dias do mês, o mesmo valor de SOC.

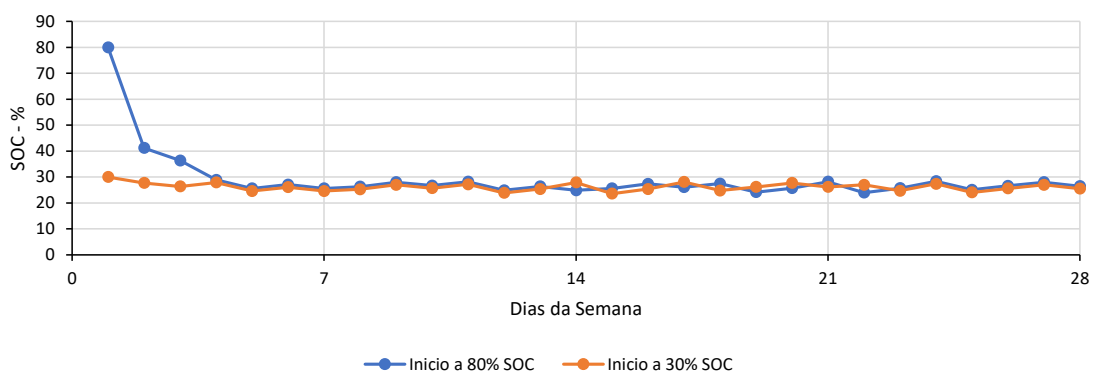


Figura 4.8 - Simulação de convergência de energia da bateria do VE - Início 80% e 60% SOC Fazendo agora um comparativo entre as simulações para o mês de julho e para o mês de janeiro, em relação aos consumos e usos percentuais, assinala-se apenas pequenas

diferenças (na ordem dos 5% a 10%), devido ao facto de os valores de consumos reduzirem de julho para janeiro.

De um modo geral, devido também no mês de janeiro a produção de energia pelos painéis fotovoltaicos ser menor comparativamente com julho, faz com que haja não só maior perda para a rede em julho, por causa da produção em excesso (que não acontece em janeiro), mas também uma redução do uso percentual dos painéis.

Contrariamente com o VE, este terá maior uso no mês de janeiro, pois as potências envolvidas durante esse mês são mais reduzidas comparadas ao mês de julho, o veículo terá maior disponibilidade de energia, e a potência máxima de descarregamento não necessitar de ser a máxima, ao contrário do que é exigido no mês de julho.

Por fim, poderão ser encontrados nos apêndices 3 a 16 os valores para as simulações dos restantes casos, com as duas variantes de carregamentos dentro e fora da habitação.

#### 4.4 Bateria estacionária

A primeira regra efetuada foi definir que a BE deixaria de ter prioridade sobre o VE quando este pode fornecer o seu máximo de potência à habitação, ou seja, o VE fornecer um máximo de 2,2 kW e, caso seja necessário um incremento de energia face à necessidade da casa, a BE adicionaria o remanescente.

A segunda regra foi a BE passar também a fornecer energia durante a noite, pois consegue poupar a sua energia devido à primeira condição, reutilizando-a a partir das 00h00, até descarregar por completo.

Na Figura 4.9 está representada a evolução da percentagem da bateria estacionaria ao longo de uma semana, no mês de julho. No gráfico a azul estão consideradas todas as opções de simulação (VE+PF+BE), no gráfico a laranja estão consideradas as opções (PF+BE).

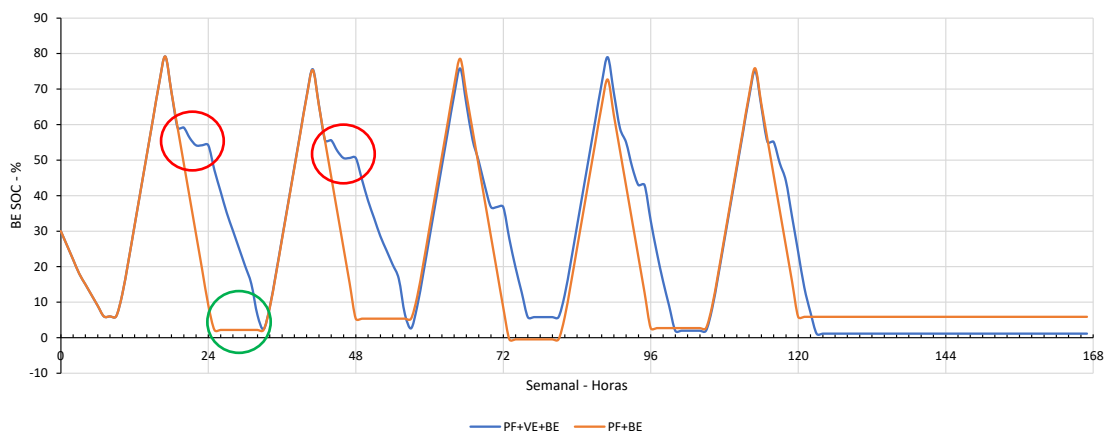


Figura 4.9 - Evolução do SOC da bateria estacionária para os casos VE+PF+BE e PF+BE –  
Mês de julho

As principais diferenças entre os dois gráficos da Figura 4.9 são o facto de, com todas as opções ligadas (VE+PF+BE), a BE tem a possibilidade de armazenar energia durante períodos onde o VE estaria a fornecer energia, conseguindo-se verificar isso nos períodos indicados com contorno circular a vermelho.

Estes “pequenos desníveis” indicam os períodos onde a BE deixou de momentaneamente de fornecer energia, pois o VE a partir das 19h00 fornece energia numa maior potência. Durante esse mesmo período (19h00-23h00), a BE pode descarregar, mas sempre com menor declive, pois serve apenas de auxílio ao VE. Após esse período, segue o período noturno, onde a BE irá descarregar com a potência máxima.

Esta poupança de energia faz com que a BE consiga ter energia suficiente para fornecer à habitação durante a noite, algo que não é possível no caso (PF+BE), pois tal como assinalado no contorno a verde, a BE chega à capacidade mínima exatamente à meia-noite de cada dia. De notar que a bateria estacionária, em ambos os casos, inicia o fim-de-semana sem qualquer energia acumulada, devido ao baixo número de painéis, e pela maior necessidade energética, não existe geração de energia em excesso.

Fazendo o mesmo comparativo da evolução do SOC da bateria estacionária, na Figura 4.10 estão representados os casos (PF+VE+BE) e (PF+BE), desta vez para o mês de janeiro.

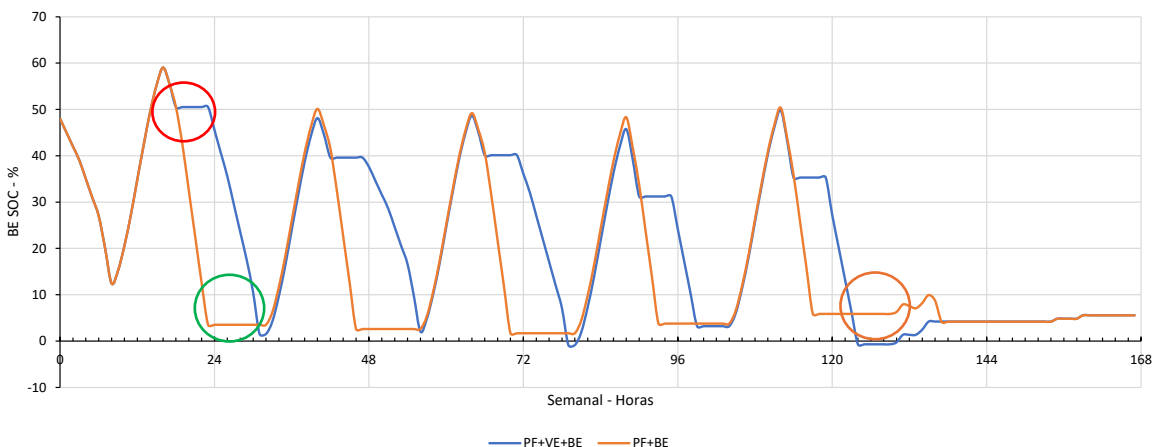


Figura 4.10 - Evolução do SOC da bateria estacionária para os casos VE+PF+BE e PF+BE –  
Mês de janeiro

Começando pela comparação entre a Figura 4.9 e Figura 4.10, para o caso (VE+PF+BE), em ambos a BE consegue fornecer energia durante as mesmas horas durante a noite. No entanto durante o mês de janeiro, a BE tem maior uso, pois tem maior disponibilidade de energia devido à reduzida necessidade energética do mês de janeiro.

Uma outra diferença é a representada com o contorno a vermelho, contrariamente ao mês de julho, durante o mês de janeiro a BE não necessita de fornecer energia, pois durante esse período o VE consegue por si só satisfazer as necessidades da habitação.

Comparando a Figura 4.9 e Figura 4.10, tira-se a conclusão de que a BE, apenas com o sistema de PF, não consegue armazenar energia suficiente para fornecer à habitação durante o período noturno, verificando-se ainda que no mês de janeiro inclusive, a BE chega ao seu limite ainda antes da 00h00 (contorno a verde na Figura 4.10).

Um aspeto que é diferente entre ambos, e que acontece no mês de janeiro é o carregamento da BE pela produção em excesso dos PF, algo que é impossível acontecer no mês de julho (contorno a laranja na Figura 4.10).

Analisando de igual forma os consumos e percentagens de uso das diferentes opções, o Quadro 4.3 adaptado dos valores apresentados nos apêndices 3 e 5, concentra para os casos VE+PF+BE e VE+PF, a energia fornecida pelos PF, o fornecimento de energia da BE, a perda para a rede de energia produzida em excesso, e a energia fornecida pelos PF para carregamento da BE e/ou do VE.

