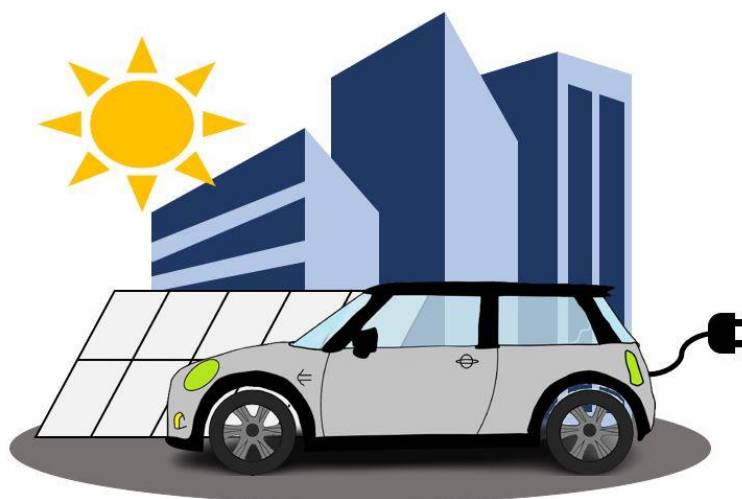




**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**



## **Impacte Energético de Alterações Funcionais em Edifícios NZEB**

**RAQUEL SANTOS MENDES DE CARVALHO**

(Licenciada em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientador (es):

Professor Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro  
Professor Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte

Júri:

Presidente: Professor Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão  
Vogais:

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

**Dezembro de 2022**

**Página propositadamente deixada em branco**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

## **Impacte Energético de Alterações Funcionais em Edifícios NZEB**

**RAQUEL SANTOS MENDES DE CARVALHO**  
(Licenciada em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientador (es):

Professor Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro  
Professor Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte

Júri:

Presidente: Professor Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão

Vogais:

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

**Dezembro de 2022**

**Página propositadamente deixada em branco**

## **Agradecimentos**

No âmbito da realização deste Trabalho Final de Mestrado, gostaria de agradecer, em primeiro lugar, ao Professor Gonçalo Duarte e ao Professor Joaquim Monteiro, na qualidade de meus orientadores, pelo apoio e disponibilidade demonstrados ao longo de todo o trabalho.

Agradeço também aos meus familiares, amigos e colegas do ISEL, por todo o apoio e motivação que, de um modo direto ou indireto, contribuíram para o desenvolvimento do presente trabalho.

**Página propositadamente deixada em branco**

## Resumo

O setor dos edifícios é responsável por 40% do consumo de energia final e 36% das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) na União Europeia. Nesse âmbito, tornou-se necessário introduzir o conceito de «Edifícios com necessidades quase nulas de energia» (NZEB). Estes edifícios combinam uma elevada eficiência energética com a produção de energia renovável, permitindo reduzir a dependência da rede elétrica, equilibrar a relação entre a produção e as necessidades energéticas do edifício, reduzir as emissões de GEE, etc.

O presente estudo tem como objetivo realizar uma análise energética e ambiental a um edifício de serviços, através da avaliação e da gestão de cargas do edifício e da combinação com energias renováveis. Foi desenvolvida uma ferramenta numérica, com vista a simular o comportamento do edifício, permitindo verificar o impacto da aplicação de diferentes medidas de eficiência energética, através do cálculo dos respetivos indicadores de eficiência energética, das emissões de CO<sub>2</sub> e das tarifas energéticas. Para isso, levaram-se em conta medidas como a instalação de painéis fotovoltaicos na coberturas e nas fachadas do edifício, o ajuste dos *set-points* de temperatura dos equipamentos de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), a melhoria da envolvente do edifício e a combinação de todas estas medidas com a mobilidade elétrica.

Os resultados obtidos para o edifício em análise indicam que as medidas aplicadas não são capazes de suprir a maior parte das necessidades das cargas implementadas neste edifício, não sendo possível atingir o objetivo NZEB, de acordo com a legislação em vigor. Contudo, na melhor situação, referente à combinação de todas as medidas referidas anteriormente, obteve-se, para o mês de janeiro, um IEE<sub>S</sub> de 614 gep/m<sup>2</sup>.semana e um R<sub>IEE</sub> de 0,92, correspondendo a uma classificação energética de B<sup>-</sup>. Para o mês de julho, o IEE<sub>S</sub> apresenta um valor de 947 gep/m<sup>2</sup>.semana e o R<sub>IEE</sub> situa-se nos 1,39, correspondendo a uma classe C. As emissões de CO<sub>2</sub> sofreram uma diminuição de 48,6% e 31,2%, respetivamente, em janeiro e em julho; e as tarifas energéticas uma redução de 45% e 27%, respetivamente.

**Palavras Chave:** NZEB, Eficiência Energética, Energias Renováveis, Painéis Fotovoltaicos, Mobilidade Elétrica, Sustentabilidade.

**Página propositadamente deixada em branco**

## Abstract

The building sector is responsible for 40% of final energy consumption and 36% of greenhouse gas emissions in European Union. In this context, it became necessary to introduce the concept of «Nearly Zero Energy Buildings» (NZEB). These buildings combine high energy efficiency with the on-site production of renewable energy, allowing the reduction of power grid dependency, balancing the relation between on-site production and energy demand of the building, reducing greenhouse gas emissions, etc.

This study aims at performing an energy and environmental analysis of a office building, through the evaluation and management of the building loads and the combination with renewable energies. A numerical tool was developed in order to simulate the building behaviour, allowing to verify the impact of the application of different energy efficiency measures, through the calculation of the energy efficiency indicators, CO<sub>2</sub> emissions and energy tariffs. In this context, it were taken in account measures such as the installation of photovoltaic panels on the roofs of the building and on its facades, the adjustment of the temperature set-points of HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) equipments, the improvement of the building envelope and the combination of all these measures with electric mobility.

The results obtained for the building under analysis indicate that the measures applied cannot supply the major demand of the loads implemented in the building, not being possible to achieve the NZEB goal, according to the legislation in force. However, in the best case, referring to the combination of all the measures mentioned before, an IEE<sub>S</sub> of 614 gep/m<sup>2</sup>.week and an R<sub>IEE</sub> of 0.92 were obtained for the month of january, corresponding to an energy rating of B-. For the month of July, the IEE<sub>S</sub> presents a value of 947 gep/m<sup>2</sup>.week and the R<sub>IEE</sub> is situated at 1.39, corresponding to a class C. CO<sub>2</sub> emissions decreased by 48.6% and 31.2 %, respectively, in January and July; and energy tariffs decreased by 45% and 27%, respectively.

**Keywords:** NZEB, Energy Efficiency, Renewables, Photovoltaic Panels, Electric Mobility, Sustainability.

**Página propositadamente deixada em branco**

## Simbologia

A	Área fotovoltaica	m <sup>2</sup>
A <sub>p</sub>	Área interior útil de pavimento	m <sup>2</sup>
EF	Energia final	MJ
E <sub>m</sub>	Emissões de CO <sub>2</sub>	tCO <sub>2</sub>
EP	Energia primária	tep
E <sub>REN,i</sub>	Consumo de energia por fonte <i>i</i> , a partir de fontes de origem renovável	kWh/ano
E <sub>S,i</sub>	Consumo de energia por fonte <i>i</i> para os usos do tipo S	kWh/ano
E <sub>T,i</sub>	Consumo de energia por fonte <i>i</i> para os usos do tipo T	kWh/ano
E <sub>total</sub>	Capacidade total da bateria	kWh
FC	Fator de conversão de kWh para tep	-
FC <sub>E</sub>	Fator de conversão de kWh para MJ	-
FE	Fator de emissão de GEE	-
F <sub>pu,i</sub>	Fator de conversão de energia útil para energia primária	kWh <sub>EP</sub> /kWh
HR	Humidade relativa	-
I	Irradiação solar	W/m <sup>2</sup>
IEE <sub>REN</sub>	Indicador de eficiência energética associado às cargas do tipo R	kgep/m <sup>2</sup> .ano
IEE <sub>S</sub>	Indicador de eficiência energética associado às cargas do tipo S	kgep/m <sup>2</sup> .ano
IEE <sub>T</sub>	Indicador de eficiência energética associado às cargas do tipo T	kgep/m <sup>2</sup> .ano
I <sub>MP</sub>	Corrente nominal	A
I <sub>SC</sub>	Corrente de curto-circuito	A
n	Número de lugares de estacionamento total do parque	-
N	Número total de lugares destinados ao carregamento de veículos elétricos	-
N <sub>i</sub>	Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil	kWh/m <sup>2</sup> .ano
N <sub>ic</sub>	Necessidades nominais anuais de energia útil	kWh/m <sup>2</sup> .ano
N <sub>it</sub>	Necessidades nominais anuais de energia primária	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
N <sub>p</sub>	Número de módulos PV/BIPV	-
P	Potência	W
P <sub>elctr</sub>	Potência elétrica	W
P <sub>term</sub>	Potência térmica	W

$R_{IEE}$	Rácio de classe energética	-
$SOC_{\text{atual}}$	Estado de carga	-
$T_{BH}$	Temperatura de bolbo húmido	°C
$T_{BS}$	Temperatura de bolbo seco	°C
$U$	Coeficiente global de transmissão térmica	W/m °C
$V_{MP}$	Tensão de potência máxima	V
$V_{OC}$	Tensão em circuito aberto	V
$w$	Humidade específica	g/kg

### **Símbolos químicos**

$CO_2$  – Dióxido de Carbono

$SO_x$  – Óxidos de Enxofre

$NO_x$  – Óxidos de Azoto

$CO$  – Monóxido de Carbono

## **Lista de Siglas e Acrónimos**

AQS – Aquecimento de Águas Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BIM – Modelação de Informação de Edifícios (*Building Information Modeling*)

BIPV – Painéis Fotovoltaicos Integrados em Edifícios (*Building Integrated Photovoltaics*)

CAV – Volume de Ar Constante (*Constante Air Volume*)

COP – Coeficiente de Desempenho (*Coefficient of Performance*)

CUR – Comercializadores de Último Recurso

DER – Recursos de Energia Distribuída (*Distributed Energy Resources*)

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DH – Aquecimento Urbano (*District Heating*)

EM – Estados Membro

EPBD – Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios (*Energy Performance of Buildings Directive*)

EPS – Poliestireno Expandido (*Expanded Polystyrene*)

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

ETICS – Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior (*External Thermal Insulation Composite System*)

FER – Fontes de Energia Renováveis

FS – Fator Solar

GEE – Gases de Efeito de Estufa

GSHP – Bomba de Calor de Origem Terrestre (*Ground Source Heat Pump*)

HAP – *Hourly Analysis Program*

ICB – Aglomerado de Cortiça (*Insulation Cork Board*)

IEE – Índice de Eficiência Energética

IV – Infravermelhos

LCA – Avaliação do Ciclo de Vida (*Life-Cycle Assessment*)

LED – Diodo Emissor de Luz (*Light-Emitting Diode*)

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MT – Média Tensão

NZEB – Edifício com Necessidades Quase Nulas de Energia (*Nearly Zero Energy Building*)

PCM – Materiais de Mudança de Fase (*Phase Change Materials*)

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima

PUR – Espuma de Poliuretano (*Polyurethanes*)

PV – Painéis Fotovoltaicos (*Photovoltaic*)

PVC – Policloreto de Vinil

PVT – Painéis Solares Térmicos (*Photovoltaic Thermal*)

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RNC2050 – Roteiro para Neutralidade Carbónica 2050

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética

SHS – Sistema Solar Térmico (*Solar Heating/Cooling System*)

SOC – Estado de Carga (*State of Charge*)

SVF – *Sky View Factor*

TES – Armazenamento de Energia Térmica (*Thermal Energy Storage*)

UE – União Europeia

UHI – Efeito da Ilha de Calor (*Urban Heat Island*)

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

UV – Ultravioleta

V2B – Veículo para o Edifício (*Vehicle to Building*)

V2G – Veículo para a Rede (*Vehicle to Grid*)

VAV – Volume de Ar Variável (*Variable Air Volume*)

VE – Veículo Elétrico

VIP – Painéis de Isolamento a Vácuo (*Vacuum Insulated Panels*)

WSHP – Bomba de Calor de Água (*Water Source Heat Pump*)

XPS – Poliestireno Extrudido (*Extruded Polystyrene*)

**Página propositadamente deixada em branco**

# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	iii
Abstract.....	v
Simbologia.....	vii
Lista de Siglas e Acrónimos.....	ix
Índice de Figuras.....	xvii
Índice de Tabelas.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Estrutura do Documento.....	3
2. Estado de Arte.....	5
2.1. Legislação.....	5
2.1.1. Legislação Europeia.....	5
2.1.2. Legislação Portuguesa.....	7
2.2. Soluções Técnicas de Eficiência Energética: Caminho para NZEB.....	14
2.2.1. Medidas de Eficiência Energética: Soluções Passivas.....	14
2.2.2. Medidas de Eficiência Energética: Soluções Ativas.....	23
2.2.3. Sistemas de aproveitamento de fontes de energia renovável.....	25
2.2.4. Sistemas de controlo e gestão.....	31
2.3. Mobilidade Elétrica.....	32
2.4. Exemplos de aplicação de soluções para transformação em edifícios NZEB.....	37
3. Metodologia.....	39
3.1. Caso de Estudo: Edifício de Serviços.....	40
3.2. Algoritmo da Ferramenta.....	42
3.2.1. Inputs.....	42

3.2.2.	Medidas de Racionalização de Energia e Gestão de Cargas .....	43
3.2.3.	Outputs .....	46
3.3.	Casos de Estudo .....	55
3.3.1.	Caso de Estudo 1: Implementação de Energias Renováveis .....	55
3.3.2.	Caso de Estudo 2: Alteração dos <i>Set-points</i> de Temperatura dos Equipamentos de Climatização .....	63
3.3.3.	Caso de Estudo 3: Melhoria das Envolventes do Edifício.....	73
3.3.4.	Caso de Estudo 4: Combinação de Todas as Medidas com a Mobilidade Elétrica	75
4.	Resultados.....	77
4.1.	Validação de Resultados .....	77
4.2.	Caso de Estudo 1: Implementação de Energias Renováveis .....	81
4.3.	Caso de Estudo 2: Alteração dos <i>Set-Points</i> de Temperatura dos Equipamentos de Climatização .....	84
4.4.	Caso de Estudo 3: Melhoria das Envolventes do Edifício.....	92
4.5.	Caso de Estudo 4: Combinação de Todas as Medidas com a Mobilidade Elétrica	95
4.5.1.	Análise do impacte das cargas do tipo R no $R_{IEE}$ .....	107
4.6.	Análise Ambiental: Emissões de CO <sub>2</sub> .....	111
4.7.	Análise da Fatura Energética .....	112
5.	Conclusões.....	115
5.1.	Perspetivas e Trabalho Futuro .....	120
	Referências Bibliográficas.....	121
	Anexos.....	129
	Anexo 1: Condições exteriores de projeto Lisboa.....	130
	Anexo 2: Normais climatéricas Lisboa .....	131
	Anexo 3: Irradiação diária Lisboa no meses de janeiro e de julho ( <i>Photovoltaic Geographical Information System</i> ) .....	132