Quadro 4.3 - Utilização de energia (VE+PF+BE) (VE+PF): Energia fornecida pelo PF, pela BE, Energia produzida pelos PF perdida para a rede, Energia produzida pelos PF para carregamento da BE e VE - Mês Julho

	PF	BE	Produção PF	Perda para a Rede	Carr. BE pelos PF	Carr. VE pelos PF
<b>VE+PF+BE</b>	124,62 kWh	148,96 kWh	296,55 kWh	25,58 kWh	146,35 kWh	0
	17,11%	20,45%		8,63%	49,35%	0
<b>VE+PF</b>	124,62 kWh	0	296,55 kWh	171,93 kWh	0	0
	17,11 %	0		57,98 %	0	0

Com estes valores, verifica-se que retirar a bateria estacionária, implicará um aumento de 20,45% de uso da rede. Assinala-se ainda que, ao remover a BE, implica que haja um aumento em aproximadamente 50% de energia dos PF perdida para a rede, sendo esta a percentagem associada ao que é usado para carregar a BE.

Em relação à produção de energia dos PF, verifica-se que se perde para a rede apenas 8,63% do total produzido, pois em praticamente metade do produzido (49,35%) é usada para carregar a BE. De assinalar que toda a energia usada para carregar a BE proveniente dos PF, corresponde ao total usado pela BE nas necessidades da habitação, concluindo-se que toda a energia fornecida pela BE é 100% renovável (Nota: assinala-se a diferença de 148,87 kWh e 146,35 kWh porque a BE nunca inicia a simulação com 0% de energia).

Terminando com a comparação dos valores obtidos para o mês de janeiro com o mês de julho, no Quadro 4.4 estão representados os valores referentes à energia fornecida pelos PF, ao fornecimento de energia da BE, à perda para a rede de energia produzida em excesso, e a energia fornecida pelos PF para carregamento da BE e/ou do VE, associados aos casos VE+PF+BE e VE+PF, para o mês de janeiro.

Quadro 4.4 - Utilização de energia (VE+PF+BE) (VE+PF): Energia fornecida pelo PF, pela BE, Energia produzida pelos PF perdida para a rede, Energia produzida pelos PF para carregamento da BE e VE - Mês Janeiro

	PF	BE	Produção PF	Perda para a Rede	Carr. BE pelos PF	Carr. VE pelos PF
<b>VE+PF+BE</b>	62,53 kWh	100,04 kWh	158,27 kWh	0 kWh	95,74 kWh	0
	14,45 %	23,11 %		0	60,49 %	0
<b>VE+PF</b>	62,53 kWh	0	158,27 kWh	93,23 kWh	0	2,51 kWh
	14,45 %	0		58,90 %	0	1,59 %

A partir do Quadro 4.4 conclui-se o mesmo com a análise do VE na gestão de energia, que é, pelo facto de haver menor produção de energia pelos PF no mês de janeiro, a BE irá carregar menos. Mas pelo facto de no mês de janeiro, as necessidades energéticas não serem tão exigentes como no mês de julho, haverá maior disponibilidade de energia por parte da BE, o que leva a que a mesma consiga armazenar mais energia, perdendo-se menos energia renovável produzida em excesso para rede, e consiga disponibilizar essa mesma energia durante mais horas sem atingir o seu limite de capacidade.

Um ponto interessante que difere de julho para janeiro, é que para o caso PF+VE, onde se retira a BE, o VE consegue carregar pelo excesso produzido pelos painéis. Mesmo sendo uma ínfima percentagem (1,59% do produzido pelos painéis), é algo que não se verifica no mês de julho, e é um resultado que pode influenciar no cálculo da certificação energética, e que se irá verificar no capítulo 4.5.

Com isto, a análise de gestão de energia termina com a conclusão que o VE, considerando as limitações de simulação impostas, ao carregar fora da habitação, irá disponibilizar energia durante menos horas, o que resulta num aumento de uso de energia pela rede, comparativamente com o seu carregamento ser pela rede da habitação.

Da interação com a habitação e com as restantes parcelas, retém-se que o peso do VE na gestão de energia é algo significativo, e a contribuição da BE sobressai-se ainda mais, pois este é o elo de ligação com a produção de energia dos PF, e permite aumentar a produtividade dos mesmos, carregando durante o período do dia onde existe produção em excesso, e usando a mesma energia noutros intervalos de tempo com maior necessidade.

Assinalar que todos os valores de consumos e percentagens de uso de cada caso de estudo, estão apresentados nos apêndices 3 a 16.

Assim, com esta análise finalizada, segue-se a análise da certificação energética da habitação.

## 4.5 Certificação Energética

Passando agora ao subcapítulo referente aos resultados da certificação energética, seguem-se os valores associados às equações enumeradas no capítulo 3.2.1, estando representados no Quadro 4.5. Todos os passos usados na determinação de cada um dos elementos apresentados podem ser consultados nos apêndices 17, 18 e 19.

Quadro 4.5 - Valores referentes aos passos intermédios para obtenção da certificação energética

$N_t$	<b>4,49 kWh/(m<sup>2</sup>.mês)</b>
$N_v$	11,891 kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$N_i$	59,76 kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$\eta_{v_{ref}}$	0,7827
$\Delta\theta$	3,3
$Q_{tr}$	11 828,53 kWh
$H_{tr}$	460,18 W/°C
$H_{enu}$	31,78 W/°C
$H_{ecs}$	77,0514
$Q_{ve}$	2377,805 kWh
$H_{ve}$	92,5072 W/°C
$Q_{gu}$	3509,241 kWh
$Q_g$	5848,736 kWh
$Q_{int}$	2732,256 kWh
$Q_{sol}$	3116,48 kWh

Para a obtenção do  $R_{nt}$  (o valor numérico da classificação energética), divide-se o  $N_t$  pelo  $N_{tc}$ . Pelo facto de o  $N_{tc}$  ser um valor que varia dependendo do caso, de ter uma parcela renovável, e de se poder considerar como uma parcela totalmente ou parcialmente renovável, o seu valor irá ser refletido nas alterações das classificações energéticas para cada caso de estudo diferente.

Desta forma, partiu-se para a formalização dos gráficos com os indicadores SCE, e para os 6 casos de estudo diferenciados.

Em primeiro lugar, definiu-se que o output para a classificação deveria ser o valor do  $R_{nt}$  de cada caso, e não a letra da classificação energética, para permitir que se consiga aferir dentro dos diversos casos e diferentes considerações o intervalo da classificação.

Ou seja, em determinado caso identificar se a classe energética está mais perto de subir ou descer de classificação, e assim identificar se é, por exemplo uma classificação B- quase a transitar para a classificação B, ou se é uma classe B- perto de descer para a classe C.

Assim, a Figura 4.11 representa a classificação energética de cada caso, considerando na totalidade a energia fornecida pelo VE como renovável, e na Figura 4.12 a representação da classificação energética de cada caso de estudo, considerando apenas parte da energia fornecida pelo VE como renovável.

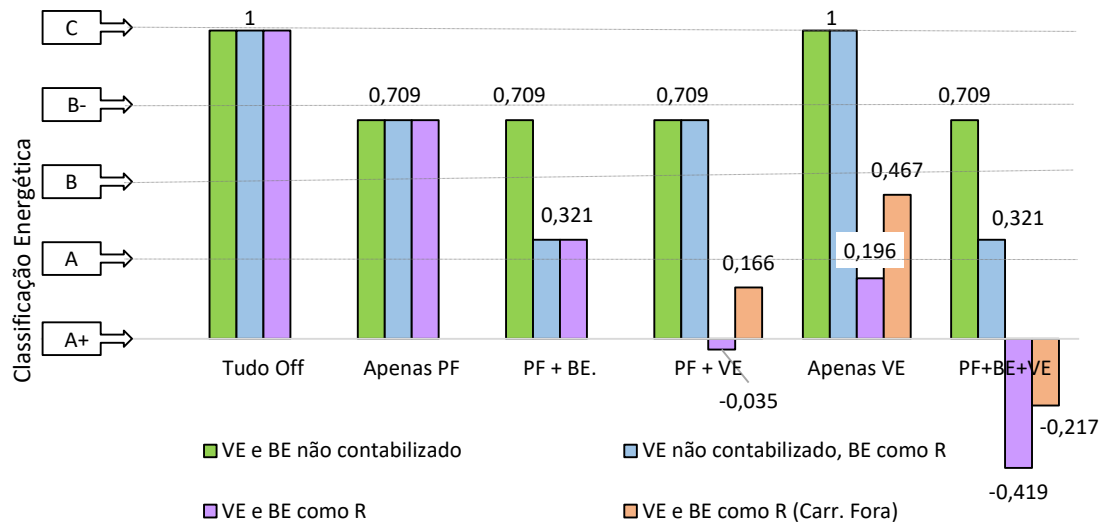


Figura 4.11 - Classificação Energética de cada caso de estudo, com VE a fornecer 100% energia renovável