Anexo 4: Características Painéis Fotovoltaicos TALLMAX Framed 144 (Trina Solar)	133
Anexo 5: Características Módulos BIPV BIPV-GG-M156-72 (Solar Innova).....	134
Anexo 6: Características do vidro COOL-LITE SKN 144 II (Saint-Gobain).....	135
Anexo 7: Características do Sistema weber.therm classic (Saint-Gobain) .....	136
Apêndices .....	137
Apêndice 1: Cálculo dos coeficientes U das envolventes .....	138
Apêndice 2: Determinação da potência horária produzida pela tecnologia fotovoltaica do edifício da EDP.....	139
Apêndice 3: Determinação da potência horária produzida pela tecnologia fotovoltaica do edifício Atrium Saldanha.....	140
Apêndice 4: Determinação da potência horária produzida pela tecnologia fotovoltaica do edifício Duque D'Ávila .....	141
Apêndice 5: Ciclo diário de energia elétrica para os meses de janeiro e julho .....	142

**Página propositadamente deixada em branco**

# Índice de Figuras

<b>Figura 2.1</b> - Legislação relativa aos edifícios NZEB na UE e em Portugal .....	11
<b>Figura 2.2</b> - Zonas climáticas de verão e de inverno em Portugal Continental [43] .....	15
<b>Figura 2.3</b> - Princípio de funcionamento de uma parede de Trombe para a situação de aquecimento (à esquerda) e de uma chaminé solar para a situação de arrefecimento (à direita) (adaptado de [41]) .....	17
<b>Figura 2.4</b> – Exemplo da implementação de um <i>greenroof</i> [45].....	18
<b>Figura 2.5</b> - Propriedades e funcionamento de <i>cool roofs</i> (adaptado de [47]) .....	19
<b>Figura 2.6</b> – Exemplos de sistemas de proteção (adaptado de [48]) .....	20
<b>Figura 2.7</b> – Exemplos de sistemas de sombreamento (adaptado de [48]) .....	21
<b>Figura 2.8</b> – Mecanismos de ventilação natural [49] .....	22
<b>Figura 2.9</b> – Exemplo da instalação de painéis fotovoltaicos [50].....	25
<b>Figura 2.10</b> - Representação esquemática de um sistema PVT (adaptado de [52]) .....	26
<b>Figura 2.11</b> - Exemplos de aplicação da tecnologia BIPV em fachadas (à esquerda) e em coberturas (à direita) [53] .....	27
<b>Figura 2.12</b> – Exemplo de coletor solar térmico [55].....	29
<b>Figura 2.13</b> – Estrutura de ligação entre a mobilidade elétrica e os edifícios (adaptado de [60]) .....	33
<b>Figura 2.14</b> – Esquema representativo de um sistema V2G (adaptado de [61]) .....	34
<b>Figura 3.1</b> – Algoritmo da ferramenta desenvolvida.....	39
<b>Figura 3.2</b> - Localização do edifício [68] .....	40
<b>Figura 3.3</b> – Localização do edifício (detalhe) [68] .....	40
<b>Figura 3.4</b> - Variáveis de entrada do algoritmo da ferramenta.....	42
<b>Figura 3.5</b> - Medidas de racionalização de energia e gestão de cargas .....	44
<b>Figura 3.6</b> - Variáveis de saída do algoritmo da ferramenta .....	46
<b>Figura 3.7</b> - Valores limite dos consumos globais específicos para edifícios de serviços existentes presentes na legislação (adaptado de [16]) .....	50
<b>Figura 3.8</b> - Intensidade de emissões de GEE pela geração de energia elétrica – Nível Europeu [75].....	51
<b>Figura 3.9</b> - Obtenção dos dados de irradiação e temperatura para a localização do edifício [72] .....	56
<b>Figura 3.10</b> - Esquema representativo da metodologia seguida no Caso de Estudo 3 ..	57
<b>Figura 3.11</b> - Coberturas do edifício (adaptado de [68]) .....	57

<b>Figura 3.12</b> - Determinação da área útil e disposição dos painéis na cobertura do 6º andar (adaptado de [68]).....	58
<b>Figura 3.13</b> - Determinação da área útil e disposição dos painéis na cobertura do 2º andar (adaptado de [68]).....	59
<b>Figura 3.14</b> - Distribuição dos painéis fotovoltaicos pelas coberturas do edifício (adaptado de [68]).....	59
<b>Figura 3.15</b> - Análise da evolução da radiação ao longo do dia na fachada a noroeste, através da ferramenta <i>SunCalc</i> [70] .....	60
<b>Figura 3.16</b> - Análise da evolução da radiação ao longo do dia na fachada a sudoeste, através da ferramenta <i>SunCalc</i> [70] .....	61
<b>Figura 3.17</b> – Representação esquemática da metodologia seguida no <i>software</i> HAP.	63
<b>Figura 3.18</b> – Representação genérica dos pisos do edifício (adaptado de [68]) .....	67
<b>Figura 3.19</b> - Componentes principais do sistema Weber.Therm Classic Saint-Gobain (adaptado de [88]).....	74
<b>Figura 4.1</b> - Validação de resultados: julho.....	79
<b>Figura 4.2</b> – Caso de Estudo 1: Potências geradas e consumidas (janeiro).....	81
<b>Figura 4.3</b> - Caso de Estudo 1: Evolução do IEEs (janeiro).....	82
<b>Figura 4.4</b> - Caso de Estudo 1: Evolução do R <sub>IEE</sub> (janeiro).....	82
<b>Figura 4.5</b> - Caso de Estudo 1: Potências geradas e consumidas (julho) .....	83
<b>Figura 4.6</b> - Caso de Estudo 1: Evolução do IEEs (julho).....	83
<b>Figura 4.7</b> - Caso de Estudo 1: Evolução do R <sub>IEE</sub> (julho).....	84
<b>Figura 4.8</b> – Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um <i>set-point</i> de 20 °C (janeiro) .....	85
<b>Figura 4.9</b> - Caso de Estudo 2: Evolução do R <sub>IEE</sub> para um <i>set-point</i> de 20 °C (janeiro)	85
<b>Figura 4.10</b> - Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um <i>set-point</i> de 19 °C (janeiro) .....	86
<b>Figura 4.11</b> - Caso de Estudo 2: Evolução do IEEs para um <i>set-point</i> de 19 °C (janeiro) .....	86
<b>Figura 4.12</b> - Caso de Estudo 2: R <sub>IEE</sub> para um <i>set-point</i> de 19 °C (janeiro) .....	86
<b>Figura 4.13</b> - Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um <i>set-point</i> de 18 °C (janeiro) .....	87
<b>Figura 4.14</b> - Caso de Estudo 2: Evolução do IEEs para um <i>set-point</i> de 18 °C (janeiro) .....	87

<b>Figura 4.15</b> - Caso de Estudo 2: Evolução do $R_{IEE}$ para um <i>set-point</i> de 18 °C (janeiro)	88
<b>Figura 4.16</b> – Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um <i>set-point</i> de 25 °C (julho)	88
<b>Figura 4.17</b> - Caso de Estudo 2: Evolução do $R_{IEE}$ para um <i>set-point</i> de 25 °C (julho)	89
<b>Figura 4.18</b> - Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um <i>set-point</i> de 26°C (julho)	89
<b>Figura 4.19</b> - Caso de Estudo 2: Evolução do IEEs para um <i>set-point</i> de 26 °C (julho)	90
<b>Figura 4.20</b> - Caso de Estudo 2: Evolução do $R_{IEE}$ para um <i>set-point</i> de 26 °C (julho)	90
<b>Figura 4.21</b> - Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um <i>set-point</i> de 27 °C (julho)	90
<b>Figura 4.22</b> - Caso de Estudo 2: Evolução do IEEs para um <i>set-point</i> de 27 °C (julho)	91
<b>Figura 4.23</b> - Caso de Estudo 2: Evolução do $R_{IEE}$ para um <i>set-point</i> de 27 °C (julho)	91
<b>Figura 4.24</b> – Caso de Estudo 3: Cargas geradas e consumidas (janeiro)	92
<b>Figura 4.25</b> - Caso de Estudo 3: Evolução do IEEs (janeiro)	93
<b>Figura 4.26</b> - Caso de Estudo 3: Evolução do $R_{IEE}$ (janeiro)	93
<b>Figura 4.27</b> - Caso de Estudo 3: Potências consumidas (julho)	93
<b>Figura 4.28</b> - Caso de Estudo 3: Evolução do IEEs (julho)	94
<b>Figura 4.29</b> - Caso de Estudo 3: Evolução do $R_{IEE}$ (julho)	94
<b>Figura 4.30</b> - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 10 VE no edifício (janeiro)	95
<b>Figura 4.31</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 10 VE no edifício (janeiro)	96
<b>Figura 4.32</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do $R_{IEE}$ para 10 VE no edifício (janeiro)	96
<b>Figura 4.33</b> - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 20 VE no edifício (janeiro)	97
<b>Figura 4.34</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 20 VE no edifício (janeiro)	98
<b>Figura 4.35</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do $R_{IEE}$ para 20 VE no edifício (janeiro)	98
<b>Figura 4.36</b> - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 40 VE no edifício (janeiro)	99
<b>Figura 4.37</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 40 VE no edifício (janeiro)	99
<b>Figura 4.38</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do $R_{IEE}$ para 40 VE no edifício (janeiro)	100
<b>Figura 4.39</b> - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 10 VE no edifício (julho)	100
<b>Figura 4.40</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 10 VE no edifício (julho)	101

<b>Figura 4.41</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do $R_{IEE}$ para 10 VE no edifício (julho)....	101
<b>Figura 4.42</b> - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 20 VE no edifício (julho) .....	102
<b>Figura 4.43</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 20 VE no edifício (julho) ...	102
<b>Figura 4.44</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do $R_{IEE}$ para 20 VE no edifício (julho)....	103
<b>Figura 4.45</b> - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 40 VE no edifício (julho) .....	103
<b>Figura 4.46</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 40 VE no edifício (julho) ...	104
<b>Figura 4.47</b> - Caso de Estudo 4: Evolução do $R_{IEE}$ para 40 VE no edifício (julho)..	104
<b>Figura 4.48</b> – Impacte da exposição solar no $R_{IEE}$ .....	108
<b>Figura 4.49</b> - Impacte da exposição solar no $R_{IEE}$ (coberturas).....	109
<b>Figura 4.50</b> - Impacte da exposição solar no $R_{IEE}$ (fachadas) .....	110

# Índice de Tabelas

<b>Tabela 3.1</b> - Consumos de energia a considerar no IEE <sub>S</sub> e no IEE <sub>T</sub> (adaptado de [25])	48
<b>Tabela 3.2</b> - Intervalos de valor de R <sub>IEE</sub> para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE dos modelos tipo Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços e Grandes Edifícios de Comércio e Serviços [73] .....	49
<b>Tabela 3.3</b> - Tarifa a aplicar pelo CUR aos clientes em MT (adaptado de [76]).....	53
<b>Tabela 3.4</b> - Ciclo diário para fornecimento de energia elétrica em Portugal Continental em 2022 (adaptado de [77]).....	53
<b>Tabela 3.5</b> – Tarifas médias indicativas – Energias renováveis (adaptado de [78]).....	54
<b>Tabela 3.6</b> - Características do modelo de painel fotovoltaico TALLMAX .....	60
<b>Tabela 3.7</b> - Características dos modelos de módulos fotovoltaicos [80] .....	62
<b>Tabela 3.8</b> - Condições exteriores de projeto [81].....	64
<b>Tabela 3.9</b> – Condições psicométricas às 9h e 18h de cada mês para a cidade de Lisboa [83] .....	65
<b>Tabela 3.10</b> – Temperaturas de bolbo seco e de bolbo húmido de cada mês para a cidade de Lisboa [83].....	65
<b>Tabela 3.11</b> - Correção dos perfis de radiação [69][72] .....	66
<b>Tabela 3.12</b> – Caracterização geral dos espaços do edifício .....	69
<b>Tabela 3.13</b> – Caracterização das envolventes do edifício .....	70
<b>Tabela 3.14</b> - Caracterização dos vãos envidraçados (adaptado de [67]).....	70
<b>Tabela 3.15</b> - Resumo da aplicação do Caso de Estudo 2 .....	71
<b>Tabela 3.16</b> - Caracterização dos vãos envidraçados após a sua substituição (adaptado de [67]) .....	73
<b>Tabela 3.17</b> - Caracterização das envolventes do edifício após a sua melhoria.....	75
<b>Tabela 4.1</b> - Validação de resultados: julho.....	78
<b>Tabela 4.2</b> - Validação de resultados - valores de pico .....	79
<b>Tabela 4.3</b> – Resumo dos resultados obtidos nos diferentes casos de estudo.....	105
<b>Tabela 4.4</b> – Análise de emissões de CO <sub>2</sub> .....	111
<b>Tabela 4.5</b> – Custo da fatura energética.....	113

**Página propositadamente deixada em branco**

# 1. Introdução

## 1.1. Motivação

Ao longo das últimas décadas, tem-se verificado um aumento significativo do consumo energético a nível mundial. Para além deste problema ser, por si só, uma preocupação cada vez maior para as políticas energéticas dos diferentes países, há a agravante de grande parte dessa energia ser proveniente da queima de combustíveis fósseis (petróleo e derivados, carvão e gás natural, etc.), contribuindo para o surgimento de graves problemas ambientais, resultantes da emissão de Gases de Efeito de Estufa (GEE). No que à emissão de GEE diz respeito, os níveis atuais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera representam uma ameaça à estabilidade do planeta, provocando alterações climáticas severas, que podem vir a ter repercussões catastróficas a nível global [1][2].

Associada a esta problemática está a dependência energética, sendo a grande maioria das nações, incluindo Portugal, dependente da importação de fontes de energia por parte de um número muito reduzido de países produtores, para satisfazer as suas necessidades energéticas internas. Em 2020, por exemplo, a dependência energética de Portugal foi de 65,8%, sendo considerado o 11º país com a maior dependência da União Europeia (UE), cuja média foi de 57,5% [3]. Nesse âmbito, o agravamento das alterações climáticas, provocado pelo aquecimento global e pelo aumento das emissões de GEE, assim como a dependência energética da UE e dos seus Estados Membros (EM), levou à necessidade da mudança de paradigma no que ao consumo energético diz respeito. Nesse contexto, a transição energética, alavancada por medidas de eficiência energética e pelo incentivo à produção de energia através de fontes renováveis, definiu-se como um objetivo principal das políticas mundiais e europeias [4].

O setor dos edifícios é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia na UE, constituindo cerca de 40% do consumo final e 36% da emissão de GEE e, por isso, é um dos setores com maior potencial de redução de consumo energético [5]. Além do mais, tratando-se de um setor em expansão, é expectável que o respetivo consumo energético acompanhe esse crescimento, assim como as correspondentes emissões de CO<sub>2</sub>, sendo, por isso, crucial encontrar mecanismos que permitam uma utilização mais racional da energia.

Deste modo, a política energética europeia tem sofrido uma constante evolução, incluindo progressivamente mais medidas que encorajam a eficiência energética e a produção de energia renovável neste setor, procurando obter edifícios eficientes, capazes de satisfazer as suas próprias necessidades energéticas. Nesse sentido, surgiu a necessidade de se introduzir, através da Diretiva 2010/31/EU [5], relativa ao desempenho energético dos edifícios, o conceito de «edifícios com necessidades quase nulas de energia» - NZEB (*Nearly Zero Energy Buildings*) - uma vez que conciliam, precisamente, uma elevada eficiência energética com a produção de energia renovável, assumindo um papel cada vez mais crucial nas políticas energéticas.