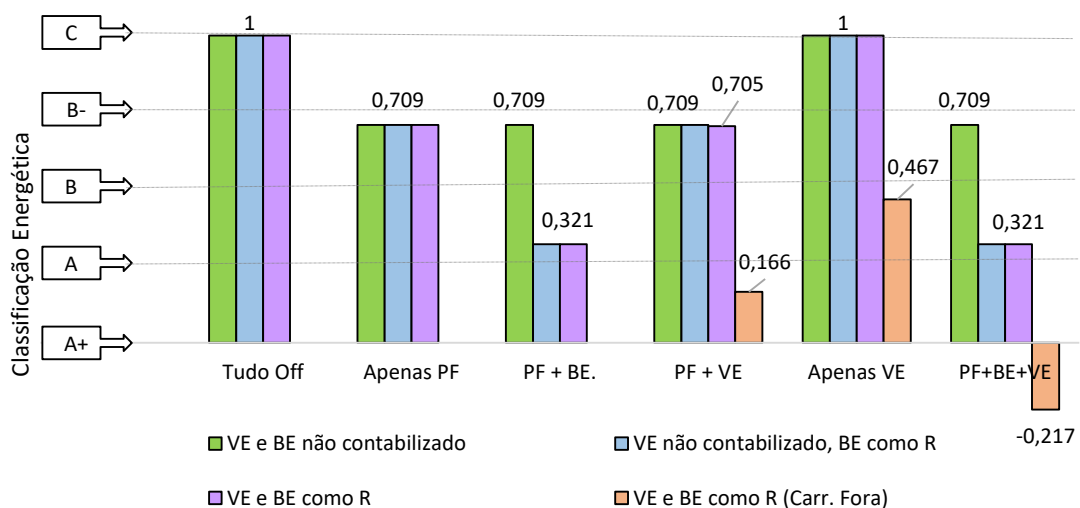


Figura 4.12 - Classificação energética de cada caso de estudo, com o VE a fornecer apenas uma parte de energia renovável

Começando pela explicação de cada barra, apresentada em cada caso diferente, a primeira é a não contabilização do VE e da BE para a classificação energética, a segunda é a BE ser contemplada na certificação energética e o VE não, a terceira o VE e a BE serem contemplados na certificação energética como renováveis (ou parte), e a

quarta coluna, que só é identificada quando o VE pertence ao caso de estudo, o VE e a BE são contemplados na certificação energética, tendo como influência o VE carregar fora da habitação.

Começando pelos casos onde o VE é excluído, que é o caso base (Tudo Off), o caso (Apenas PF) e o caso (PF+BE), a classificação original da habitação é B-, praticamente a descer para C. Apenas com a introdução dos painéis fotovoltaicos, a classe energética sobe para B, muito próximo de B-, e no caso PF+BE, onde a BE é contemplada no sistema de classificação, e com fornecimento 100% de energia renovável, a classe da habitação sobe substancialmente, atingindo a classe A quase a transitar para A+.

Regendo-se pela legislação, a classificação será igual tanto para o caso PF+BE como para o caso Apenas PF, no entanto estando provado que a BE apenas carrega pelo excesso de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos e que faz reduzir o consumo de energia a partir da rede de distribuição. Desta forma a própria BE pode no limite ser considerada como uma FER, ser contabilizada no cálculo da classificação energética como tal, e alterar drasticamente a classe da habitação.

Transitando para os casos em que o VE é considerado, PF+VE, Apenas VE e PF+VE+BE, e analisando primeiramente a Figura 4.11, quando o VE é contabilizado no cálculo da certificação energética, e toda a sua energia fornecida à habitação é considerada como origem renovável, a classe energética atinge valores extremamente positivos, chegando a atingir a classe energética nZEB (no caso PF+VE atinge A++, -  $R_{nt} = -0,035$ , no caso de apenas o VE atinge a classe A+ e no caso PF+VE+BE atinge um valor fora da escala,  $R_{nt} = -0,419$ , que corresponde a A++).

Ora, não sendo propriamente um cenário realista considerar-se que toda a energia que o VE fornece é renovável, pelo facto do VE carregar em grande parte pela rede da habitação, a classe energética também se torna um valor muito pouco realista. No entanto, quando o VE carrega exclusivamente fora da habitação, a classificação energética piora, pois o VE fornece menos energia à habitação como visto no capítulo anterior. Para este cenário, como pode haver a possibilidade de a energia do VE ser na totalidade 100% renovável com o carregamento fora da habitação, a classe energética para este cenário já se pode considerar mais realista e bastante positiva.

No caso PF+VE, com o VE a carregar fora da habitação, podendo hipoteticamente usufruir de um carregamento a partir de um sistema de painéis fotovoltaicos, a classificação passa de um B para A+ ( $R_{nt} = 0,166$ ).

No caso Apenas VE da Figura 4.11 ainda é mais notório a influência do VE, pois com o mesmo a carregar em casa, e sendo totalmente renovável, unicamente considerando o veículo como fornecedor de energia renovável a classe atingida é a A+ ( $R_{nt} = 0,196$ ).

No cenário com o carregamento fora da habitação, a habitação atinge facilmente a classe energética A ( $R_{nt} = 0,467$ ), próxima de B.

No caso PF+VE+BE, excluindo o extremo atingido pelo VE ser totalmente renovável (Figura 4.11), no cenário mais realista com o carregamento fora (Figura 4.12), a classe energética ultrapassa a escala e alcança valores superior à classe A+ ( $R_{nt} = -0,217$ ). Isto ajuda mais uma vez a análise de resultados positivos para a introdução do VE na certificação energética, porque numa habitação com um sistema de painéis fotovoltaicos, uma BE, e um VE com o seu regime de carregamento fora da habitação, a origem da energia usada para carregamento do VE podendo ser hipoteticamente renovável, leva a crer que mesmo não sendo totalmente renovável o carregamento fora da habitação, a classificação energética seria sempre próxima do A+, ou no pior caso, uma classe A.

Analisando a Figura 4.12, em que neste cálculo a energia do VE é considerada renovável apenas quando o carregamento do mesmo ocorre a partir do excesso produzido pelo sistema de PF da habitação, observa-se nos casos Apenas VE e PF+VE+BE que quando o VE é contabilizado no cálculo da certificação energética, verifica-se que o mesmo não tem influência alguma na classe energética, pois o seu carregamento em casa não é originário de energia renovável.

No entanto, no caso PF+VE, em que anteriormente no capítulo 4.4 tinha-se identificado que durante o mês de janeiro o VE conseguiria carregar uma ínfima percentagem durante o fim-de-semana a partir do excesso produzido pelos PF, consegue-se identificar uma ligeira melhoria na classe energética, onde apesar da classe se manter no B, os valores de  $R_{nt}$  passam de 0,709 para 0,705.

Isto indicia que, mesmo com um mínimo de consideração percentual de energia renovável no carregamento do VE, a classe energética consegue alterar ligeiramente para uma melhor classificação.

Assim, destaca-se da Figura 4.11 e Figura 4.12, que pelo facto de as considerações da classificação energética da Figura 4.12 serem mais realista, isto porque apenas a energia efetivamente renovável que tenha sido usada para carregar o VE é a única a ser considerada na cedência da energia à habitação, significa que quando o VE efetua o seu carregamento pela habitação essa percentagem é muito reduzida, enquanto que quando carrega fora, pode-se contabilizar uma percentagem mais elevada.

Não sendo possível determinar a origem da energia no carregamento fora da habitação, pode-se no limite considerar que a origem como renovável na sua totalidade, imaginando um cenário onde o VE tem a possibilidade de carregar no seu local de trabalho, sendo essa energia proveniente de FER com potência suficiente para carregamento de VE.

Complementando a Figura 4.11 e Figura 4.12, a Figura 4.13 indica o uso percentual da rede nas necessidades da habitação, a perda de energia dos PF para a rede, e o uso percentual da rede com o VE a carregar fora da habitação, para o mês de julho.

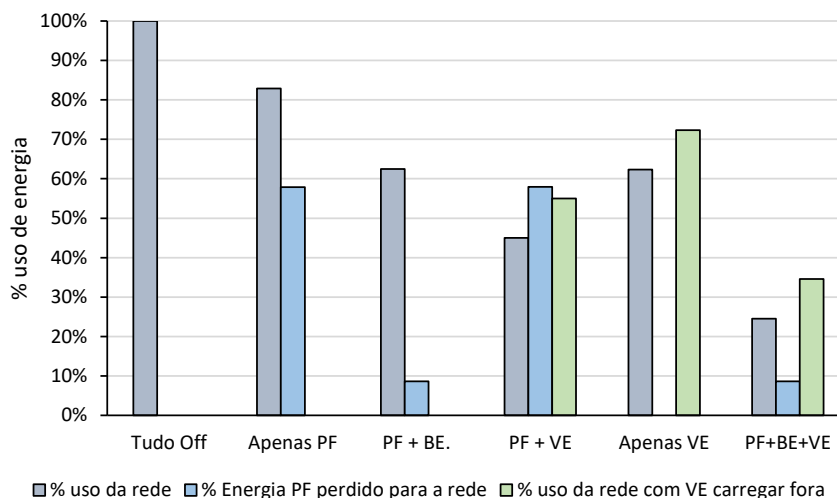


Figura 4.13 - Uso percentual da rede para as necessidades energéticas da habitação – Julho  
 Analisando a Figura 4.13, da percentagem de uso da rede para o mês de julho, como ao usar o VE fora da habitação faz reduzir essa percentagem, e como coincide com a melhoria da classificação quando se considera o VE a carregar fora da habitação, pode-se considerar o carregamento fora como um fator impactante na classificação energética.

A melhoria nos sistemas de iluminação (substituição para lâmpadas LED) e a utilização de equipamentos de climatização mais eficientes fazem reduzir o uso da rede, tendo impacto positivo na classificação. O VE ao carregar fora e não sabendo a origem dessa energia, no limite pode-se considerar como uma energia verde, também teria impacto positivo na utilização da rede fazendo reduzir o seu uso, o que faz com que comece a ganhar direito para ser introduzido como impactante nos indicadores energéticos da habitação.

No caso Apenas PF, o uso da rede ainda é acima dos 80%, mas ao passar para o caso PF+BE, este desce para próximo dos 60%, diminuindo consigo drasticamente a perda de energia dos PF para a rede, passando de uma perda de quase 60% para apenas praticamente 10%.

A passagem para o caso PF+VE, verifica-se que a perda de energia em excesso para a rede é igual ao caso onde se considerava apenas o PF, no entanto com a introdução do VE, o uso de energia da rede para as necessidades diminui para próximo dos 45% quando o VE carrega em casa, e 55% quando o VE carrega fora. Isto acontece pelo facto do já referido no capítulo da metodologia 3.4.4, onde o VE ao carregar fora da

habitação, irá ceder menos energia à habitação pois tem uma limitação imposta para um fornecimento de energia controlado.

Por fim no caso PF+VE+BE, o uso da rede irá variar entre os 25% e os 35%, diferenciando para os dois diferentes panoramas de carregamento do VE.

Com o auxílio da Figura 4.14, que indica os valores em kWh do uso da rede para o mês de julho, verifica-se que nos casos onde o VE não entra na análise, regista-se uma redução de uso da rede em kWh, e ao introduzir a BE, o que faz com que não seja perdida para a rede tanta energia produzida a mais, o valor desce até à ordem dos 500 kWh, no caso PF+BE.

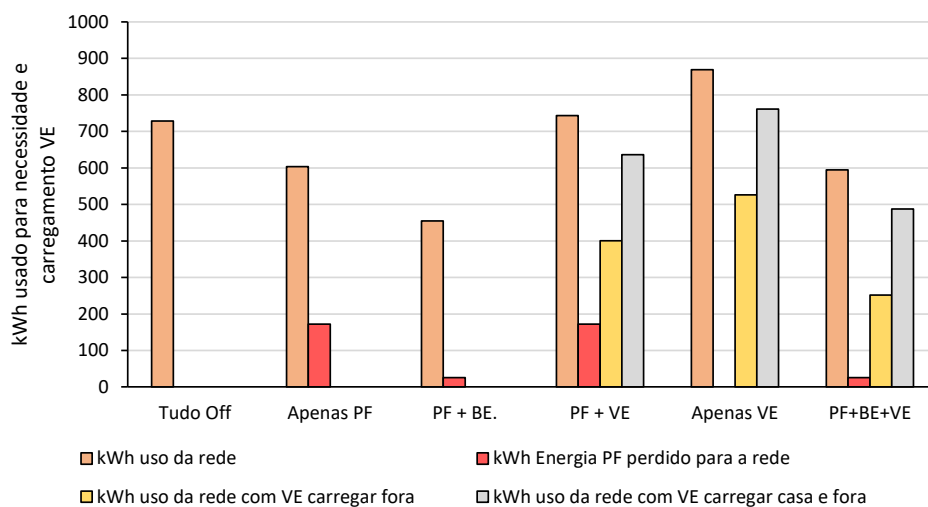


Figura 4.14 - Valor em kWh usado para as necessidades da habitação e carregamento VE. Nos casos em que o VE entra em consideração, difere consoante as diferentes condições, que são a barra de kWh usado pela rede com o VE a carregar em casa, a barra de kWh usado para a rede com o VE a carregar fora de casa, e a barra de kWh usado pela rede com o VE a carregar tanto em casa como fora.

Para os 3 primeiros casos, Tudo Off, Apenas PF e PF+BE, os equipamentos usados em cada caso têm impacto no consumo energético, mas só o PV entra na classificação energética, juntando a isto à percentagem de redução do uso da rede da Figura 4.13. No caso base Tudo Off, a habitação regista um consumo um pouco acima dos 700 kWh, e com a introdução dos PF, o consumo a partir da rede reduz em mais de 100 kWh.

Os últimos 3 casos, PF+VE, Apenas VE e PF+VE+BE, em que a gestão dos PF, com o VE e a BE têm impactos significativos no consumo à rede, no caso onde o veículo carrega fora de casa, os kWh totais serão inferiores ao regime de carregamento pela rede, apesar de acordo com a Figura 4.13, o uso percentual da rede seja maior quando o VE tem o seu carregamento fora de casa. Igualando com o efeito na classificação energética, o carregamento fora da habitação terá vantagens tanto para a redução de kWh consumidos, como para a melhoria da classificação energética.

Numa questão numérica, para os últimos 3 casos com o VE em regime de carregamento na habitação, o consumo a partir da rede aumenta em dois deles, PF+VE e Apenas VE, devido à contribuição do carregamento do VE para o efeito, passando a ser aproximadamente 750 kWh e 850 kWh, respetivamente. Para o caso PF+VE+BE, o consumo em kWh equipara-se ao caso onde é considerado apenas os PF, estando ambos na ordem dos 600 kWh de consumo a partir da rede. Apesar da introdução da BE, que faz reduzir o consumo a partir da rede, a contribuição do VE tem um impacto muito negativo devido ao peso do seu carregamento. Sobre esta última comparação, conclui-se que apesar de haver o mesmo consumo a partir da rede em ambos os casos, a classificação energética no caso PF+VE+BE é substancialmente melhor do que no caso Apenas PF. Esta situação é devido a que no caso Apenas PF, os 600 kWh são inteiramente usados para as necessidades da habitação, enquanto no caso PF+VE+BE, dos 600 kWh, 400 kWh são usados para carregamento do VE e restantes necessidades da habitação são provenientes do fornecimento de energia do VE e da BE.

No caso Apenas VE, aquando na conclusão que a classe energética poderia melhorar significativamente dependendo da origem da energia de carregamento do VE, quando verificado o valor real usado pela rede, chega-se a atingir valores em kWh superiores aos valores no caso base (Tudo Off). Este resultado exemplifica novamente o peso que tem a consideração da origem da energia fornecida pelo VE, e o carregamento do VE a partir de energia fornecida pela rede não interferir na classificação energética da habitação.

Nos casos onde o VE está num regime de carregamento fora da habitação, os consumos a partir da rede reduzem substancialmente, pois a parcela do carregamento pela rede já não é considerada. Representando os três casos, para o caso PF+VE o consumo é 400 kWh, para apenas o VE o consumo sobe para próximo dos 500 kWh, estando ainda assim abaixo do caso base, e com todos os ativos considerados, o consumo atinge o valor mais baixo de todos os casos, com um consumo a partir da rede de 250 kWh. Nestes casos a classificação energética determina valores de classe bastante baixos, atingindo inclusive a classe nZEB, pois o que o VE fornece à habitação é considerado inteiramente renovável.

Nos casos em que o VE é tido em consideração, quando o VE carrega em casa e fora da habitação simultaneamente, verifica-se que o consumo energético passa a ser um valor intermédio quando comparado com cada um dos dois regimes de carregamentos separados. No entanto a classificação energética não terá a mesma correlação, não sendo necessariamente uma classe energética intermédia, isto porque o peso da origem da energia usada no carregamento do VE ser renovável ou não, influência bastante na classe energética, como já verificado. Conclui-se que a melhoria na classe energética terá de ter sempre em conta a origem da energia fornecida à habitação, pois

independentemente do valor de kWh que o VE fornece, se a totalidade desse valor for considerada não renovável, não terá influência alguma na classe energética.

No que diz respeito à fatura energética, quantificada na Figura 4.15, fazendo primeiro a análise da diferença entre estes três casos PF+VE, PF+VE+BE e Apenas VE, consoante o VE carregar fora ou em casa, é natural que em todos os casos exista uma redução dos custos energéticos, mesmo com o VE a carregar em casa em horas de vazio. Não sabendo as condições de carregamento fora da habitação, os custos energéticos poderão ser naturalmente superiores se forem efetuados em postos de carregamento públicos, mas poderão manter-se em níveis baixos se o carregamento for feito na totalidade por painéis fotovoltaicos no local de trabalho, por exemplo, em que o custo de carregamento poderá ser gratuito ou ter um custo menor mediante o contrato com a empresa. À partida, se o VE carregar num edifício externo ao da habitação, em que esse poderá ser um PEB, ou seja, ter uma produção de energia renovável no local em grande excesso, esse mesmo excesso será aproveitado pelo VE na sua habitação, servindo como um vetor de energia, fazendo a transferência de energia entre edifícios, balanceando-os com energia verde, reduzindo em grande parte o uso da rede.

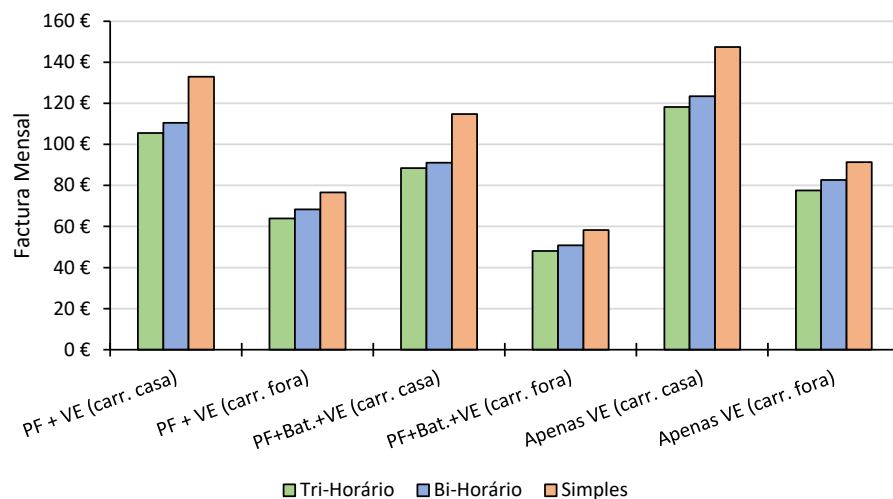


Figura 4.15 - Fatura mensal para cada caso de estudo e para as 3 tarifas – Julho

Analisando agora a comparação entre o caso tudo off, apenas PF e os restantes casos, verifica-se que existem variantes em que os custos energéticos tornam-se bastante superiores ao valor base (PF+VE e Apenas VE), com grande influência negativa pelo carregamento pela rede. Apesar deste aumento do custo energético, a classificação energética nestes dois casos é representada como o inverso desta desvantagem, pois a classe melhora substancialmente comparando com o caso base. Nos casos em que são consideradas todas as opções na análise, com o VE a carregar fora, os custos energéticos melhoram e acompanham a melhoria da classificação energética.