Para além do setor dos edifícios, também o setor dos transportes tem vindo a contribuir significativamente para as emissões de GEE em todo o mundo, principalmente devido à utilização massiva de motores de combustão interna. Este setor é responsável por uma grande parte do consumo energético final (cerca de 32,6%, em Portugal) [3], assim como pela emissão de poluentes associados como SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO e partículas. Uma vez que se trata de uma questão crítica a nível energético e ambiental, é importante adotar estratégias que promovam a redução do impacto deste setor, tendo vindo os veículos elétricos (VE) a tornar-se uma opção cada vez mais promissora, fortemente impulsionada pelas políticas energéticas europeias [6]. Aliada à crescente utilização de veículos elétricos, em detrimento dos veículos com motores de combustão interna, a inclusão da mobilidade elétrica no setor dos edifícios é um dos grandes objetivos atuais, permitindo conciliar edifícios eficientes, capazes de suprir as suas necessidades com energia produzida a partir de fontes renováveis, com o carregamento dos veículos elétricos através dessa energia. Deste modo, combinando os edifícios NZEB com a mobilidade elétrica, conciliados muitas vezes com dispositivos de armazenamento de energia, é possível equilibrar a relação entre a produção e o consumo energético do edifício, permitindo igualmente reduzir a necessidade de recorrer à rede elétrica. Esta conjugação permite, assim, atingir um novo patamar de eficiência energética, promovendo a produção de energia a partir de fontes renováveis, o que resulta, não só na redução das emissões de GEE, como na redução da dependência energética.

Nesse sentido, desenvolveu-se uma ferramenta numérica cujo objetivo passa por realizar uma análise energética e ambiental, permitindo efetuar uma gestão das cargas e da produção de energia no edifício, com vista à verificação do impacto da implementação das diferentes medidas de eficiência energética adotadas no edifício em estudo.

## **1.2. Objetivos**

No âmbito da melhoria da eficiência energética no setor dos edifícios, o objetivo do presente trabalho passa por implementar medidas de eficiência energética num edifício de serviços, construído nos anos 80, na cidade de Lisboa, procurando que este se torne autossuficiente do ponto de vista energético, através do equilíbrio do balanço entre a energia produzida e a energia consumida pelo mesmo. Com vista a atingir esse objetivo, as áreas passíveis de intervenção são, maioritariamente, as áreas de projeto, os sistemas elétricos e a integração da mobilidade elétrica com a rede elétrica e com os edifícios. Deste modo, pretende-se desenvolver uma ferramenta numérica que permita realizar uma avaliação das soluções de projeto e de gestão de cargas que podem ser implementadas no edifício, de modo que este se aproxime do conceito NZEB. Pretende-se também, com essa aplicação informática, determinar e avaliar os indicadores de eficiência energética resultantes da implementação das diversas medidas de eficiência energética implementadas no edifício.

## **1.3. Estrutura do Documento**

O presente documento encontra-se dividido em cinco capítulos, apresentando-se, no primeiro capítulo (Introdução), a motivação e os objetivos da dissertação, onde se realiza uma caracterização geral do panorama do tema a tratar.

No segundo capítulo (Estado de Arte), descrevem-se as políticas energéticas que têm vindo a ser adotadas no setor dos edifícios, apresentando-se, nesse âmbito, a evolução da legislação nacional e europeia aplicável aos edifícios NZEB. As soluções técnicas de eficiência energética passíveis de serem implementadas em edifícios, de modo a ser alcançada a meta NZEB, são também apresentadas neste capítulo. Essas soluções encontram-se relacionadas, entre outros, com os materiais de construção, os equipamentos de climatização e a gestão técnica dos edifícios, baseando-se, essencialmente, na melhoria da eficiência energética e no aproveitamento de energia de fonte renovável. Neste capítulo, é abordada ainda a mobilidade elétrica e a sua integração na rede e nos edifícios, o que pode, igualmente, contribuir para o objetivo NZEB.

No capítulo 3 (Metodologia), apresenta-se a metodologia seguida para o desenvolvimento da ferramenta numérica.

Primeiramente, apresenta-se o caso de estudo a ser tratado, caracterizando devidamente o edifício em causa, através da descrição dos seus aspetos construtivos e da caracterização dos seus consumos energéticos, a partir dos quais se realizará um levantamento das medidas de eficiência energética que podem ser aplicadas, de modo a aproximar o edifício da meta NZEB. Nesse âmbito, serão considerados quatro casos de estudo: o primeiro, tendo apenas em consideração a implementação da tecnologia fotovoltaica nas coberturas e nas fachadas do edifício; o segundo, tendo em conta o ajuste dos *set-points* de temperatura dos equipamentos de climatização; o terceiro, em que se considera a melhoria das envolventes do edifício, através da substituição dos vãos envidraçados e da melhoria do isolamento das envolventes opacas; e, por fim, a inclusão da mobilidade elétrica na gestão de cargas do edifício, conciliada com todas as medidas referidas anteriormente. Deste modo, neste capítulo, apresenta-se a metodologia aplicada para se atingir esse objetivo, assim como a ferramenta utilizada para o mesmo.

No capítulo 4 (Resultados), apresentam-se os resultados obtidos para cada caso de estudo. Além de se procurar a validação dos mesmos, avalia-se o impacto da aplicação de cada medida, através da determinação dos respetivos indicadores de eficiência energética, das emissões de CO<sub>2</sub> e das tarifas energéticas resultantes dessa aplicação.

Por fim, no quinto capítulo (Conclusões), são apresentadas as principais conclusões do trabalho realizado, assim como as perspetivas de melhoria futura.

## 2. Estado de Arte

Neste capítulo, aborda-se a evolução das políticas energéticas adotadas, com vista a melhorar a eficiência energética, nomeadamente no setor dos edifícios, apresentando-se a legislação aplicável aos edifícios NZEB (*Nearly Zero Energy Building*), tanto a nível nacional, como a nível europeu. Para além disso, apresenta-se um conjunto de soluções técnicas de eficiência energética, passíveis de aplicação num edifício, de modo a atingir a meta NZEB, privilegiando as medidas de eficiência energética e o aproveitamento da energia de fontes renováveis. Por fim, faz-se um breve enquadramento do que tem sido feito na mobilidade elétrica, nomeadamente, no que diz respeito à sua integração com a rede e com os edifícios, contribuindo, igualmente, para o cumprimento do objetivo NZEB.

### 2.1. Legislação

#### 2.1.1. Legislação Europeia

No que à legislação europeia diz respeito, a diretiva EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) visa promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na UE, estabelecendo, para isso, um conjunto de medidas cujo objetivo passa por reduzir o consumo energético, nomeadamente, através do recurso a fontes de energia renováveis (FER) [7].

No seguimento do Protocolo de Quioto, assinado em 1997, foi publicada, a 16 de dezembro de 2002, a Diretiva 2002/91/CE [7], a primeira diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, que definia, entre outras coisas, os requisitos relativos à metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios; à aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios e dos edifícios existentes que sejam submetidos a importantes obras de renovação; à certificação energética dos edifícios e à inspeção regular de caldeiras, instalação de ar condicionado nos edifícios e avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos [7]. Em 2007, o Conselho Europeu aplicou o “Plano de Ação para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial”, com o objetivo de reduzir em 20% o consumo de energia até ao ano de 2020, face aos valores de 1990, através do aumento da eficiência energética [8].

Com vista a cumprir as exigências do Protocolo de Quioto, que visa essencialmente a redução das emissões de GEE, para o qual constituem fatores cruciais o controlo do consumo energético e a crescente utilização de energia proveniente de fontes renováveis, publicou-se, em 2009, a Diretiva 2009/28/CE [9]. Este documento aborda a promoção da utilização de energia renovável e estabelece objetivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia renovável no consumo final bruto de energia e para a quota de energia renovável consumida pelos transportes [9].

A Diretiva 2002/91/CE [7] foi reformulada na Diretiva 2010/31/UE [5], de maio de 2010, reforçando o objetivo de reduzir a dependência energética da UE, reduzir o consumo energético, nomeadamente através da utilização de energia proveniente de fontes renováveis e, conseqüentemente, da redução de emissões de GEE. Foi introduzido o conceito de «edifício com necessidades quase nulas de energia», definido, de acordo com artigo 2º, como um edifício com um desempenho energético muito elevado, cujas necessidades de energia, quase nulas ou muito pequenas, devem ser cobertas maioritariamente por energia proveniente de fontes renováveis, produzida no local ou nas proximidades. Este documento estabelece que os Estados Membros devem elaborar planos nacionais para aumentar o número de edifícios NZEB, definindo, no artigo 9º, que todos os novos edifícios, ocupados e detidos por autoridades públicas, sejam NZEB até 31 de dezembro de 2018; e ainda que todos os edifícios novos sejam NZEB até 31 de dezembro de 2020. Salienta-se que na EPBD não se define uma abordagem específica para a implementação dos edifícios NZEB, sendo responsabilidade de cada EM desenvolver a sua própria definição de NZEB, de acordo com as condições nacionais, regionais ou locais dos edifícios, incluindo um indicador numérico do uso de energia primária (em kWh/m<sup>2</sup>.ano) [5].

Em 2012, publicou-se a Diretiva 2012/27/UE [10], relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE [11] e 2010/31/UE [5], estabelecendo um quadro comum de medidas de promoção de eficiência energética, com vista a assegurar o objetivo da UE de atingir 20% em matéria de eficiência energética até 2020 e de preparar caminho para novas melhorias nesse domínio [10].

Na sequência da Diretiva 2010/31/UE [5], foi publicada a 30 de maio de 2018, a Diretiva 2018/844/UE [12], que veio alterar a Diretiva 2010/31/UE [5], relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE [10], que aborda a eficiência energética.

Com vista a atingir a descarbonização do parque imobiliário e a reduzir a dependência energética da UE, definiram-se metas a curto (2030), médio (2040) e a longo prazo (2050). Pretende-se reduzir as emissões de GEE em, pelo menos, 40% até 2030 e entre 80 e 95% até 2050 [12], face aos valores de 1990, assim como aumentar o consumo de energias renováveis, garantir a segurança energética, a competitividade e sustentabilidade na Europa.

Esta diretiva visa acelerar o processo de renovação do parque imobiliário, estabelecendo estratégias de melhoria do desempenho energético, garantindo o progresso necessário à transformação dos edifícios existentes em edifícios com necessidades quase nulas de energia, o que permite, entre outros aspetos, a melhoria do nível de conforto térmico e a qualidade do ar interior (QAI). Incluem-se também medidas que procuram integrar sistemas relativos à mobilidade elétrica, nomeadamente, a instalação de pontos de carregamento e/ou infraestruturas de condutas para futura instalação dos pontos de carregamento, dependendo da categoria dos edifícios e da dimensão dos parques de estacionamento dos mesmos [12].

Em dezembro de 2018, publicou-se a Diretiva (UE) 2018/2001 [4], que reformula a Diretiva 2009/28/CE [9], relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, e que se encontra em vigor desde janeiro de 2021. Esta diretiva fixa uma meta vinculativa da UE para a quota global de energia renovável no consumo final bruto de energia em 2030 de, pelo menos, 32%. Estabelece também regras relativas a apoios financeiros à eletricidade de fontes renováveis, ao autoconsumo dessa eletricidade, à utilização de energia de fontes renováveis nos setores do aquecimento e do arrefecimento e no setor dos transportes, entre outros. Nesse sentido, é responsabilidade dos EM definir o respetivo contributo de forma a alcançar os objetivos impostos pela UE, como parte dos seus planos nacionais em matéria de energia e clima [4].

### **2.1.2. Legislação Portuguesa**

À semelhança do que acontece na UE, também a legislação portuguesa tem sofrido uma constante evolução ao longo dos anos, nomeadamente, no que à preocupação com a eficiência energética do setor dos edifícios diz respeito. O primeiro passo nesse sentido foi dado em 1990, com a formulação do Decreto-Lei nº 40/90 [13], relativo ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Nesse documento, definiam-se os aspetos a ter em conta no projeto de edifícios, de modo a que as exigências de conforto térmico fossem cumpridas, sem que, para isso, fosse necessário um consumo excessivo. A partir desse momento, Portugal tem acompanhado a legislação europeia, transpondo as Diretivas 2002/91/CE [7], 2010/31/UE [5] e 2018/844/UE [12], adaptando-as às particularidades locais.

A satisfação das necessidades de conforto térmico e de qualidade do ambiente interior dos edifícios implica, em geral, o recurso a meios de ventilação, aquecimento, arrefecimento, humidificação e desumidificação. Nesse âmbito, em maio de 1998, publicou-se o Decreto-Lei nº 118/98 [14], onde se aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), que definia medidas relativas ao dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos, com vista a melhorar o desempenho energético dos edifícios e a garantir o cumprimento das exigências ambientais, assim como a utilização racional de energia [14].

No âmbito da Diretiva 2002/91/CE (EPBD 2002) [7], foram publicados, em 2006, o Decreto-Lei nº 78/2006 [15], no qual se aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE); o Decreto-Lei nº 79/2006 [16], no qual se aprovou o RSECE; e o Decreto-Lei nº 80/2006 [17], no qual se aprovou o RCCTE. Estes três decretos exprimem a preocupação em definir medidas que melhorem a qualidade de construção, bem como as condições de conforto térmico, sem que para isso seja necessário aumentar o consumo energético.

Com a publicação da Diretiva 2009/28/CE [9], de 2009, estabeleceu-se a obrigatoriedade de cada EM submeter um plano nacional de promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis [9]. Nesse âmbito, Portugal adotou o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) [18], documento que fixa metas nacionais relativas à quota proveniente de FER, consumida no setor dos transportes, eletricidade e aquecimento e arrefecimento para 2020. Para esse ano, Portugal comprometeu-se a atingir uma meta global de 31% de energias renováveis no consumo final de energia (tendo sido alcançado esse objetivo, com as energias renováveis a representarem 34% do consumo de energia final [3]) e 10% para o consumo final de energia nos transportes [18].

No seguimento da publicação da Diretiva 2010/31/UE (EPBD 2010) [5], e procurando acompanhar as medidas relativas ao desempenho energético dos edifícios, tendo em vista a redução do correspondente consumo energético, foi publicado, em 2013, o Decreto-Lei nº 118/2013 [19], que aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e transpõe a Diretiva 2010/31/UE [19].

No artigo 16º do Decreto-Lei nº 118/2013 [19], define-se um conjunto de disposições relativas aos edifícios NZEB, estabelecendo que o parque edificado deve progressivamente ser composto por este tipo de edifícios, com vista à implementação e execução de um plano nacional de reabilitação do parque de edifícios existentes para que atinjam os requisitos de edifícios NZEB e enquadrando a definição nacional de edifício NZEB. É também neste documento reforçada a meta definida na Diretiva 2010/31/UE [5] de que todos os novos edifícios, ocupados e detidos por autoridades e autoridades públicas, sejam NZEB até 31 de dezembro de 2018; e ainda que todos os edifícios novos sejam NZEB até 31 de dezembro de 2020 [19].

Este Decreto-Lei foi posteriormente alterado pelos Decretos-Leis 68-A/2015 [20], de 30 de abril, o 194/2015 [21], de 14 de setembro, o 251/2015 [22], de 25 de novembro, o 28/2016 [23], de 23 de junho e pela Lei nº 52/2018 [24], de 20 de agosto.