Numa última análise deste gráfico, realça-se que a tarifa energética que mais beneficia nesta habitação é a tri-horária, seguido da bi-horária, terminando com a simples, que é

a pior. Esta diferença é verificada porque foi considerado o ciclo semanal, em que o preço durante a semana é diferente durante o fim de semana, e como a tarifa simples é representada pelo mesmo preço durante todo o ano, não se tira partido de carregar o VE durante a noite, período de horas em vazio onde o preço seria mais baixo. Com a BE a fornecer energia durante a noite, existe uma poupança energética, mas com o VE a carregar em casa durante a noite, comparativamente com o carregamento “sem custo” contabilizado na fatura mensal, verifica-se que a diferença de carregar fora da habitação, com carregar em casa, equivale a uma diferença aproximadamente de 60 € para a tarifa tri-horária, e entre 20 € a 40 € para as tarifas bi-horária e simples.

Nos casos em que a BE não é considerada, é quando se verifica que existe maior consumo, atingindo para o caso Apenas VE – carregamento em casa, praticamente 150 € pela tarifa tri-horária e para o caso PF+VE – carregamento em casa, aproximadamente 135 € para a mesma tarifa, enquanto o caso PF+VE+BE – carregamento em casa, fica próximo de 120 €.

A Figura 4.16 apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2eq</sub>), contabilizados para a energia usada pela rede, em todos os casos.

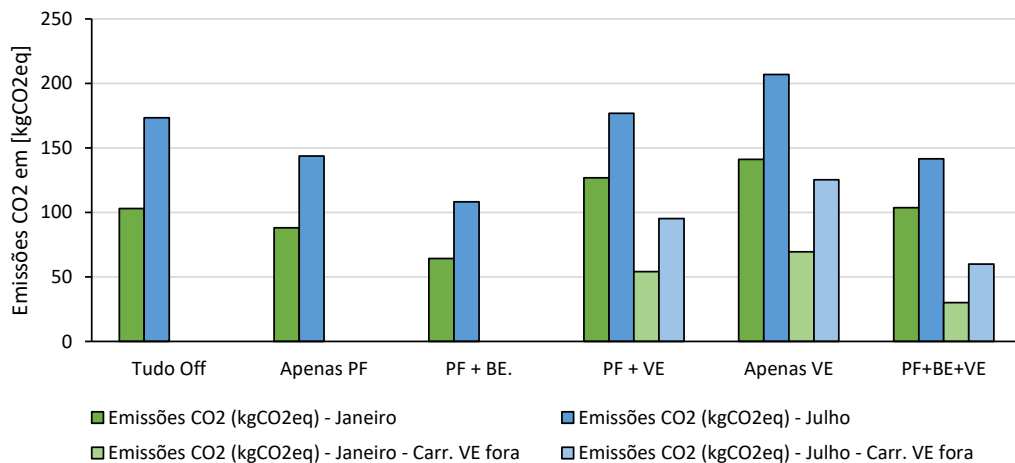


Figura 4.16 - Emissões de CO<sub>2</sub> em [kgCO<sub>2eq</sub>]

Em primeiro lugar, verifica-se a diferença entre as emissões de CO<sub>2</sub> durante os dois meses, justificando-se maiores valores para o mês de arrefecimento devido a haver por norma maior necessidade energética nos meses de maior calor, muito provocado pelos resultados do aquecimento global, originando maiores solicitações de arrefecimento.

Observando agora os diferentes casos, primeiramente os casos onde o VE não é contabilizado, devido à introdução dos painéis fotovoltaicos e da BE que gere apenas energia renovável remanescente dos PF, existe menor uso de energia da rede, e consequentemente, menores emissões de CO<sub>2</sub>. Em paralelo com estes valores da Figura 4.16, efetuados para uma instalação com 6 PF, tendo primeiramente sido efetuado os cálculos para 4 painéis fotovoltaicos, verificou-se que, nos casos afetados

pela introdução dos PF, houve uma redução de emissões na ordem dos 4-7% no mês de janeiro e entre os 10-15% no mês de julho. Esta redução é natural e um ponto a favor para incentivo no sentido de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, verificando-se uma maior influência neste resultado no mês de arrefecimento, devido a haver maior energia renovável produzida. Numa nota meramente informativa, passando para o dobro de painéis fotovoltaicos (12), a redução de emissões no mês de janeiro estará na ordem 10% e no mês de julho uma redução de aproximadamente 20%.

Nos restantes casos, onde o VE é contabilizado, o panorama altera drasticamente se o VE carregar pela rede, fazendo com que seja equacionado maiores valores de energia que dão origem a produção de emissões de CO<sub>2</sub>. Se o VE carregar fora da habitação, este resultado por um lado poderá manter-se ou piorar, no caso do carregamento ser igualmente pela rede ou em postos de carregamento público, sendo que nestes casos é garantido que agravará estes resultados de contabilização de emissões, mas por outro lado poderá tornar as emissões de CO<sub>2</sub> da habitação bastante reduzidas, se se considerar o cenário onde o carregamento fora é na totalidade de origem renovável. Assim, todos os dados relacionados com as emissões de CO<sub>2</sub> para cada mês e cenário, podem ser consultados no apêndice 20, bem como os valores de energia primária (em tep) e energia final (em MJ).

Em jeito de fecho de capítulo, retém-se que o VE e o ativo BE têm uma importância significativa no que diz respeito à redução de consumo a partir da rede da habitação, onde ambos com as suas diferentes potências de descarga, conseguem fornecer energia em diferentes períodos do dia e noite, satisfazendo as necessidades energéticas da habitação. Em conjunto com esta análise, explorou-se o impacto que o VE e a BE têm na classificação energética, e conclui-se que ambos conseguem melhorar a classe energética da habitação, em diferentes casos de estudo e em diferentes regimes de carregamento do VE.

No que diz respeito ao cálculo da classe energética, verifica-se que a consideração da origem da energia que o VE fornece à habitação é o principal fator, e com o VE a carregar em diferentes espaços e diferentes possibilidades de carregamento, a percentagem de energia renovável irá variar. Assim, a classe energética da habitação irá melhorar substancialmente apenas e só com o aumento da percentagem considerada de energia renovável que o VE fornece.



## **5 Conclusões e trabalho futuro**

### **5.1 Conclusões**

O presente documento teve como principal objetivo levar a cabo, a análise de resultados de gestão de energia e poupança da mesma com a introdução do VE na vida quotidiana, e também identificar a viabilidade da implementação do veículo e das baterias estacionárias nos estudos de certificação de edifícios.

O desenvolvimento sustentável dos edifícios é um dos principais temas que está a tornar-se prioritário na gestão dos mesmos e gestão de energia, não só para a sua construção, como também na sua reabilitação, de forma que as metas dos vários certificados exigidos e obrigatórios em certos casos sejam alcançadas. Todas as metas exigidas desempenham um papel crucial na promoção da sustentabilidade dos edifícios, tornar os mesmos não só mais eficientes energeticamente, como também mais focados na sustentabilidade ambiental, melhorias na eficiência de materiais e recursos do edifício, qualidade ambiente interna e favorecer o bem-estar e conforto dos ocupantes. Nestes aspetos, o VE tem-se tornado cada vez mais uma estratégia eficaz na ajuda à redução do impacto ambiental nos transportes, podendo também começar a influenciar positivamente os edifícios.

Com a ferramenta computacional implementada, junto com as várias condições impostas, desde a facilidade com que se altera um único valor de inputs, e iniciar inúmeras simulações para diferentes casos e ativos, com a possibilidade de haver um VE que consiga carregar em casa ou fora dela e com as limitações reais de descarregamento e carregamento, conseguiu-se criar uma base interessante para uma futura evolução do tema.

Relativamente aos principais resultados e ao impacto que estes poderão trazer para a legislação do sistema de certificação energética, conclui-se que quando o VE e a BE são considerados como uma fonte de energia renovável, totalmente ou parcialmente, a parcela de energia renovável na determinação da classificação energética irá crescer, e mesmo uma ínfima percentagem de energia renovável considerada no total de energia

fornecida pelo VE ou pela BE, terá capacidade de alterar a classe energética de um edifício. Quantificando os valores de redução de energia consumida a partir da rede, a introdução da BE juntamente com um sistema de PF, permite uma redução de aproximadamente 40%, no caso onde se considera apenas o VE a fornecer energia à habitação, consegue-se uma redução da rede entre 40% e 50% e numa conjugação entre PF, o VE e a BE, consegue-se atingir diminuições de consumos a partir da rede entre 65% e 80%.

No que diz respeito às alterações da classe energética, verifica-se que quando se introduz a BE como renovável na determinação da classificação energética, conjuntamente com um sistema de PF, a habitação passa de uma classe B para A. Nos casos em que o VE é introduzido, com regimes de carregamento dentro e fora da habitação, a flutuação da classe energética é mais acentuada, pois consegue-se uma melhoria de classe B- (original da habitação) para A e A+, considerando que 100% da energia que o VE fornece é renovável. Numa junção do sistema PF com o VE e com a BE, obtém-se valores que ultrapassam a escala da classe energética, atingindo a classificação A++. Na determinação destas classes energéticas, o fator de regime de carregamento fora da habitação é um ponto importante, e poderá influenciar a legislação nesse sentido, pois torna-se difícil aferir neste tipo de carregamento se a energia usada é renovável ou não, podendo no limite assumir-se vários cenários onde esta consideração é possível.