Com vista a estabelecer os requisitos de desempenho para os edifícios e seus sistemas de climatização, publicaram-se a Portaria nº 349-D/2013 [25] (retificada pela Declaração de Retificação nº 3/2014 [26], alterada pela Portaria nº 17-A/2016 [27] e nº 42/2019 [28]), que define os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a intervenção e dos edifícios existentes; e a Portaria nº 349-B/2013 [29] (alterada pela Portaria nº 379-A/2015 [30], pela Portaria nº 319/2016 [31] e pela Portaria nº 98/2019 [32]), que define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção [33].

Atualmente, no que diz respeito aos edifícios NZEB, e no âmbito do ambiente e transição energética, encontram-se então em vigor a Portaria nº 379-A/2015 [30] e a Portaria nº 98/2019 [32], que procedem à alteração da Portaria nº 349-B/2013 [29] e que definem novos requisitos e exigências NZEB nos edifícios de habitação, e a Portaria nº 42/2019 [28], relativa aos edifícios de comércio e serviços. A Portaria nº 379-A/2015 [30] expressa os requisitos de qualidade térmica da envolvente, em termos de coeficiente global de transmissão de calor da envolvente, que determina a quantidade de calor transmitida através de uma superfície.

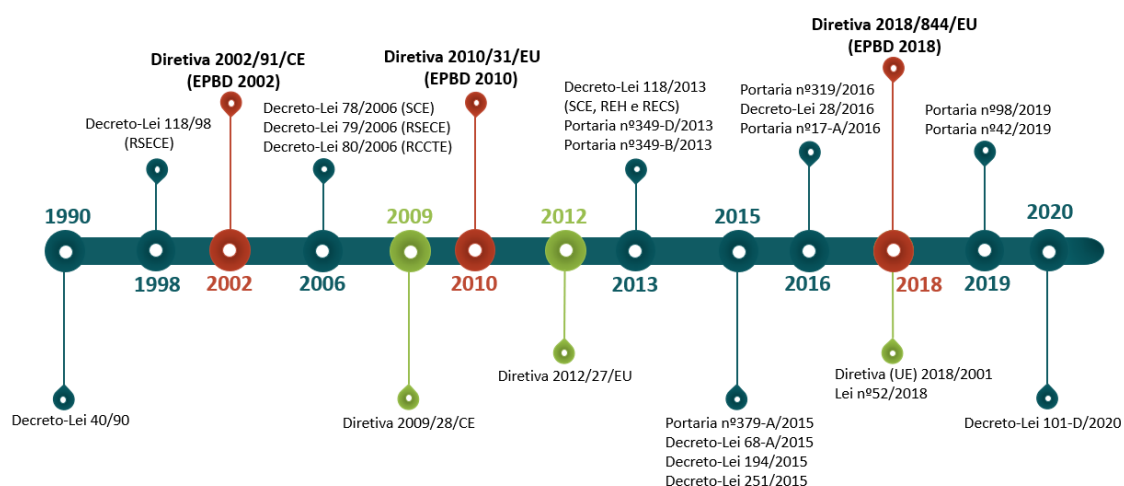
Por outro lado, é na Portaria nº 98/2019 [32] que se define totalmente o conceito NZEB aplicado aos edifícios de habitação, através de dois pontos: necessidades energéticas e aproveitamento de FER. Quanto às necessidades energéticas, é estabelecido que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) para edifícios de necessidades quase nulas deve ser inferior ou igual a 75% do seu valor máximo ( $N_i$ ) e que o valor das necessidades energéticas nominais de energia primária ( $N_{tc}$ ) deve ser inferior ou igual a 50% do seu valor máximo ( $N_i$ ). Relativamente ao aproveitamento de FER, estabelece que os sistemas destinados a esse efeito devem suprir pelo menos 50 % das necessidades anuais de energia primária [32].

A Portaria nº 42/2019 [28], por sua vez, altera a Portaria nº 349-D/2013 [25] e define os valores máximos do Indicador de Eficiência Energética (IEE) e do Rácio de Classe Energética ( $R_{IEE}$ ) para edifícios de comércio e serviços novos e sujeitos a grande intervenção, em função do contexto do edifício. Para edifícios NZEB, define-se um IEE igual ou inferior a 75% e um  $R_{IEE}$  igual ou inferior a 0,5 [28].

Através das sucessivas alterações à legislação, estabelecendo medidas progressivamente mais restritas, Portugal tem demonstrado o esforço em acompanhar as políticas europeias e a ambição de alcançar a transição energética. Deste modo, em maio de 2020, definiu, através do Plano Nacional de Energia e Clima para o período de 2021 a 2030 (PNEC 2030) [34], objetivos nacionais para as emissões de GEE, energias renováveis e eficiência energética. Relativamente às emissões de GEE, pretende-se atingir uma redução de 45 a 55% face a 2005. Para as energias renováveis, estabeleceu-se uma meta de 47% no consumo final de energia e para a eficiência energética, definiu-se como objetivo um aumento de 35%. Destaca-se ainda a aposta na mobilidade sustentável, como a promoção das transferências modais para o transporte público, a reconversão de frotas e a aposta na mobilidade elétrica [34].

Em 2020, o Decreto-Lei nº 101-D/2020 [35], de 7 de dezembro, veio transpor a Diretiva 2018/844/UE [12] e parcialmente a Diretiva 2019/944/UE [36], estabelecendo os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regulando o SCE. Neste documento, incluem-se ainda os requisitos técnicos e energéticos aplicados aos edifícios de habitação, comércio e serviços, novos e renovados [35].

Na Figura 2.1, encontra-se representada a evolução da legislação relativa aos edifícios NZEB, na UE e em Portugal.



**Figura 2.1 -** Legislação relativa aos edifícios NZEB na UE e em Portugal

### Mobilidade Elétrica

No que à mobilidade elétrica diz respeito, Portugal tem vindo, ao longo dos anos, a adaptar a sua legislação às medidas adotadas pela legislação europeia, nomeadamente a Diretiva 2014/94/UE [6], de 22 de outubro de 2014, onde se define um quadro comum de medidas aplicáveis à criação de infraestruturas para combustíveis alternativos na UE, incluindo, entre outros, os pontos de carregamento de veículos elétricos, com vista a minimizar a dependência energética e atenuar o impacte ambiental do setor dos transportes [6].

Nesse âmbito, em Portugal, foi publicado o Decreto-Lei nº 39/2010 [37], de 26 de junho, alterado posteriormente pelo Decreto-Lei nº 90/2014 [38], cujo objetivo era estabelecer a organização, o acesso e o exercício das atividades de mobilidade elétrica e criar condições jurídicas indispensáveis para o estabelecimento de uma rede piloto de mobilidade elétrica, procurando facilitar a massificação da utilização do veículo elétrico em Portugal.

No Decreto-Lei nº 90/2014 [38], de 11 de junho, procedeu-se à alteração do paradigma do carregamento dos veículos elétricos, com o recurso a pontos de carregamento de acesso privativo a assumir especial importância.

Nesse seguimento, definem-se, na Portaria nº 220/2016 [39], de 10 de agosto de 2016, as potências mínimas a considerar no dimensionamento das instalações de carregamento de veículos elétricos em edifícios, assim como as regras técnicas a que estas instalações devem obedecer. Estabelece-se uma potência mínima de 3680 VA por ponto de conexão de veículo elétrico, sendo que, no caso dos parques de estacionamento, a potência mínima a disponibilizar para o carregamento é determinada pela multiplicação do número total de lugares destinados ao carregamento de veículos elétricos ( $N$ ) por esse valor de potência unitária. O valor de  $N$  é obtido através da equação (2.1) [39].

$$N = [0,9 + 0,1 \times n] \quad (2.1)$$

Em que ( $n$ ) é o número de lugares de estacionamento total do parque.

Em 2021, através do ponto 8 (do Anexo II), relativo às infraestruturas de carregamento de veículos elétricos, da Portaria nº 138-I/2021 [40], de 1 de julho, que regulamenta «os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação, em função do tipo de utilização e específicas características técnicas», transpôs-se para a legislação nacional as medidas previamente definidas na EU para a mobilidade elétrica no setor dos edifícios.

Nesse âmbito, define-se o objetivo claro de apostar na conversão do parque automóvel para veículos elétricos, em concordância com a transição energética em curso na mobilidade. Esta Portaria estabelece que todos os edifícios novos, ou sujeitos a grandes intervenções, no setor residencial devem ter previstas infraestruturas de carregamento de veículos para todos os lugares de estacionamento, enquanto os edifícios novos, ou sujeitos a grandes intervenções, do setor de comércio e serviços devem prever infraestruturas para, pelo menos, um em cada cinco lugares de estacionamento, bem como a instalação de, no mínimo, dois pontos de carregamento [40], conforme previsto no artigo 28º do Decreto-Lei nº 39/2010 [37], na sua redação atual.

Nesse contexto, estabelece-se ainda, no artigo 14º do Decreto-Lei nº 101-D/2020 [35], de 7 de dezembro, que, até 31 de dezembro de 2024, todos os edifícios do setor de serviços e comércio com mais de 20 lugares de estacionamento, devem estar equipados com, pelo menos, dois pontos de carregamento, sendo igualmente aplicável o disposto no Decreto-Lei nº 39/2010 [37].

Por outro lado, os edifícios existentes antes da entrada em vigor desta legislação passam a estar abrangidos por requisitos de mobilidade elétrica. Através da Portaria nº 138-I/2021 [40], define-se igualmente que as infraestruturas de carregamento de veículos elétricos instalados em edifícios devem dispor de sistemas de contagem de energia, assim como de um sistema de controlo de carga, conforme previsto na Portaria nº 220/2016 [39].

## **2.2. Soluções Técnicas de Eficiência Energética: Caminho para NZEB**

Com vista a atingir os requisitos NZEB num edifício, devem ser tidos em conta, por um lado, a aplicação de medidas de eficiência energética, relacionadas com a envolvente do edifício, serviços e condições interiores e, por outro lado, a autossuficiência energética, associada à utilização de FER. As soluções técnicas a adotar num edifício de forma a serem atingidos esses requisitos podem dividir-se em três categorias: medidas de eficiência energética, destinadas a reduzir a demanda energética e distinguidas entre ativas e passivas; utilização de energia proveniente de fontes renováveis, para redução do fornecimento de energia; e sistemas de controlo [41].

No que diz respeito aos novos edifícios, a constante evolução e melhoria das soluções técnicas, bem como as sucessivas atualizações da regulamentação, têm permitido, ao longo dos anos, melhorar o seu desempenho energético. Neste tipo de edifícios, a seleção de medidas técnicas a adotar é realizada, tendo em vista o equilíbrio entre os requisitos energéticos, fortemente influenciados pela legislação, e o nível de conforto térmico. Relativamente ao objetivo de redução do consumo energético neste setor, os edifícios existentes assumem um papel determinante, uma vez que se encontram em maior número que os edifícios novos e apresentam, de um modo geral, um fraco nível de desempenho energético. Deste modo, várias políticas adotadas em diferentes países apoiam a reabilitação de edifícios, promovendo a difusão de tecnologias modernas para a melhoria do desempenho energético, permitindo reduzir o seu impacto ambiental, económico e social. Neste tipo de edifícios, deve ser dada maior atenção às características do próprio edifício e, ainda que a redução das necessidades energéticas seja uma condição determinante, devem ser tidas em conta as condições e a viabilidade económica de cada intervenção [41].

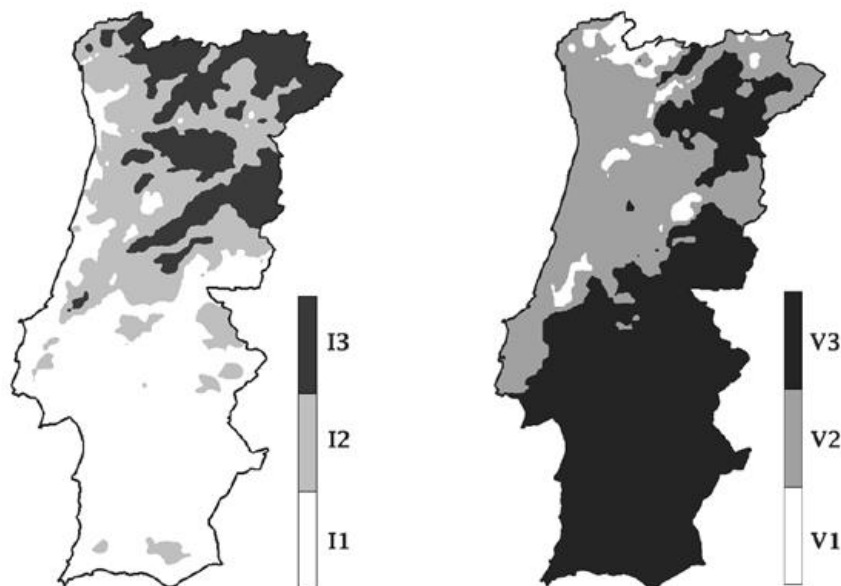
### **2.2.1. Medidas de Eficiência Energética: Soluções Passivas**

As soluções passivas constituem medidas relativas ao edifício e à sua envolvente, tendo em conta, entre outras coisas, os seus aspetos construtivos. As estratégias mais comuns para a melhoria do desempenho energético da envolvente de um edifício estão, essencialmente, relacionadas com o seu isolamento térmico, com os vãos envidraçados e com sistemas de revestimento de telhados [41].

### 2.2.1.1. Forma, Localização e Orientação do Edifício

Fatores como a forma, a localização e a orientação de um edifício são cruciais no desempenho energético do mesmo. No que diz respeito à forma, verifica-se que é através das superfícies que estão em contacto com o exterior do edifício que se dá a maior transferência de calor, sendo que, quanto maior for a superfície que envolve o volume do edifício, maior será a transferência de calor entre o exterior e o interior do mesmo, portanto, o seu fator de forma, que descreve a relação superfície/volume, deve ser o mais baixo possível [42].

A localização e as condições climáticas que lhe são inerentes são também fatores com um forte impacto nas necessidades térmicas de um edifício. Estabelecem-se, no Despacho nº15793-F/2013 [43] do Decreto-Lei nº 118/2013 [19], os parâmetros para o zonamento climático em Portugal, onde se definem três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3), conforme se mostra na Figura 2.2, correspondendo as zonas I1 a locais com menores necessidades de aquecimento no inverno, enquanto as zonas I3 terão necessidades mais elevadas. Analogamente, as zonas V1 correspondem a locais com menores necessidades de arrefecimento no verão, sendo as zonas V3 correspondentes a locais com necessidades mais elevadas [43].



**Figura 2.2** - Zonas climáticas de verão e de inverno em Portugal Continental [43]

Por fim, a orientação é também crucial para a eficiência energética de um edifício, uma vez que o aproveitamento da radiação solar permite melhorar consideravelmente o seu desempenho energético.

Assim sendo, do ponto de vista do projeto, a orientação de um edifício deve ser pensada de modo a que este tenha a capacidade de captar radiação solar no inverno, em que existe uma maior necessidade de energia, e que tenha a menor superfície possível exposta à radiação solar no verão, quando existe a necessidade de dissipar calor, de modo a proporcionar aos ocupantes melhores condições de conforto. Estas condições não são fáceis de balancear, uma vez que são opostas, levando, muitas vezes, a que um edifício seja apenas eficiente numa altura específica do ano [42].

### **2.2.1.2. Envolvente Opaca**

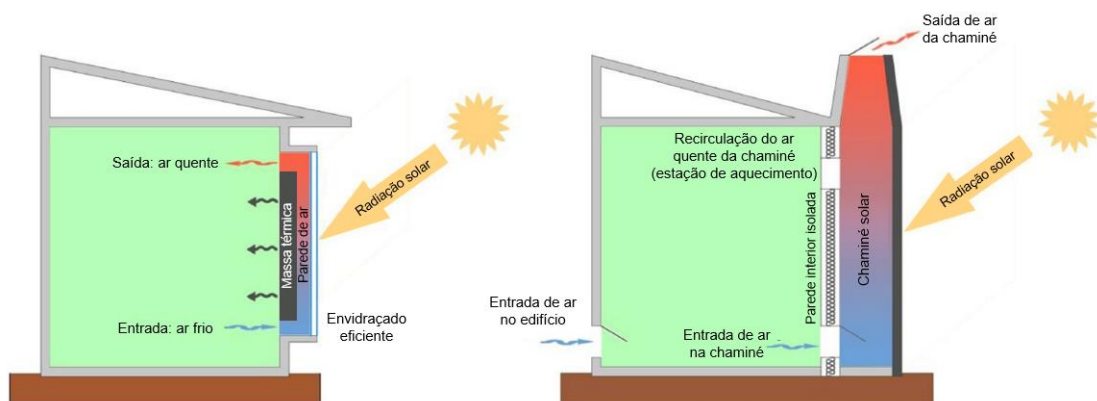
A eficiência térmica da envolvente de um edifício, isto é, a sua capacidade de reduzir as trocas de calor com o exterior, é fortemente afetada pelo isolamento térmico do mesmo, que deve ser projetado, tendo em conta fatores como o clima, o balanço anual das necessidades de aquecimento e arrefecimento e os custos relativos, sendo igualmente afetada pela legislação em vigor. Nesse sentido, um isolamento térmico adequado da envolvente de um edifício permite, não só, aumentar a sua eficiência energética, como reduzir drasticamente os custos associados ao aquecimento e arrefecimento do mesmo. Os isolantes térmicos são materiais de baixa densidade, caracterizados pela sua elevada resistência térmica, podendo ser de diversas origens (sintética, mineral ou vegetal). Os mais comumente utilizados são o poliestireno expandido (EPS), o poliestireno extrudido (XPS), a espuma de poliuretano (PUR), o aglomerado de cortiça (ICB), entre outros [42].

A combinação de requisitos térmicos, ambientais, de conforto e económicos tem permitido a otimização de alguns materiais isolantes e soluções técnicas de elevado desempenho térmico, como aerogéis, painéis de isolamento a vácuo (VIP, do inglês *Vacuum Insulated Panels*) e materiais de mudança de fase (PCM, do inglês *Phase Change Materials*) [41], permitindo reduzir as cargas de arrefecimento, tornando-os adequados para o cumprimento da meta NZEB, ainda que apresentem algumas limitações relativas à sua durabilidade, custo e instalação. A condutibilidade térmica do aerogel toma valores entre 0,013 e 0,014 W/m.°C, no entanto, devido ao seu custo elevado, não é uma solução tão largamente aplicada. Os aerogéis podem ser utilizados como materiais de isolamento translúcidos ou transparentes, devido à sua combinação de baixa condutibilidade térmica e alta transmissibilidade da luz do dia e da energia solar [41].

Os VIP caracterizam-se por uma condutibilidade térmica na ordem dos 0,004 W/m.°C, permitindo a utilização de camadas isolantes muito finas, sendo a sua utilização igualmente limitada pelos custos de implementação [41].

Os PCM, por sua vez, exploram o mecanismo de inércia térmica, uma característica intrínseca aos materiais, que traduz a capacidade dos mesmos de armazenar calor e de o restituir ao longo do tempo, permitindo evitar fenómenos de sobreaquecimento no verão e manter as condições interiores no inverno. A inércia térmica de um material funciona, assim, como um amortecedor térmico, contrariando os picos climáticos exteriores, e é uma característica dos materiais pesados e densos [42]. Deste modo, os PCM armazenam e libertam calor, o que permite uma redução dos requisitos energéticos para aquecimento/arrefecimento. A eficácia dos sistemas baseados nesses materiais depende de fatores como as condições climáticas, as características intrínsecas do material, como a sua condutibilidade térmica, e as características de instalação. O ponto de fusão e as condições de ventilação são essenciais para garantir o correto processo de mudança de fase, permitindo uma redução considerável de situações de sobreaquecimento [41].

Para além dos PCM, também as paredes de Trombe exploram o mecanismo de inércia térmica, possuindo uma grande capacidade de armazenar calor. Estas paredes são uma tecnologia solar passiva e são utilizadas tanto para situações de aquecimento, como para situações de arrefecimento, dependendo da configuração da superfície envidraçada e das suas aberturas. Na Figura 2.3, encontra-se representado o princípio de funcionamento de uma Parede de Trombe para a situação de aquecimento (à esquerda) e de uma chaminé solar para a situação de arrefecimento (à direita) [41].



**Figura 2.3** - Princípio de funcionamento de uma parede de Trombe para a situação de aquecimento (à esquerda) e de uma chaminé solar para a situação de arrefecimento (à direita) (adaptado de [41])

Conciliando a parede de Trombe com os PCM, é possível melhorar a inércia térmica do sistema, assim como melhorar o seu desempenho em situações de aquecimento. Por outro lado, a sua combinação com tecnologias como chaminés térmicas, cortinas solares ou módulos fotovoltaicos, pode melhorar o seu desempenho em situações de arrefecimento. Esta tecnologia apresenta efeitos de melhoria no consumo energético de um edifício e no conforto térmico do mesmo [41].

As coberturas são as superfícies da envolvente de um edifício que contribuem mais significativamente para as trocas de calor com o exterior, uma vez que são o elemento construtivo com um maior nível de exposição solar, sendo, por isso, crucial aumentar a eficiência das mesmas, de modo a diminuir as necessidades energéticas do edifício [42]. Nesse contexto, uma outra solução para a melhoria do desempenho de edifícios passa pela implementação de *green roofs* (coberturas verdes) e *cool roofs* (coberturas frias), cuja eficácia depende essencialmente do clima e das características do edifício.

Os *green roofs* consistem numa camada de vegetação, mais ou menos robusta, que é plantada sobre um sistema de impermeabilização instalado no telhado de um edifício [41]. Essa vegetação protege a estrutura subjacente do telhado da luz solar, permitindo reduzir a sua temperatura, para além de possibilitarem o arrefecimento dos *green roofs* através do seu processo de evapotranspiração. Deste modo, a radiação solar que, de outra forma, aqueceria a superfície do telhado e aumentaria a temperatura do ar ambiente, é utilizada nesse processo, resultando na perda de calor latente, que reduz a temperatura do ar [44].



**Figura 2.4** – Exemplo da implementação de um *greenroof* [45]

Os *green roofs* apresentam então diversas vantagens como a redução das emissões de GEE e da energia utilizada para o arrefecimento de um edifício, assim como os custos associados; a redução do escoamento de águas pluviais, uma vez que estas ficam retidas na vegetação; entre outros [44][45].

Por outro lado, os *cool roofs* são coberturas que absorvem uma menor quantidade de radiação solar, face às coberturas convencionais, uma vez que refletem grande parte dessa radiação através da sua superfície, devido aos materiais de que são constituídos. Enquanto os telhados convencionais podem atingir temperaturas de cerca de 65 °C numa tarde de sol, na estação de verão, os *cool roofs*, sob as mesmas condições, podem atingir temperaturas de 10 °C a menos. Estes telhados permitem então a redução dos ganhos de calor solar no verão, devidos às suas propriedades reflexivas, podendo ser aplicados com sucesso em climas quentes e amenos. Para além disso, a par dos *green roofs*, possibilitam a redução dos custos relativos à climatização [41][44][46].

Na Figura 2.5, representam-se as propriedades e o funcionamento dos *cool roofs*.

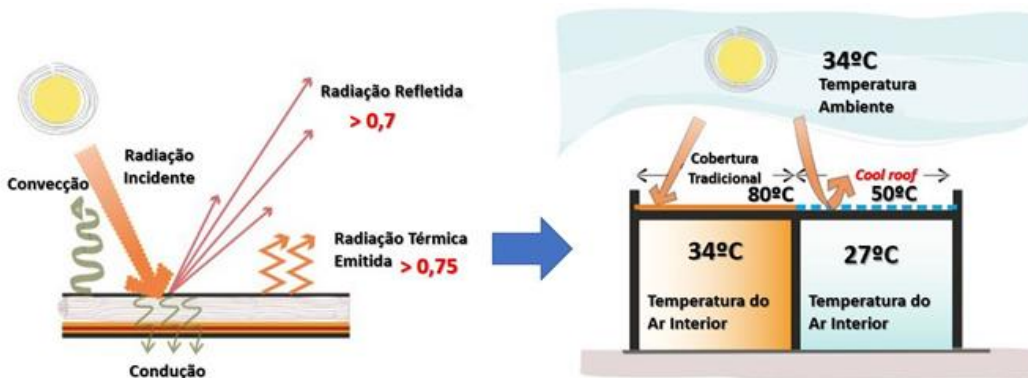


Figura 2.5 - Propriedades e funcionamento de *cool roofs* (adaptado de [47])

### 2.2.1.3. Vãos Envidraçados, Sistemas de Proteção e Sombreamento

Os vãos envidraçados de um edifício desempenham um papel importante na gestão da eficiência energética do mesmo, uma vez que, por um lado, permitem a entrada de luz e calor no interior do edifício, sem custos associados, e, por outro lado, se forem projetados de forma inadequada, permitem a dissipação de calor para o exterior, estimando-se que entre 25 a 30% das necessidades de aquecimento de um edifício se devem a perdas de calor com origem nos vãos envidraçados do mesmo [42].

Deste modo, estes elementos devem ser dimensionados de modo a permitir a captação de ganhos de calor no inverno e a reforçar a proteção da radiação solar no verão, fornecendo condições para o aproveitamento dos mecanismos de ventilação natural. A seleção deste tipo de elementos deve ter em conta características térmicas como o coeficiente global de transmissão de calor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ), que traduz a quantidade de calor que atravessa a superfície do vão, e o fator solar (%), relativo à quantidade de energia solar que é transmitida através da superfície do envidraçado para o interior, face à energia solar incidente. Assim sendo, quanto menor for o valor destas duas propriedades, menor será a transmissão de calor através do envidraçado e, portanto, menores serão os ganhos térmicos associados [42].

Para além das características descritas anteriormente, existem outros fatores importantes no projeto dos vãos envidraçados, assim como a área da superfície, o tipo de vidro e o tipo de caixilharia. Relativamente ao tipo de vidro, verifica-se que os vidros duplos possuem uma maior capacidade de isolamento do que os vidros simples, uma vez que o espaço entre os dois vidros permite reduzir as perdas de calor [42]. No que ao tipo de caixilharia diz respeito, estes elementos desempenham um papel crucial na eficiência energética dos vãos envidraçados, sendo habitualmente constituídos por materiais com uma condutibilidade térmica superior à do vidro, com as caixilharias em PVC (Policloreto de Vinil) ou alumínio com corte térmico a apresentarem melhores propriedades térmicas [42].

Com vista a limitar a entrada de energia solar no interior do edifício através dos vãos envidraçados, existem ainda sistemas de proteção que podem ser aplicados a estes elementos, assim como estores, cortinas, persianas ou portadas, como se mostra na Figura 2.6. Estes elementos são de fácil instalação, não exigem muita manutenção e os custos associados não são particularmente elevados, constituindo uma solução viável para a redução do consumo energético dos edifícios [48].



**Figura 2.6** – Exemplos de sistemas de proteção (adaptado de [48])

Relativamente aos sistemas de sombreamento, cujos exemplos se apresentam na Figura 2.7, as palas horizontais ou verticais são os elementos mais comumente utilizados, sendo integrados no exterior dos edifícios. Estes elementos permitem reduzir consideravelmente os ganhos solares dos edifícios, uma vez que, quando os raios solares incidem sobre si, dispersam e não atingem os vãos envidraçados. Nesse sentido, os sistemas de sombreamento interseitam os raios solares no verão, impedindo que estes atinjam o interior do edifício e, por outro lado, no inverno, permitem que esse calor atinja os vãos envidraçados, possibilitando o aquecimento do interior do edifício [48].

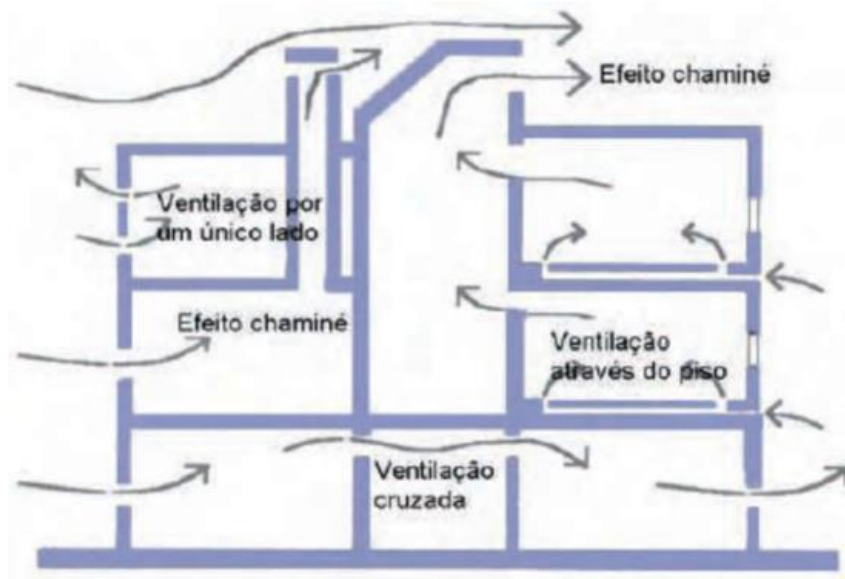


**Figura 2.7** – Exemplos de sistemas de sombreamento (adaptado de [48])

#### **2.2.1.4. Ventilação Natural**

Tendo em vista a melhoria da eficiência energética de um edifício, é também importante dispor de uma troca de ar adequada entre o exterior e o interior do edifício, uma vez que a mistura e a renovação do ar em espaços com uma ventilação adequada permite a redução dos fenómenos de humidade, contribuindo para a melhoria do nível de conforto térmico [42].

A ventilação natural consiste no aproveitamento do fluxo de ar que atravessa portas, janelas, grelhas e outras penetrações da envolvente do edifício, fazendo uso das diferenças de pressão causadas pela ação desse ar exterior nas superfícies do edifício, tratando-se de uma técnica comumente utilizada, uma vez que envolve baixos custos de operação e proporciona um melhor ambiente interior aos ocupantes. Na Figura 2.8, representam-se os diferentes mecanismos de ventilação natural. Diversas tecnologias exploram esta técnica, devendo a seleção da melhor solução ter em conta os limites estruturais e tecnológicos, relacionados com a forma e a morfologia do edifício, assim como os requisitos energéticos, ambientais e económicos [41].