Desta forma, a discussão para o aperfeiçoamento da legislação poderá passar por algumas fases e hipóteses de evolução. A primeira onde se começa a implementar a BE como um fator renovável, criando a obrigatoriedade de carregamento da mesma apenas a partir do sistema de painéis fotovoltaicos instalados no edifício, e usando a mesma filosofia que é implementada na determinação da contribuição renovável das bombas de calor, onde a metodologia determinaria a quantidade de energia que é captada pelas baterias como sendo renovável. Uma segunda fase, onde embrionariamente o VE é acrescentado às parcelas da equação da certificação energética, devendo haver uma diferenciação da percentagem renovável e não renovável do VE, e o seu carregamento fora da habitação ter igualmente uma percentagem renovável e não-renovável. E uma terceira hipótese poderia ser a implementação de uma nova parcela que introduz o ativo “bateria”, que representa o conjunto de todas as BE a fornecer energia da habitação e de todos os VE pertencentes à habitação, onde toda a energia deste ativo “bateria” seria considerada renovável.

## 5.2 Trabalho futuro

Um primeiro ponto onde claramente poderá ser melhorado, será a implementação da possibilidade do VE poder permanecer durante a semana na habitação, possibilitando o aumento do carregamento do VE a partir do excesso produzido pelo sistema de painéis fotovoltaicos, e poder-se verificar a influência que essa percentagem proveniente de origem renovável tem na classificação energética do edifício.

Um segundo ponto seria tornar a habitação mais exigente em termos de cargas energéticas, introduzindo novos sistemas de climatização, bem como produção de AQS com recurso a bombas de calor, ou até painéis solares térmicos, de forma que se consiga também implementar maiores potências de cedência de energia, ou seja, usar postos de carregamento com maiores potências, bem como baterias estacionárias com igualmente maiores potências e capacidades.

E um terceiro ponto seria a introdução de um algoritmo em que se conseguia atribuir percentagens de energia renovável à energia fornecida pelo VE, podendo assim quantificar o quanto de energia renovável realmente o VE fornece à habitação e entra na determinação da classe energética da mesma.



## Referências bibliográficas

- [1] A. Kumar, P. Singh, P. Raizada, and C. M. Hussain, “Impact of COVID-19 on greenhouse gases emissions: A critical review,” *Science of The Total Environment*, vol. 806, p. 150349, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.150349.
- [2] Direção-Geral de Energia e Geologia (2022), “Eficiência Energética em Edifícios”, Accessed: Oct. 14, 2022. [Online]. Available: <http://www.dgeg.gov.pt/>
- [3] Direção-Geral de Energia e Geologia (2022), “Energia em Números, edição 2022”, [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/publicacoes/energia-em-numeros/>
- [4] Direção-Geral de Energia e Geologia (2024), “Energia em Números, edição 2024”, [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/publicacoes/energia-em-numeros/>
- [5] APA (Agência Portuguesa do Ambiente), “Energia e Clima: Emissões de Gases com Efeito de Estufa,” 2022, [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/emiss%C3%B5es-de-gases-com-efeito-de-estufa>
- [6] Parlamento Europeu e do Conselho, “DIRECTIVA 2009/28/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE,” *Jornal Oficial da União Europeia*, 2009.
- [7] Presidência do Conselho de Ministros, “Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro,” Dec. 2020.
- [8] Parlamento Europeu e do Conselho, “Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética,” *Jornal Oficial da União Europeia*, vol. L156, pp. 75–91, May 2018.

- [9] Parlamento Europeu e do Conselho, “Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010 , relativa ao desempenho energético dos edifícios,” *Jornal Oficial da União Europeia*, vol. L153, pp. 13–35, 2010.
- [10] Parlamento Europeu e do Conselho, “Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012 , relativa à eficiência energética,” *Jornal Oficial da União Europeia*, vol. L315, pp. 1–56, 2012.
- [11] Parlamento Europeu, “Proibição da venda de carros a gasolina e gasóleo a partir de 2035 - Artigo 14-07-2023”.
- [12] Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, “DIRETIVA (UE) 2019/944 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 5 de junho de 2019 relativa a regras comuns para o mercado interno da eletricidade e que altera a Diretiva 2012/27/UE,” Jun. 2019.
- [13] DGEG, “Manual SCE - Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios.”
- [14] Guia SCE (13 de março de 2020), “Conceitos e Definições do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios Habitação (REH),” *Lisboa: ADENE*.
- [15] Guia SCE (13 de março de 2020), “Conceitos e Definições do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS),” *Lisboa: ADENE*.
- [16] A. Magrini, G. Lentini, S. Cuman, A. Bodrato, and L. Marengo, “From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge - The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example,” *Developments in the Built Environment*, vol. 3, p. 100019, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.DIBE.2020.100019.
- [17] J. M. Santos-Herrero, J. M. Lopez-Guede, and I. Flores-Abascal, “Modeling, simulation and control tools for nZEB: A state-of-the-art review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 142, p. 110851, May 2021, doi: 10.1016/J.RSER.2021.110851.
- [18] D’Agostino and Delia, “Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States,” *Journal of Building Engineering*, vol. 1, pp. 20–32, Mar. 2015, doi: 10.1016/J.JOBE.2015.01.002.
- [19] J. Laustsen, “Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings,” 2008.
- [20] H. Lund, A. Marszal, and P. Heiselberg, “Zero energy buildings and mismatch compensation factors,” *Energy Build*, vol. 43, no. 7, pp. 1646–1654, Jul. 2011, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2011.03.006.
- [21] ADENE - Agência para a Energia, “Isolamentos de Paredes,” *Lisboa: ADENE*.

- [22] ADENE - Agência para a Energia, “Isolamento de Coberturas,” *Lisboa: ADENE*.
- [23] IHRU and ADENE, “CATÁLOGO DE SOLUÇÕES TÉCNICAS - Eficiência energética na habitação,” *IFRRU (Instrumento financeiro reabilitação e revitalização urbanas)*, 2020.
- [24] D. D’Agostino, S. T. Tzeiranaki, P. Zangheri, and P. Bertoldi, “Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe,” *Energy Strategy Reviews*, vol. 36, p. 100680, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.ESR.2021.100680.
- [25] Instituto Nacional de Estatística and Direção-Geral de Energia e Geologia, “Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico - 2020,” *Edição 2021*.
- [26] L. Cabeza and M. Chàfer, “Technological options and strategies towards zero energy buildings contributing to climate change mitigation: a systematic review,” *2020, Energy & Buildings*, 2019.
- [27] D. D’Agostino, B. Cuniberti, and P. Bertoldi, “Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings,” *Energy Build*, vol. 153, pp. 72–86, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2017.07.062.
- [28] CA and Concerted Action Database, “NZEB-like Educational Buildings, Pilot Projects from 13 Countries,” (2015/2016), [Online]. Available: [https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2018/04/01-CT1\\_Factsheet\\_NZEB\\_Educational\\_Buildings.pdf](https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2018/04/01-CT1_Factsheet_NZEB_Educational_Buildings.pdf)
- [29] CRAVEZERO, “Cost Reduction and Market Acceleration for Viable Nearly-Zero Energy Buildings,” (2020), [Online]. Available: <https://cravezero.eu/>
- [30] ZEROPLUS, “‘Summary of Current State of the Art of Near Zero Energy Settlements in Europe’,.”.
- [31] NERO, “Cost Reduction of New Nearly-Zero Energy Wooden Buildings in Northern Climate Conditions, Report on NZEB Cost Calculation and Analysis,” 2019.
- [32] CONZEB, “Why nearly zero energy buildings are the right choice: experiences, expectations and co-benefits of living in NZEBs, 2019.Craft W, ding L. Prasad D, partridge L, else D, development of a regenerative design model for building retrofits,” *Procedia Eng*, vol. 180 (2017), pp. 658–668.
- [33] AZEB and Affordable Zero Energy Buildings, “D1.4 Integration of Renewable Energies in NZEBs,” 2018.
- [34] D. D’Agostino and L. Mazzarella, “Data on energy consumption and Nearly zero energy buildings (NZEBs) in Europe,” *Data Brief*, 2018.
- [35] “Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro. Diário da República n.º 232/2013, Série I. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia”.
- [36] “Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril. Diário da República n.º65/2019, Série I. Lisboa: Ministério do Ambiente e Transição Energética”.

- [37] Agência Portuguesa do Ambiente (APA), “Emissões GEE em Portugal, ano 2020 - [https://apambiente.pt/clima/emissoes-gee.](https://apambiente.pt/clima/emissoes-gee)”
- [38] “Autoinforma - Estatística.” [Online]. Available: <https://www.autoinforma.pt/pt/graficos/>
- [39] A. Elgowainy, J. Han, L. Poch, M. Wang, A. Vyas, and M. et al. Mahalik, “Well-to-wheels analysis of energy use and greenhouse gas emissions of plug-in hybrid electric vehicles,” 2010.
- [40] A. Moro and L. Lonza, “Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles,” *Transp Res D Transp Environ*, vol. 64, pp. 5–14, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.TRD.2017.07.012.
- [41] R. Fachrizal, M. Shepero, D. van der Meer, J. Munkhammar, and J. Widén, “Smart charging of electric vehicles considering photovoltaic power production and electricity consumption: A review,” *eTransportation*, vol. 4, p. 100056, May 2020, doi: 10.1016/J.ETRAN.2020.100056.
- [42] A.Y. Saber et al., “Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions,” *IEEE Trans Ind Electron*, 2011.
- [43] X. Xu et al., “Risk management strategy for a renewable power supply system in commercial buildings considering thermal comfort and stochastic electric vehicle behaviors,” *Energy Convers Manag*, vol. 230, p. 113831, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2021.113831.
- [44] E. Ohene, A. P. C. Chan, and A. Darko, “Review of global research advances towards net-zero emissions buildings,” *Energy Build*, vol. 266, p. 112142, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2022.112142.
- [45] G. Barone, A. Buonomano, C. Forzano, G. F. Giuzio, A. Palombo, and G. Russo, “Energy virtual networks based on electric vehicles for sustainable buildings: System modelling for comparative energy and economic analyses,” *Energy*, vol. 242, p. 122931, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.122931.
- [46] G. Barone, A. Buonomano, F. Calise, C. Forzano, and A. Palombo, “Building to vehicle to building concept toward a novel zero energy paradigm: Modelling and case studies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 101, pp. 625–648, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2018.11.003.
- [47] M. Alirezaei, M. Noori, and O. Tatari, “Getting to net zero energy building: Investigating the role of vehicle to home technology,” *Energy Build*, vol. 130, pp. 465–476, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2016.08.044.
- [48] A. M. V. da Rosa and C. S. S. da L. Casaca, “Estudo e Simulação do Comportamento Térmico e Energético de um Edifício - Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica - ISEL,” Dec. 2019.