**Figura 2.8** – Mecanismos de ventilação natural [49]

### 2.2.1.5. Iluminação Natural

As necessidades energéticas relativas à iluminação estão diretamente relacionadas com as características da envolvente transparente do edifício, portanto, o balanço ideal de energia para aquecimento, arrefecimento e iluminação do edifício só pode ser alcançado através de uma abordagem conjunta, combinando aspetos térmicos e de iluminação. O custo relativo ao consumo de energia devido à iluminação aumenta com a melhoria do desempenho energético do edifício, podendo a necessidade energética de iluminação ser minimizada através da otimização da iluminação natural, da redução da potência de iluminação e do tempo de ativação da mesma [41].

As soluções passivas relativas à iluminação do edifício incidem no aproveitamento da luz solar, recorrendo a diferentes abordagens, de acordo com os fenómenos físicos de propagação da luz utilizados pelos sistemas tecnológicos. Um projeto cuidadoso deve considerar o potencial da luz solar natural, atentando tanto para o sistema de envidraçamento, como para o sistema de sombreamento, de forma a otimizar o conforto visual interno, administrando os ganhos internos e reduzindo a necessidade de iluminação artificial [41].

## **2.2.2. Medidas de Eficiência Energética: Soluções Ativas**

### **2.2.2.1. Sistemas de Climatização**

Os sistemas convencionais de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) representam quase metade do consumo total de energia de um edifício [41]. Deste modo, melhorar o desempenho energético do mesmo passa, invariavelmente, por melhorar o desempenho do sistema de AVAC, através da melhoria do sistema de controlo ou da aplicação de medidas específicas de eficiência energética, como o armazenamento de energia térmica (TES, do inglês *Thermal Energy Storage*), a recuperação de calor ou o recurso a tecnologias evaporativas [41].

Os sistemas de TES representam uma solução eficaz no aquecimento e arrefecimento de ambientes, no aquecimento de água e ar condicionado, sendo os meios de armazenamento mais comuns a água refrigerada, o gelo e os PCM. Nestes sistemas, a otimização do controlo de acionamento dos sistemas mecânicos e do fluido de troca, utilizado para carregar e descarregar o tanque de armazenamento, permite melhorar a eficiência do sistema. Da mesma forma, os PCM podem ser integrados para melhorar o desempenho de sistemas como o sistema de AVAC, de Águas Quentes Sanitárias (AQS), de ventilação, de aquecimento por piso radiante, de teto refrigerado ou de instalações de arrefecimento solar [41].

Os sistemas de AVAC são habitualmente acoplados a sistemas de recuperação de energia, concebidos para reduzir a energia consumida para aquecimento e arrefecimento de espaços, através do aproveitamento da energia residual, ainda que a poupança de energia deva ser balanceada com a energia elétrica consumida pelos ventiladores. A seleção da melhor tecnologia de recuperação é determinada pelas condições climáticas. O projeto do sistema requer o uso de sistemas de ar forçado e controladores de humidade, de forma a evitar a degradação da QAI [41].

### **2.2.2.2. Ventilação Mecânica**

Uma parte significativa das necessidades energéticas NZEB, relativas ao sistema de ar condicionado, pode ser atribuída aos sistemas de ventilação. A ventilação mecânica, que consiste no movimento forçado de ar num espaço através de ventiladores/conduatas, é usada para controlar o caudal, de forma a gerir as perdas de calor, sendo igualmente um meio eficaz para prevenir a degradação da QAI. Os sistemas de volume de ar variável (VAV, do inglês *Variable Air Volume*), que fornecem volume de ar a uma temperatura constante, são mais utilizados em edifícios de baixa energia, satisfazendo a procura causada pela alteração da carga de calor no espaço condicionado. Estes sistemas podem gerar poupanças de energia superiores (entre 17 e 38%) às dos sistemas de volume de ar constante (CAV, do inglês *Constante Air Volume*), concebidos para fornecer o caudal mínimo de ar para garantir conforto e reduzir a estratificação e o consumo de energia [41].

### **2.2.2.3. Iluminação Artificial**

Relativamente ao consumo de energia relacionado com a iluminação, as lâmpadas LED (do inglês, *Light Emitting Diode*) são a tecnologia mais eficiente, no que à potência de iluminação diz respeito. Em comparação com as lâmpadas incandescentes comuns, as lâmpadas LED têm um fluxo luminoso cerca de 6 vezes superior (90 vs 15 lm/W) e uma menor produção de calor, devido à ausência de produção de Infravermelhos (IV) e radiação Ultravioleta (UV), reduzindo as necessidades de arrefecimento interior. Num edifício NZEB, o consumo relativo a aparelhos e outras cargas de tomada representam uma parte importante do consumo global do edifício, podendo ser otimizado, através de sistemas eficientes que, recorrendo à programação criteriosa da utilização dos aparelhos de carga, maximizam a utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Nesse contexto, os utilizadores desempenham um papel ativo, ao adotarem um comportamento orientado para a poupança de energia [41].

## 2.2.3. Sistemas de aproveitamento de fontes de energia renovável

### 2.2.3.1. Energia solar

#### Painéis Fotovoltaicos

As tecnologias fotovoltaicas são, atualmente, os sistemas renováveis mais utilizados no setor da construção, uma vez que, para além da utilização de energia solar ativa ser uma das estratégias principais para fornecer energia renovável local, estas tecnologias apresentam diversas vantagens, do ponto de vista energético e ambiental [41].

Os painéis fotovoltaicos clássicos (PV, do inglês *Photovoltaic*) convertem a radiação solar em eletricidade, através de células fotovoltaicas, sendo a sua eficiência de conversão na ordem dos 15%. Esta tecnologia apresenta vantagens como a sua alta fiabilidade ou a pouca necessidade de manutenção. Além disso, a energia gerada durante as horas de maior radiação pode ser armazenada em baterias para ser aproveitada posteriormente, em períodos de menor incidência de radiação. Apesar das vantagens descritas, o investimento inicial deste tipo de tecnologias é ainda elevado [42].

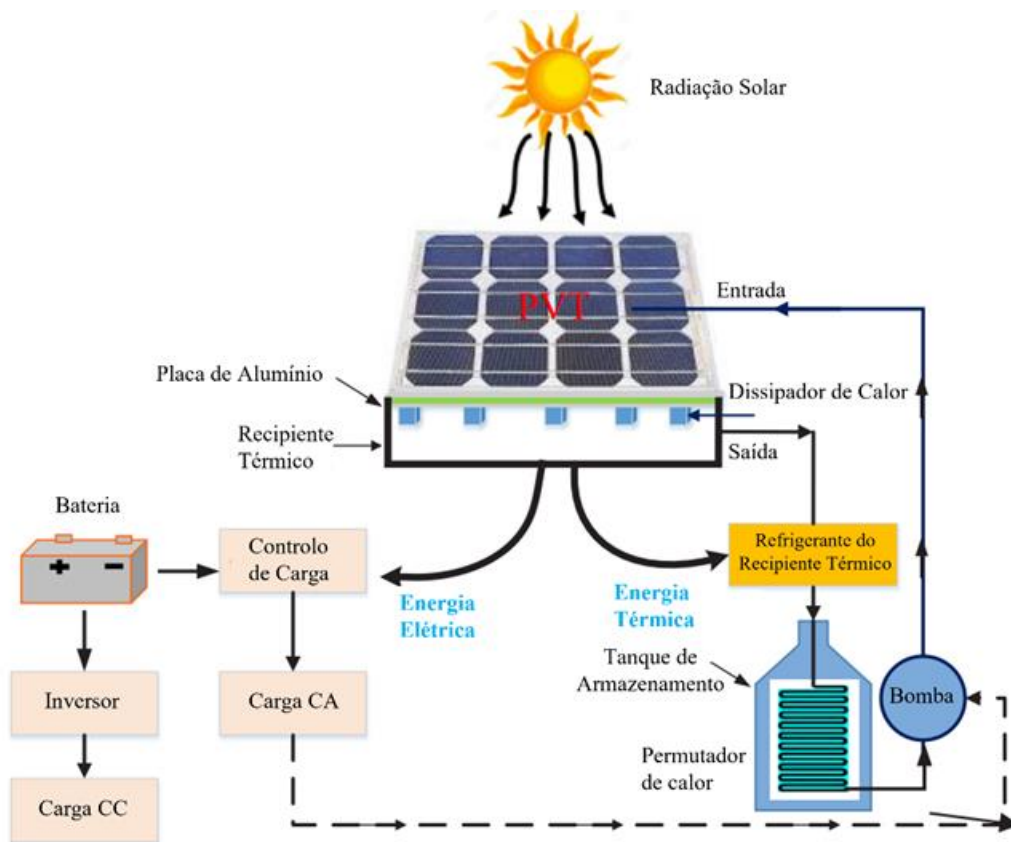


**Figura 2.9** – Exemplo da instalação de painéis fotovoltaicos [50]

Para além da tecnologia PV, representada na Figura 2.9, várias tecnologias surgiram, com vista a maximizar o seu potencial, permitindo a sua difusão em diferentes contextos.

## Painéis Fotovoltaicos Térmicos

A tecnologia fotovoltaico-térmica (PVT, do inglês *Photovoltaic Thermal*), cujo esquema de funcionamento se encontra representado na Figura 2.10, é uma tecnologia híbrida que conjuga a conversão de energia solar em energia elétrica com a conversão de energia solar em energia térmica. A temperatura da célula solar é uma variável crítica no desempenho fotovoltaico, sendo que, quanto maior for a temperatura da célula, menor é o desempenho do painel fotovoltaico, o que justifica a baixa eficiência de conversão da tecnologia PV. Deste modo, tentando contrariar esse aspeto, a tecnologia PVT recorre a módulos de arrefecimento termoelétricos que permitem gerir a temperatura da célula solar, aproveitando o calor residual, que não é convertido em energia elétrica, para produzir água quente. O sistema é projetado para manter o painel fotovoltaico à temperatura ideal para a absorção da radiação solar, aumentando a eficiência geral de conversão [41]. Este tipo de tecnologia apresenta, geralmente, uma eficiência de conversão superior a 40%, não sendo, no entanto, uma tecnologia muito difundida, devido aos seus elevados custos de implementação [51].



**Figura 2.10** - Representação esquemática de um sistema PVT (adaptado de [52])

## Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edifícios

Os sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios (BIPV, do inglês *Building-Integrated Photovoltaics*) têm vindo também a ser utilizados devido à sua versatilidade, constituindo uma importante ferramenta para atingir a meta NZEB. Estes módulos fotovoltaicos são concebidos para serem integrados na envolvente do edifício, substituindo os elementos de construção passivos tradicionais, como coberturas e revestimentos de fachadas, janelas, persianas e elementos de sombreamento, convertendo-os em geradores de energia ativa. No que diz respeito ao seu desempenho, estes módulos apresentam uma eficiência entre 12,5% e 20% por célula, de acordo com alguns fabricantes [41] [53]. Na Figura 2.11, ilustram-se dois exemplos de aplicação desta tecnologia: em fachadas e em coberturas.



**Figura 2.11** - Exemplos de aplicação da tecnologia BIPV em fachadas (à esquerda) e em coberturas (à direita) [53]

O desempenho energético destes módulos é afetado por vários fatores como a temperatura ambiente, a sua orientação, o sombreamento, a refletividade das superfícies circundantes ao edifício (quanto mais baixa, menor é a produtividade do módulo fotovoltaico) e o modo de instalação [41][54]. Em contexto urbano, esse desempenho é também consideravelmente afetado pelo efeito da ilha de calor (UHI, do inglês *Urban Heat Island*), que ocorre quando se verificam, numa zona urbana, temperaturas mais elevadas do que nas áreas menos urbanas na sua periferia, devido à forma como as superfícies absorvem a radiação em cada ambiente. Nas zonas rurais existe, essencialmente, vegetação, que reflete a radiação incidente, enquanto as grandes cidades são constituídas por um elevado número de edifícios e estradas, que devido aos seus materiais constituintes, absorvem grande parte da radiação, levando à acumulação de calor nos centros urbanos [44][54]. Este efeito pode afetar as necessidades energéticas relativas aos sistemas de AVAC em 30%, devido às elevadas temperaturas do ar urbano [54].

Por outro lado, a densidade de construção nos centros urbanos leva à redução da incidência de radiação solar, devido ao efeito de sombreamento entre edifícios, assumindo o aproveitamento de fachadas um papel cada vez mais importante, ainda que a irradiação solar anual em superfícies verticais seja substancialmente inferior à verificada em superfícies horizontais. De um modo geral, as fachadas de um edifício de vários andares apresentam maiores áreas de superfície que uma cobertura tradicional, estimando-se que estas constituem entre 60 a 80% das superfícies disponíveis em zonas urbanas. Para além disso, as superfícies verticais apresentam uma produção anual mais estável, quando comparadas com os módulos tradicionais instalados em coberturas e atingem um pico de irradiação mais elevado deslocado do meio-dia, diminuindo o desacerto entre a produção e as necessidades energéticas do edifício [54].

Contudo, a tecnologia BIPV em fachadas é mais sensível às variações dos componentes solares indiretos. A radiação total que atinge uma superfície é composta por radiação direta, que atinge diretamente a superfície, e radiação indireta, que se divide em radiação difusa, resultante do desvio nas nuvens, nevoeiro e outros obstáculos na atmosfera; e radiação refletida, que é refletida por outras superfícies, incluindo as construções circundantes e o solo. A componente indireta da radiação também atinge superfícies sombreadas e a sua intensidade depende da intensidade da radiação solar, do fator de visão de céu (SVF, do inglês *Sky View Factor*, que define o rácio de céu que é visível do solo e, portanto, que não é obstruído por edifícios, árvores, etc.) para a componente difusa e da refletividade da superfície circundante para a componente refletida. Em ambientes urbanos, onde a radiação direta, particularmente em fachadas, é fortemente reduzida, as componentes indiretas da radiação assumem um papel preponderante no balanço de radiação total das superfícies verticais [54]. Apesar das características técnicas e do bom desempenho desta tecnologia, os elevados custos de produção são a principal barreira para a disseminação dessa tecnologia. Outra limitação ao uso das tecnologias solares tem a ver com a confiabilidade da produção de energia dos sistemas, devido à imprevisibilidade da geração de eletricidade através da energia solar, provocada pela variabilidade do clima [41].

### Sistemas solares térmicos

Outra tecnologia de aproveitamento de energia solar são os sistemas de aquecimento solar térmico (SHS, do inglês *Solar Heating System*), dispositivos concebidos para converter a radiação solar em energia térmica.

Nestes sistemas, a energia solar é captada, permutada e transferida através de um fluido térmico que, ao circular através de uma serpentina, aquece a água contida no depósito do circuito. Estes sistemas atendem as necessidades de calor dos edifícios, reduzindo simultaneamente as emissões de CO<sub>2</sub>. Nos edifícios residenciais, a energia necessária para a produção de AQS tem um peso considerável nas necessidades globais de energia, justificando a maior difusão dos coletores solares neste setor. A eficiência térmica dos coletores solares à base de água é superior à dos coletores à base de ar devido ao calor específico da água, sendo o coletor de placas planas a solução mais comumente aplicada. Os PCM podem ser aplicados para melhorar o armazenamento de energia térmica de ambos os sistemas. O sistema de TES assume um papel determinante para o aproveitamento da energia solar, atuando para armazenar o calor solar quando este não é necessário e, portanto, minimizando o consumo de combustível das caldeiras [41].