- [49] “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission”.
- [50] W. S. Ebhota and P. Y. Tabakov, “Influence of photovoltaic cell technologies and elevated temperature on photovoltaic system performance,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.asej.2022.101984.
- [51] TrinaSolar, “Residential Module - Multi-Busbar Mono Perc Module: TSM-DE06X.05(II) - 355-380W”.
- [52] A. M. Taborda, R. A. Varella, T. L. Farias, and G. O. Duarte, “Evaluation of technological solutions for compliance of environmental legislation in light-duty passenger: A numerical and experimental approach,” *Transp Res D Transp Environ*, vol. 70, pp. 135–146, May 2019, doi: 10.1016/J.TRD.2019.04.004.
- [53] J. L. Jiménez-Palacios, “Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing,” *Massachusetts Institute of Technology*, 1999.
- [54] G. O. Duarte, G. A. Gonçalves, and T. L. Farias, “Analysis of fuel consumption and pollutant emissions of regulated and alternative driving cycles based on real-world measurements,” *Transp Res D Transp Environ*, vol. 44, pp. 43–54, May 2016, doi: 10.1016/j.trd.2016.02.009.
- [55] J. Alves, P. C. Baptista, G. A. Gonçalves, and G. O. Duarte, “Indirect methodologies to estimate energy use in vehicles: Application to battery electric vehicles,” *Energy Convers Manag*, vol. 124, pp. 116–129, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2016.07.014.
- [56] Direção Geral de Energia e Geologia, “Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios,” *Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho*.
- [57] Diário da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 procede à publicação das regras de determinação da classe energética,” *2ª série-Nº234*, Dec. 2013.
- [58] Diário da República, “Portaria n.º 98/2019,” *1ª série-Nº65*, Apr. 2019.
- [59] Diário da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013,” *2ª série-Nº234*, Dec. 2013.
- [60] Diário da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013,” *2ª série-Nº234*, Dec. 2013.
- [61] “EN ISO 13790 - Energy Performance of Building - Calculation of energy use for space heating and cooling,” 2008.
- [62] Diário da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013,” *2ª série-Nº234*, Dec. 2013.
- [63] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - ERSE, “Tarifas e Preços Regulados,” 2023, Accessed: Sep. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>
- [64] Diário da República, “Decreto-Lei n.º 225/2007,” *1ª série-Nº105*, May 2007.

- [65] Diário da República and Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - ERSE, “Diretiva n.º 16/2018 - Rotulagem de energia elétrica,” *2ª série-Nº240*, Dec. 2018.
- [66] European Environment Agency, “Greenhouse gas emission intensity of electricity generation,” 2023, Accessed: Sep. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>

## Apêndices

### 1. Tabela da produção horária do sistema PF – Janeiro

Janeiro			
Hora (h)	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (kW)
0	0	20,81%	0
1	0	20,82%	0
2	0	20,88%	0
3	0	20,89%	0
4	0	20,91%	0
5	0	20,95%	0
6	0	20,96%	0
7	0	20,96%	0
8	19	20,88%	0,044
9	163	20,85%	0,376
10	279	20,77%	0,641
11	338	20,40%	0,763
12	385	20,33%	0,866
13	379	20,28%	0,850
14	364	20,17%	0,813
15	302	20,16%	0,674
16	214	20,17%	0,478
17	65	20,46%	0,147
18	0	20,53%	0
19	0	20,58%	0
20	0	20,73%	0
21	0	20,76%	0
22	0	20,78%	0
23	0	20,79%	0

## 2. Tabela da produção horária do sistema PF – Julho

Julho			
Hora (h)	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (kW)
0	0	19,75%	0
1	0	19,77%	0
2	0	19,86%	0
3	0	19,87%	0
4	0	19,88%	0
5	0	19,90%	0
6	0	19,90%	0
7	55	19,83%	0,121
8	189	19,29%	0,404
9	339	19,17%	0,719
10	491	19,05%	1,035
11	623	18,67%	1,287
12	701	18,59%	1,442
13	720	18,54%	1,477
14	683	18,45%	1,395
15	576	18,47%	1,178
16	421	18,52%	0,863
17	244	18,85%	0,509
18	77	18,93%	0,161
19	0	19,05%	0
20	0	19,51%	0
21	0	19,58%	0
22	0	19,62%	0
23	0	19,73%	0

## 3. Consumos e percentagens (VE+PF+BE) – Carregamento Casa - Julho

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Rede (kWh)
728,40	178,69	24,53	124,62	17,11	148,87	20,44	276,22	37,92	426
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
296,55	124,62	42,02	25,58	8,63	146,35	49,35	0,00	0,00	

## 4. Consumos e percentagens (VE+PF+BE) – Carregamento Fora – Julho

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Fora (kWh)
728,40	251,79	34,57	124,62	17,11	148,96	20,45	203,03	27,87	359,45
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
296,55	124,62	42,02	25,58	8,63	146,35	49,35	0,00	0,00	

### 5. Consumos e percentagens (VE+PF) – Carregamento Casa – Julho

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Rede (kWh)
728,40	327,56	44,97	124,62	17,11	0	0	276,22	37,92	426
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
296,55	124,62	42,02	171,93	57,98	0	0	0,00	0,00	

### 6. Consumos e percentagens (VE+PF) – Carregamento Fora - Julho

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Fora (kWh)
728,40	400,75	55,02	124,62	17,11	0	0	203,03	27,87	359,45
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
296,55	124,62	42,02	171,93	57,98	0	0	0,00	0,00	

### 7. Consumos e percentagens (Apenas VE) – Carregamento Casa – Julho

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Rede (kWh)
728,40	453,60	62,27	0	0	0	0	274,80	37,73	426
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	

### 8. Consumos e percentagens (Apenas VE) – Carregamento Fora – Julho

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Fora (kWh)
728,40	526,40	72,27	0	0	0	0	202	27,73	358,68
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	

### 9. Carregamento e percentagens (PF+BE) – Julho

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Fora (kWh)
728,40	454,98	62,46	124,62	17,11	148,80	20,43	0	0	168,18
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
296,55	124,62	42,02	25,58	8,63	146,35	49,35	0,00	0,00	

### 10. Consumos e percentagens (VE+PF+BE) – Carregamento Casa – Janeiro

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Rede (kWh)
432,80	70,94	16,39	62,53	14,45	100,04	23,11	199,29	46,05	364,79
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
158,27	62,53	39,51	0	0	95,74	60,49	0,00	0,00	

### 11. Consumos e percentagens (VE+PF+BE) – Carregamento Fora – Janeiro

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Fora (kWh)
432,80	127,15	29,38	62,53	14,45	100,17	23,14	145,95	33,03	302,79
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
158,27	62,53	39,51	0	0	95,74	60,49	0,00	0,00	

### 12. Consumos e percentagens (VE+PF) – Carregamento Casa – Janeiro

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Rede (kWh)
432,80	170,69	39,51	62,53	14,45	0	0	199,29	46,05	362,42
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
158,27	62,53	39,51	93,23	58,90	0	0	2,51	1,59	

### 13. Consumos e percentagens (VE+PF) – Carregamento Fora - Janeiro

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Fora (kWh)
432,80	227,32	52,52	62,53	14,45	0	0	142,95	33,03	300,91
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
158,27	62,53	39,51	93,23	58,90	0	0	2,51	1,59	

### 14. Consumos e percentagens (Apenas VE) – Carregamento Casa – Janeiro

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Rede (kWh)
432,80	190,80	44,09	0	0	0	0	242,00	55,91	401,99
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	

### 15. Consumos e percentagens (Apenas VE) – Carregamento Fora – Janeiro

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Fora (kWh)
432,80	292	67,47	0	0	0	0	140,80	27,73	301,2
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	

### 16. Carregamento e percentagens (PF+BE) – Janeiro

N.E. Totais (kWh)	Uso rede (kWh)	% N.E	Uso PF (kWh)	% NE	Uso BE (kWh)	% NE	Uso VE (kWh)	% NE	Carr VE Fora (kWh)
432,80	270,04	62,39	62,53	14,45	100,23	23,16	0	0	176,3
Produção PF (kWh)	Uso PF (kWh)	% PF	Perda Rede PF (kWh)	% PF	Uso PF carr BE (kWh)	% PF	Uso PF carr VE (kWh)	% PF	
158,27	62,53	39,51	0	0	95,74	60,49	0,00	0,00	

## 17. Determinação do Nv

$$Q_{g,vref}/A_p = \left[ q_{int} \cdot \frac{L_v}{1000} + g_{vref} \cdot (A_W/A_p)_{ref} \cdot G_{sol,ref} \right] \quad [kWh/(m^2 \cdot ano)]$$

$$Q_{g,vref}/A_p = ((4 \cdot ((2928)/1000)) + (0,43 \cdot 0,2 \cdot 500))$$

$$Q_{g,vref}/A_p = 54,712 \text{ kWh}/(m^2 \cdot ano)$$

GD=1	$\theta_{ext,v=V2}$
GD	$\theta_{ext,v=V2}$
=1071+(1,7*(109-109))	=21,7-(0,01*(109-109))
=1071	=21,7
$X = X_{REF} + a(z - z_{REF})$	

$$\eta_{vref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \times \ln(\Delta\theta) & \rightarrow \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & \rightarrow 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,30 & \rightarrow \Delta\theta \leq 0 \end{cases}$$

$$\Delta\theta = 25 - 21,7 = 3,3$$

$$\eta_{vref} = 0,7827$$

$$N_v = (1 - \eta_{vref}) \times Q_{g,vref}/A_p \quad [kWh/m^2 \cdot ano]$$

nec. nom. energia útil para os meses de arrefecimento (referência)

$$N_v = (1 - 0,7827) \times 54,712$$

$$N_v = 11,891 \text{ kWh}/m^2 \cdot ano \quad 2928h \sim 4 \text{ meses arrefecimento}$$

## 18. Determinação do Nt

Tabela 8 – Fatores de conversão de energia primária. Despacho n.º 15793-D/2013.