**Figura 2.12** – Exemplo de coletor solar térmico [55]

### **2.2.3.2. Energia eólica**

Para além da radiação solar, também a energia eólica pode ser considerada uma fonte renovável complementar para atingir os requisitos NZEB. As turbinas eólicas, que transformam energia mecânica, proveniente da ação do vento, em energia elétrica, contribuem positivamente para o balanço energético de um edifício. Os fatores mais importantes do ponto de vista da eficácia de um sistema eólico são as características da instalação de turbinas e a forma do edifício e da sua vizinhança, relativamente ao padrão de vento. Outros fatores que influenciam a seleção desta tecnologia são as condições climáticas do local (relativamente à velocidade do vento) e a intermitência da fonte de energia (a maior velocidade do vento ocorre, normalmente, no inverno) [41].

### **2.2.3.3. Bioenergia**

Os biocombustíveis e a biomassa podem ser qualificados como recursos NZEB, uma vez que permitem uma redução consistente das emissões de CO<sub>2</sub> e uma poupança económica. Ainda assim, a sustentabilidade destas fontes representa ainda uma incógnita. Os biocombustíveis são utilizados no modo de aquecimento para produção de AQS e no modo misto como fonte de uma instalação de cogeração [41].

Neste tipo de sistemas, as emissões de partículas ultrafinas, provenientes da combustão da biomassa, devem ser tidas em conta, devendo proceder-se à instalação de sistemas de ventilação adequados [41].

### **2.2.3.4. Bombas de calor**

Relativamente às FER, as diretivas europeias identificam a energia aerotérmica, hidrotérmica e geotérmica como opções a ser adotadas. As bombas de calor exploram essas fontes, transferindo calor para os edifícios, através da inversão do fluxo natural de calor, de uma temperatura mais alta para uma temperatura mais baixa. Estes equipamentos são usualmente classificados de acordo com a fonte de calor e com os dissipadores de calor, sendo as bombas de calor ar-água as mais adequadas no caso dos edifícios existentes, dada a disponibilidade da fonte de ar. Este tipo de bombas são fáceis de instalar e relativamente baratas, ainda que o seu desempenho seja prejudicado pelas condições climáticas, especialmente no inverno [41].

Bombas de calor de fonte terrestre (GSHP, do inglês *Ground Source Heat Pump*) e de água (WSHP, do inglês *Water Source Heat Pump*) são também soluções a ter em conta. Devido à elevada inércia térmica que a terra possui, existe uma enorme quantidade de energia disponível que pode ser aproveitada para a satisfação das necessidades térmicas, tanto para a produção de AQS, como para a climatização de espaços. Nesse âmbito, as GSHP apresentam-se como uma boa solução, devido à temperatura constante da terra como fonte de calor, em modo de aquecimento, e como um dissipador de calor, em modo de arrefecimento. No entanto, são limitadas pela presença da fonte primária de energia geotérmica no local. De uma forma geral, as bombas de calor têm mostrado ser benéficas, em termos de custos e eficiência, quando associadas a outras fontes renováveis. Os sistemas mais utilizados são as GSHP associadas à tecnologia PV [41][42].

### **2.2.3.5. Aquecimento urbano**

O aquecimento/arrefecimento urbano (do inglês, *District Heating*), que consiste na distribuição de calor a partir de uma fonte centralizada, apresenta benefícios ao nível da eficiência, do ambiente e dos custos operacionais. Uma central deste tipo fornece AQS a baixa temperatura, aquecimento ou arrefecimento a edifícios, recorrendo a calor residual ou eletricidade proveniente de diversas fontes [41].

Estes sistemas apresentam uma eficiência superior à dos sistemas individuais de aquecimento/arrefecimento, uma vez que permitem gerir e controlar de forma eficaz a rede global de energia, sendo os sistemas de cogeração a tecnologia mais comumente utilizada em aquecimento/arrefecimento urbano. Esta tecnologia produz simultaneamente energia térmica e elétrica, reduzindo, conseqüentemente, as emissões de CO<sub>2</sub>. A integração de energias renováveis, como energia solar, bombas de calor ou biomassa no sistema de energia urbano melhora o desempenho energético, ambiental e económico do sistema, permitindo o cumprimento dos requisitos NZEB [41].

### **2.2.4. Sistemas de controlo e gestão**

Os sistemas direcionados para a otimização e controlo são cruciais para que se possa atingir a meta NZEB, permitindo manter os níveis de conforto aceitáveis para o utilizador e gerindo os consumos de energia. A poupança de energia e a QAI são fortemente afetados pela operação dos sistemas AVAC e, portanto, os sistemas de controlo AVAC são estratégias cruciais para manter o conforto térmico interior de alta qualidade, com baixo consumo de energia. Estes sistemas controlam os diferentes serviços e dispositivos como o sistema de AVAC, AQS, sistemas de iluminação e sombreamento, conversão e armazenamento de energia (aquecimento e arrefecimento), produção de energia no local, monitorização e gestão de dados, comunicações e gestão de segurança. A capacidade de poupança no consumo de AVAC, relacionada com o nível de conforto alcançável através de várias tecnologias de controlo, representa uma percentagem de até 40% de poupança de energia, associada a estratégias de controlo baseadas na ocupação eficiente, se comparada com a estratégia de controlo típica baseada em horários estáticos e *set-points* fixos [41].

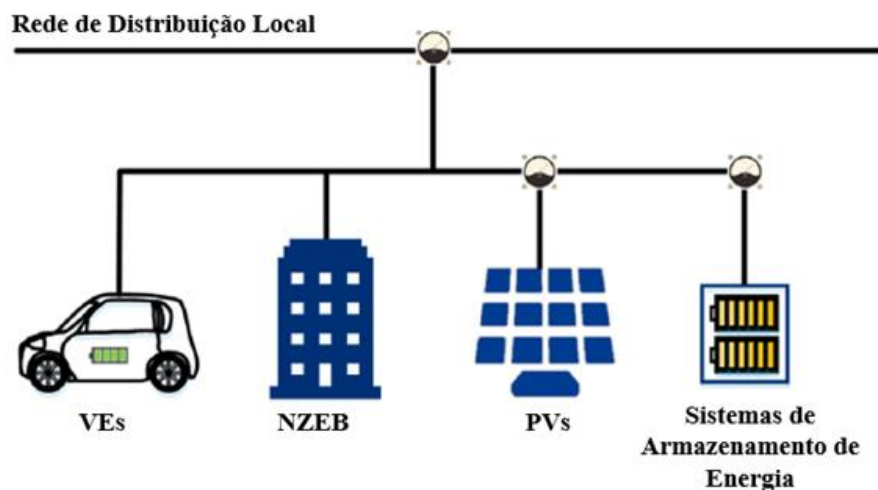
## 2.3. Mobilidade Elétrica

À semelhança do que acontece com o setor dos edifícios, também o setor dos transportes é responsável por uma quota parte das emissões de GEE na UE (em 2020, este setor foi responsável por cerca de 22% dessas emissões [2]), muito devido à, ainda maioritária, utilização de veículos providos de motores de combustão interna, responsáveis pelas emissões de poluentes como SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO e partículas. Nesse âmbito, com vista a reduzir o impacte ambiental deste tipo de veículos, tem sido cada vez mais incentivada, nomeadamente através da legislação, a utilização de veículos elétricos.

Ainda assim, embora os veículos elétricos não emitam poluentes de forma direta, são carregados a partir da rede elétrica, que se baseia, essencialmente, em centrais de combustíveis fósseis e, portanto, a emissão de CO<sub>2</sub> e outros poluentes continua a ocorrer durante o processo, de forma indireta. No entanto, o impacte ambiental final dos veículos elétricos é significativamente inferior ao dos motores de combustão interna convencionais [56]. Numa análise comparativa entre um veículo de combustão interna e um veículo elétrico (VE) na Alemanha, realizada em [57], onde se tiveram em consideração três percursos distintos (urbano, extraurbano e autoestrada), obteve-se uma redução significativa do consumo energético quando se utilizou o VE, em detrimento do veículo tradicional. Os consumos médios dos veículos de combustão interna e dos VEs foram, respetivamente, 0,678 kWh/km e 0,158 kWh/km, no percurso urbano; 0,559 kWh/km e 0,219 kWh/km, no percurso extraurbano; e 0,778 kWh/km e 0,275 kWh/km, no percurso em autoestrada. Outro estudo, realizado em [58], comparou o consumo energético de dois táxis, um elétrico e outro a diesel, no Brasil. Os consumos verificados foram de 0,8873 kWh/km e 0,1084 kWh/km para o veículo a diesel e para o VE, respetivamente. Estimou-se que, substituindo 25% da frota de táxis por VEs, a emissão de CO<sub>2</sub> pode ser reduzida em cerca de 85%.

Esse impacte ambiental pode ser substancialmente reduzido, recorrendo a FER (solar, eólica, etc.) no processo de carregamento dos veículos elétricos, nomeadamente através da integração deste processo na gestão energética de edifícios [59]. A interação entre a produção fotovoltaica local, por um lado, e as necessidades de eletricidade do sistema de energia térmica e o carregamento de veículos elétricos, por outro, pode contribuir significativamente para o cumprimento dos requisitos NZEB [56].

Nesse sentido, as necessidades energéticas de um edifício podem ser maioritariamente satisfeitas por eletricidade produzida no local (principalmente através de sistemas PV), assim como por recursos de energia distribuída (DER, do inglês *Distributed Energy Resources*), podendo os veículos elétricos contribuir consideravelmente para o balanço energético do mesmo. Combinando veículos elétricos e edifícios como parte do mesmo problema, conciliados com dispositivos de armazenamento de energia elétrica, que lidam com o problema da intermitência da radiação solar, é possível equilibrar a relação entre a produção e demanda energética de um edifício, reduzindo simultaneamente o recurso à rede elétrica e contribuindo para o objetivo NZEB [56]. Esta solução segue uma estrutura de ligação semelhante à apresentada na Figura 2.13.

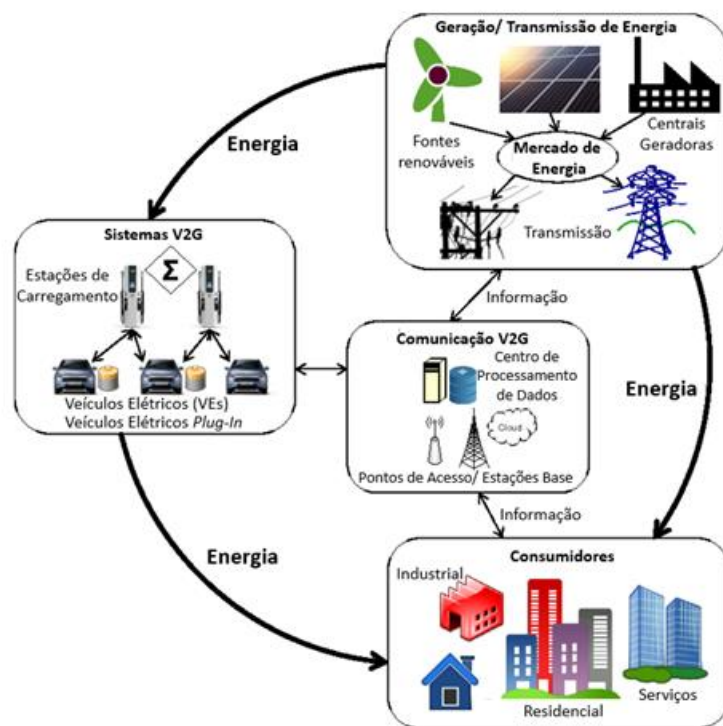


**Figura 2.13** – Estrutura de ligação entre a mobilidade elétrica e os edifícios (adaptado de [60])

O excedente de energia produzida pela tecnologia PV de um edifício pode ser armazenado em baterias, convertido em calor, cedido à rede, ou utilizado para o carregamento de veículos elétricos. Por outro lado, quando a energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos, armazenada no sistema de armazenamento, for inferior à demanda energética do edifício, a energia armazenada na bateria do veículo elétrico pode ser utilizada para satisfazer essas necessidades [59].

Nesse âmbito, através da aplicação de novos conceitos e tecnologias, a mobilidade elétrica pode ser integrada de formas distintas na gestão energética de um edifício, com vista a melhorar o desempenho global do sistema. De entre essas hipóteses, encontram-se o deslocamento de carga e as soluções V2G (do inglês, *Vehicle-to-grid*) e V2B (do inglês, *Vehicle-to-building*) [59].

O deslocamento de carga consiste na deslocação do carregamento dos veículos para as horas em que a demanda energética do edifício é baixa, para as horas de produção máxima de energia renovável ou durante períodos de baixo custo energético. Outra alternativa para dar uso à capacidade de armazenamento dos veículos elétricos é fornecer eletricidade do veículo diretamente à rede, durante os períodos de pico (V2G). Se esta solução for quantificada na avaliação do desempenho energético do edifício, a exportação de qualquer excedente de eletricidade armazenada num veículo elétrico para a rede pode contribuir para a meta NZEB [59]. Na Figura 2.14, encontra-se representado um sistema V2G, assim como a interação entre os diferentes componentes.



**Figura 2.14** – Esquema representativo de um sistema V2G (adaptado de [61])

Por outro lado, a capacidade de armazenamento das baterias destes veículos pode também ser utilizada para fornecer eletricidade a um edifício (V2B), podendo um veículo elétrico totalmente carregado, teoricamente, alimentar uma habitação por um ou mais dias, dependendo da dimensão da bateria. O veículo pode armazenar eletricidade de baixo custo da rede ou de fontes renováveis, que pode posteriormente ser fornecida ao edifício durante as horas de ponta ou nos momentos em que a energia renovável não se encontra disponível, o que pode melhorar a gestão das necessidades de eletricidade no edifício e, em última análise, reduzir as emissões, o consumo e o custo de eletricidade do mesmo [59].

Com vista a integrar progressivamente a mobilidade elétrica com os edifícios NZEB, é necessário adotar uma abordagem diferente do ponto de vista técnico, económico e político, havendo alguns desafios a ser enfrentados. Esta integração pode ter impacte, não só na procura e geração de eletricidade no local, mas também na rede nacional. As redes atuais são suficientemente capazes de suportar a integração dos veículos elétricos, ainda assim, é possível aumentar o impacte na rede com o apoio financeiro adequado e políticas que impulsionem a implementação de veículos elétricos no mercado. Por outro lado, o súbito aumento das necessidades elétricas pode afetar negativamente o desempenho NZEB do edifício e da própria rede, sendo necessário recorrer a um novo controlo inteligente da rede, que possa gerir a carga dos veículos elétricos, com vista a amenizar picos súbitos ou cargas excessivas na rede [59].

Atualmente, a integração dos veículos elétricos com edifícios constitui um desafio, uma vez que estes veículos atuam essencialmente como uma carga, o que não só reduz as vantagens técnicas, como os benefícios relativos aos custos e ao ciclo de vida de um edifício NZEB, sendo necessário adotar novos modelos de negócio. Nesse sentido, devem ser explorados modelos que integram as soluções V2G ou V2B, o controlo inteligente ou a integração de baterias como uma opção de flexibilidade. A modelação da informação do edifício (BIM, do inglês *Building Information Modeling*) pode ser utilizada para simular e otimizar a conceção de um edifício e os respetivos processos de construção, utilizando modelos digitais abrangentes. Em termos de construção, funcionamento e ciclo de vida completo do edifício, a integração desta ferramenta e da avaliação do ciclo de vida (LCA, do inglês *Life-Cycle Assessment*) representa uma vantagem significativa sobre os métodos tradicionais de conceção e cálculo, estabelecendo um sistema de gestão de edifícios que também pode apoiar a integração de veículos elétricos e edifícios [59].