Fonte de energia	F <sub>pv</sub> <sup>27</sup>
Elettricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável)	2,5 kWh <sub>ter</sub> /kWh
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis	1,0 kWh <sub>ter</sub> /kWh
Energia térmica de origem renovável	1,0 kWh <sub>ter</sub> /kWh

Eficiência sistema aquecimento	3,4
Eficiência sistema arrefecimento	3

$$N_t = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_{aref}/A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j}$$

$$N_t = (1 \cdot Ni/3,4) \cdot 2,5 + (1 \cdot Nv/3) \cdot 2,5 / 12 = 4,49 \text{ kWh}/m^2 \cdot mês$$

Tabela 99 – Eficiência de referência dos sistemas em edifícios de habitação

Uso regulado	Sistema no edifício previsto	Eficiência a considerar no edifício de referência	
Aquecimento	Sistema que recorre a queima de combustível	0,89	
	Split, multisplit e VRF com permuta exterior a ar	3,40	
	Unidades compactas com permuta exterior a ar	3,20	
	Split, multisplit e VRF com permuta exterior a água	3,70	
	Unidades compactas com permuta exterior a água	4,40	
	Rooftop com permuta exterior a ar	3,20	
	Rooftop com permuta exterior a água	4,40	
	Chiller bomba de calor de compressão com permuta exterior a ar	3,00	
	Chiller bomba de calor de compressão com permuta exterior a água	4,15	
	Cogeração ou trigeração	1,00	
	Outros sistemas que recorram a eletricidade	1,00	
	Sistema por defeito	1,00	
	Arrefecimento	Split, multisplit e VRF permuta exterior a ar	3,00
		Unidades compactas permuta exterior a ar	2,80
Split, multisplit e VRF permuta exterior a água		3,30	
Unidades compactas permuta exterior a água		4,10	
Rooftop com permuta exterior a ar		2,80	
Rooftop com permuta exterior a água		4,10	
Chiller bomba de calor de compressão com permuta exterior a ar		2,90	
Chiller bomba de calor de compressão com permuta exterior a água		4,65	
Cogeração ou trigeração		1,00	
Outros sistemas que recorram a eletricidade		3,00	
Sistema por defeito	3,00		



20. Determinação da Energia Primária (tep), Energia Final (MJ) e Emissões CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>eq)

Emissões CO2					
Caso	Mês	Energia utilizada rede (kWh)	Energia Primária (tep)	Energia Final (MJ)	Emissões CO2 (kgCO2eq)
1 - Tudo Off	Janeiro	432,80	0,0931	1558,080	103,006
	Julho	728,40	0,1566	2622,240	173,359
2 - Apenas PF	Janeiro	370,27	0,0796	1332,972	88,124
	Julho	603,78	0,1298	2173,608	143,700
3 - PF+Bat	Janeiro	270,04	0,0581	972,144	64,270
	Julho	454,98	0,0978	1637,928	108,285
4 - PF-VE	Janeiro	533,40	0,1147	1920,240	126,949
	Janeiro - Carr. Fora	227,32	0,0488738	818,352	54,102
	Julho	743,36	0,1598	2676,096	176,920
	Julho - Carr. Fora	400,75	0,08616125	1442,7	95,379
5 - Apenas VE	Janeiro	592,79	0,1274	2134,044	141,084
	Janeiro - Carr. Fora	292	0,06278	1051,2	69,496
	Julho	869,40	0,1869	3129,840	206,917
	Julho - Carr. Fora	526,4	0,113176	1895,04	125,2832
6 - PF+Bat+VE	Janeiro	435,74	0,0937	1568,664	103,706
	Janeiro - Carr. Fora	127,15	0,0273	457,740	30,262
	Julho	594,49	0,1278	2140,164	141,489
	Julho - Carr. Fora	251,8	0,0541	906,480	59,928

## 21. Ferramenta Computacional

Menu	
Bateria	Sim
P. Carreg. Máx. Bateria	1
VE	Sim
P. Carreg. Máx. VE	2,2
Capacidade	40
PV	Sim
VE- Carr fora	Não
VE- Carr Rede	Sim
% bat. Carr. Casa	80%
% desc. Bat	23

	t - h	N.En	PV	P-kW	Bateria		VE										
					Carregamento	Descarregamento	Oou 1	Descarr.	Carregam. PF	Consumo	Carregam. Fora	Carregam. Rede	Em casa a carreg. Rede				
0	0	0,4	0	0	Não	0	Sim	0,4	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
1	1	0,4	0	0	Não	0	Sim	0,4	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
2	2	0,4	0	0	Não	0	Sim	0,4	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
3	3	0,3	0	0	Não	0	Sim	0,3	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
4	4	0,3	0	0	Não	0	Sim	0,3	1	0	0				1,4	Sim	Em casa
5	5	0,3	0	0	Não	0	Sim	0,3	1	0	0				0	Sim	Em casa
6	6	0,3	0	0	Não	0	Sim	0,3	1	0	0				0	Sim	Em casa
7	7	1,4	0,120734	1,279266	Não	0	Não	0	0	0	0	4,1072					
8	8	0,8	0,403514	0,396486	Não	0	Não	0	0	0	0						
9	9	0,1	0,719172	0	Sim	0,619172	Não	0	0	0	0						
10	10	0,1	1,03503	0	Sim	0,93503	Não	0	0	0	0						
11	11	0,1	1,287223	-0,18722	Sim	1	Não	0	0	0	0						
12	12	0,1	1,44203	-0,34203	Sim	1	Não	0	0	0	0						
13	13	0,1	1,477314	-0,37731	Sim	1	Não	0	0	0	0						
14	14	0,1	1,394933	-0,29493	Sim	1	Não	0	0	0	0						
15	15	0,1	1,17772	-0,07772	Sim	1	Não	0	0	0	0						
16	16	0,1	0,863105	0	Sim	0,763105	Não	0	0	0	0						
17	17	2	0,508933	0,491067	Não	0	Sim	1	0	0	0				0		
18	18	1,9	0,161342	0,738658	Não	0	Sim	1	0	0	0	4,1072					
19	19	2,1	0	0	Não	0	Sim	0	1	2,1	0						Em casa
20	20	2,5	0	0	Não	0	Sim	0,3	1	2,2	0						Em casa
21	21	2,4	0	0	Não	0	Sim	0,2	1	2,2	0						Em casa
22	22	1,6	0	0	Não	0	Sim	0	1	1,6	0						Em casa
23	23	1,4	0	0	Não	0	Sim	0	1	1,4	0						Em casa
0	24	0,7	0	0	Não	0	Sim	0,7	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
1	25	0,6	0	0	Não	0	Sim	0,6	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
2	26	0,6	0	0	Não	0	Sim	0,6	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
3	27	0,5	0	0	Não	0	Sim	0,5	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
4	28	0,5	0	0	Não	0	Sim	0,5	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
5	29	0,5	0	0	Não	0	Sim	0,5	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
6	30	0,5	0	0	Não	0	Sim	0,5	1	0	0				2,2	Sim	Em casa
7	31	1	0,120734	0	Não	0	Sim	0,879266	0	0	0	4,1072					
8	32	0,8	0,403514	0	Não	0	Sim	0,396486	0	0	0						
9	33	0,1	0,719172	0	Sim	0,619172	Não	0	0	0	0						
10	34	0,1	1,03503	0	Sim	0,93503	Não	0	0	0	0						
11	35	0,1	1,287223	-0,18722	Sim	1	Não	0	0	0	0						
12	36	0,1	1,44203	-0,34203	Sim	1	Não	0	0	0	0						
13	37	0,1	1,477314	-0,37731	Sim	1	Não	0	0	0	0						
14	38	0,1	1,394933	-0,29493	Sim	1	Não	0	0	0	0						
15	39	0,1	1,17772	-0,07772	Sim	1	Não	0	0	0	0						
16	40	0,1	0,863105	0	Sim	0,763105	Não	0	0	0	0						
17	41	1,6	0,508933	0,091067	Não	0	Sim	1	0	0	0				0		
18	42	1,4	0,161342	0,238658	Não	0	Sim	1	0	0	0	4,1072					
19	43	1,7	0	0	Não	0	Sim	0	1	1,7	0						Em casa
20	44	2,5	0	0	Não	0	Sim	0,3	1	2,2	0						Em casa
21	45	2,4	0	0	Não	0	Sim	0,2	1	2,2	0						Em casa
22	46	1,6	0	0	Não	0	Sim	0	1	1,6	0						Em casa
23	47	1,4	0	0	Não	0	Sim	0	1	1,4	0						Em casa