A inclusão dos veículos elétricos no limite de cálculo de um edifício tem uma forte influência na avaliação energética do mesmo, podendo, ou não, resultar no cumprimento dos requisitos NZEB, dependendo se a carga dos veículos e/ou as cargas de tomada são incluídas nos cálculos. Sendo que, atualmente, a mobilidade elétrica não se encontra contemplada na legislação em vigor para a determinação dos indicadores de eficiência energética.

Nos cenários em que a energia elétrica necessária para aquecimento do espaço e para o carregamento destes veículos está incluída, o edifício pode não cumprir o critério NZEB, dependendo da capacidade da tecnologia PV e da necessidade de carregamento dos veículos. Deste modo, para satisfazer esses requisitos, a capacidade fotovoltaica deve ser aumentada ou a necessidade de carregamento dos veículos ser reduzida, ou mesmo excluída. Verifica-se que o objetivo NZEB é altamente dependente do tipo de carga incluída nos cálculos energéticos [59].

Vários estudos disponíveis na literatura abordam a integração de VEs em edifícios, assim como as soluções V2B e V2G, destacando o papel dos VEs na redução das necessidades energéticas dos edifícios e na consequente aproximação da meta NZEB.

No estudo realizado em [62], é analisada a introdução de um sistema fotovoltaico, associado a um VE, projetado para satisfazer as necessidades elétricas (climatização e equipamentos) de um edifício de escritórios, assim como para fornecer eletricidade ao veículo, carregado durante o período de trabalho. Consideraram-se diferentes potências de pico para o sistema PV (4,5-9,0 kW) e um percurso variável para o VE (40-120 km), tendo-se obtido, para uma potência de pico de 9 kW, uma redução do consumo de energia de 87% e 99% para um percurso de 80 km e 40 km, respetivamente, em comparação com a situação de referência (com a climatização do edifício a ser assegurada por uma caldeira a gás e um *chiller* e considerando um veículo a diesel).

Outro exemplo de V2B é o estudo realizado em [56], onde se considerou um cenário que concilia um hotel, em Nápoles, alimentado por painéis fotovoltaicos e coletores solares térmicos integrados no edifício (BIPVT) e equipado com um sistema de armazenamento de energia com o carregamento de um VE; e se realizou uma análise energética, ambiental e económica. Nesse cenário, o excedente de eletricidade produzida é armazenado na bateria elétrica e utilizado para carregar o VE. Os resultados da simulação mostram uma redução substancial da eletricidade proveniente da rede, correspondendo a uma poupança de 57,7% de energia primária; e as emissões de CO<sub>2</sub> diminuíram cerca de 51,6%.

No que diz respeito à solução V2G, o projeto Parker [63], implementado na Dinamarca, teve como objetivo recorrer a uma frota de 10 VEs para apoiar o sistema fotovoltaico instalado num edifício, com vista a diminuir a energia requerida à rede.

Os VEs forneceram energia à rede durante 100 horas, por semana, por veículo, injetando um total de 130 MWh à rede, em 2 anos. Os resultados mostram ainda que as emissões de CO<sub>2</sub> foram reduzidas em cerca de 130 000 kg.

## **2.4. Exemplos de aplicação de soluções para transformação em edifícios NZEB**

Existem, na literatura, vários casos de estudo onde se demonstra o potencial da aplicação de algumas das soluções referidas anteriormente, com vista a reduzir as necessidades energéticas de um edifício e, eventualmente, aproximá-los do objetivo NZEB.

Um exemplo disso é o estudo apresentado em [64], onde se analisou o impacto energético e ambiental da aplicação de diferentes medidas num edifício residencial em Estocolmo, considerando-se a implementação de ventilação com recuperação de calor, a substituição das janelas e a aplicação conjunta destas soluções. Os resultados mostram um potencial de redução das necessidades energéticas de aquecimento de 334 GWh (18%) e uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub> de 19,6 kt, por ano.

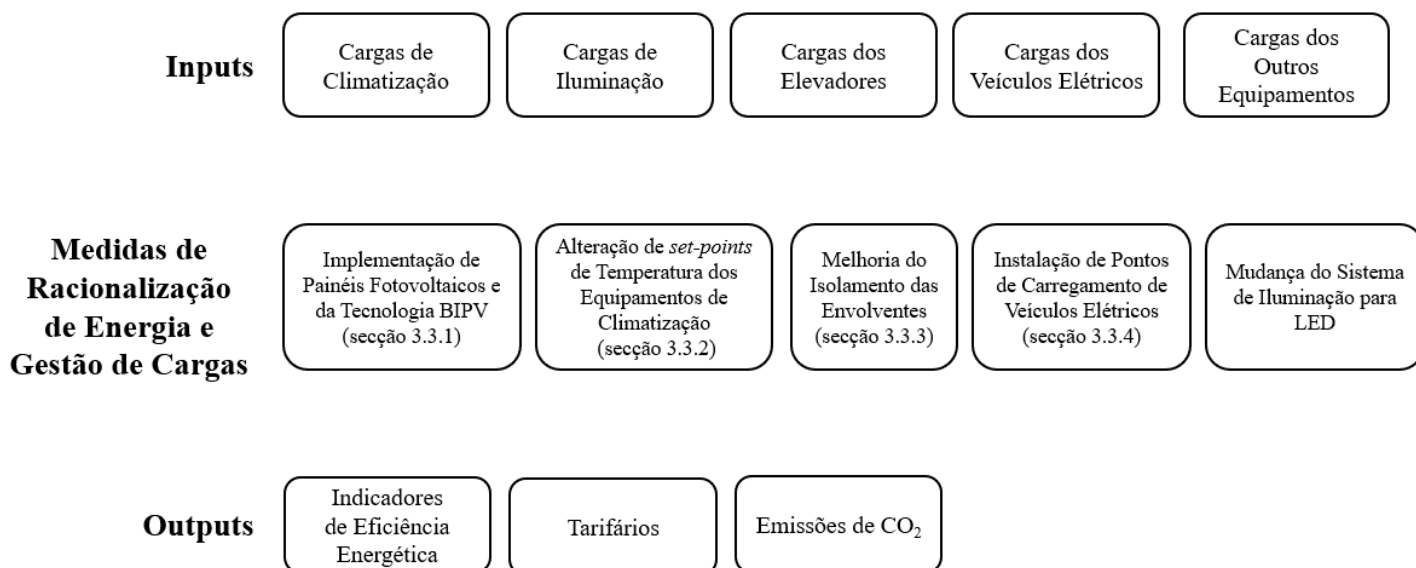
No caso de estudo apresentado em [65], projetou-se um pequeno hotel em Malta, com o objetivo de o tornar num edifício NZEB. Para isso, foi simulado o seu comportamento energético e propôs-se uma série de soluções ótimas, combinando diferentes sistemas e o projeto eficiente da envolvente do edifício. Considerando a melhoria da envolvente do edifício, através da aplicação dos valores de referência para o coeficiente global de transmissão térmica (U) para as paredes e para a cobertura, juntamente com a aplicação de vidros duplos, o hotel atingiria uma classificação energética de “B”, com o consumo de energia a reduzir de 38,309 kWh/ano (valor de referência) para 32,380 kWh/ano. A introdução da iluminação LED e dos sistemas de iluminação natural, associados à utilização de bombas de calor e à instalação de um sistema fotovoltaico provocariam uma redução de consumo para 15,316 kWh/ano, atingindo-se a classe “A”. Deste modo, as medidas de eficiência energética propostas resultam num consumo de energia primária de 59 kWh/m<sup>2</sup>.ano, o que se pode considerar dentro da meta NZEB para edifícios não residenciais, uma vez que o valor definido para a obtenção dessa meta para esse tipo de edifícios, em Malta, é de 60 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Um outro exemplo é o caso de estudo apresentado em [66], onde se selecionaram e aplicaram diversas medidas de eficiência energética à envolvente e aos diferentes sistemas técnicos (arrefecimento e aquecimento, ventilação e painéis PV) de um edifício de escritórios virtual de referência, com o objetivo de projetar um edifício NZEB, em conformidade com as políticas da UE. Estabeleceram-se 256 combinações distintas de medidas a aplicar no edifício e analisou-se o impacto das mesmas no consumo de energia primária e nas emissões de CO<sub>2</sub>, dividindo os resultados em gamas de valores. Os resultados mostram que as medidas para as quais se obteve um melhor desempenho variam entre 76,4 e 77,3 kWh/m<sup>2</sup>.ano, para a energia primária, com as emissões de CO<sub>2</sub> a situar-se nos 22 kgCO<sub>2</sub>, face aos 125,72 kWh/m<sup>2</sup>.ano e 37 kgCO<sub>2</sub>, respetivamente, do cenário de referência. A melhor combinação levou à diminuição do consumo de energia primária em 39% e das emissões de CO<sub>2</sub> em 41%. Este cenário teve em consideração a melhoria do isolamento das paredes (resultando num coeficiente global de transmissão térmica de 0,23 W/m<sup>2</sup> °C) e dos vãos envidraçados; o recurso a bombas de calor geotérmicas; a instalação de coletores solares térmicos e de painéis fotovoltaicos, entre outros.

### 3. Metodologia

Neste capítulo, será desenvolvida uma ferramenta computacional, através da qual se pretende converter um edifício de serviços existente, estudado previamente em [67], num edifício NZEB. Para isso, é necessário realizar uma avaliação global, do ponto de vista energético, do edifício, tendo em consideração as suas principais características, assim como a sua gestão de cargas, o que possibilitará a implementação de um conjunto de soluções técnicas que levem à melhoria da eficiência do edifício e à consequente convergência do mesmo para a meta NZEB.

Deste modo, apresenta-se, neste capítulo, a metodologia aplicada para se atingir esse objetivo, assim como a ferramenta desenvolvida, apresentando-se, na Figura 3.1, o algoritmo dessa ferramenta.



**Figura 3.1** – Algoritmo da ferramenta desenvolvida

No subcapítulo 3.1, apresenta-se o edifício que servirá de caso de estudo ao presente trabalho, identificando-se as suas principais características. Mais adiante, no capítulo 3.2, aborda-se cada uma das etapas deste algoritmo, de um modo mais detalhado. Explicitam-se, entre outros, a origem das cargas que suportam a ferramenta desenvolvida (*inputs*), a metodologia e as premissas seguidas na aplicação de cada uma das medidas de racionalização de energia, assim como o procedimento necessário à determinação dos parâmetros que resultam da implementação da ferramenta no caso de estudo (*outputs*).

### 3.1. Caso de Estudo: Edifício de Serviços

#### Localização

O edifício encontra-se localizado no centro da cidade de Lisboa, como se verifica na Figura 3.2, tratando-se de um edifício de serviços da empresa EDP. Corresponde à zona climática II V2, implementado à cota de 55m e uma distância à costa marítima de 11,5 km [67].

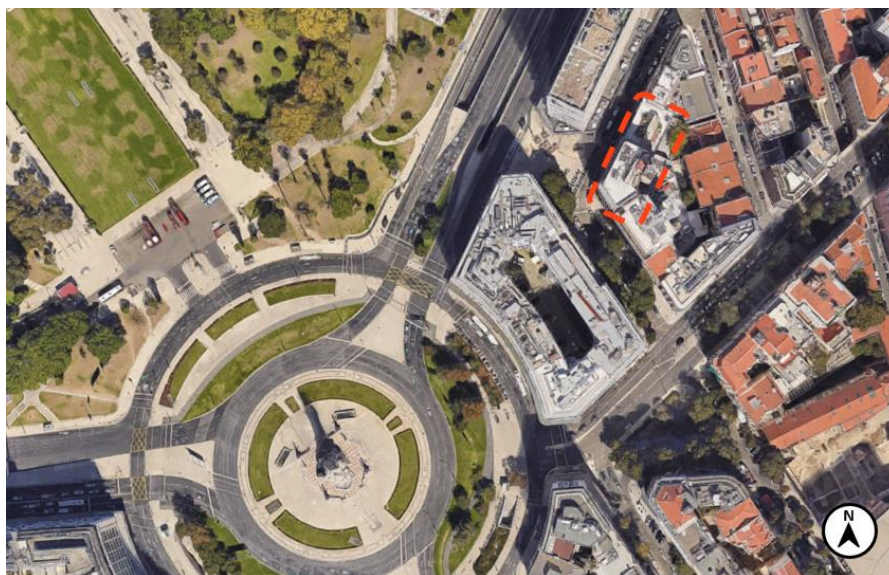


Figura 3.2 - Localização do edifício [68]

O edifício é confinante com outros edifícios e possui fachadas com várias orientações, sendo a fachada principal orientada a sudoeste, conforme se verifica na Figura 3.3 [67].

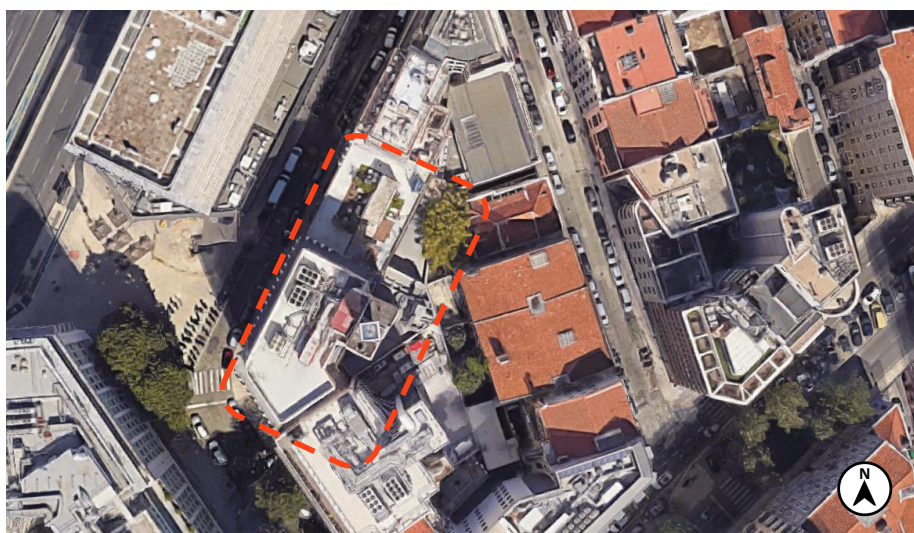


Figura 3.3 – Localização do edifício (detalhe) [68]

## Descrição do edifício

É constituído por 8 pisos acima do solo (0, SL, 1, 2, 3, 4, 5 e 6), destinados a serviços administrativos (com uma área total de 4305,07 m<sup>2</sup>) e 5 pisos abaixo, destinados a garagens (2780,32 m<sup>2</sup>), armazéns (284,75 m<sup>2</sup>) e salas técnicas, estes dois últimos espaços localizadas no piso -1 [67].

O piso 0 trata-se da receção do edifício, sendo constituído por uma sala polivalente e diversos gabinetes, enquanto os restantes pisos acima do solo são caracterizados por áreas do tipo *open space*, possuindo cada um deles uma pequena copa de utilização interna e uma sala de bastidores. No piso SL, existe ainda uma área de repouso com uma divisão reservada a fumadores. O edifício funciona de 2<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> feira, entre as 8h e as 18h [67].

## Sistemas de climatização

No que diz respeito ao sistema de AVAC, o sistema centralizado do edifício é constituído por 3 *chillers*/bombas de calor, localizados no terraço do último andar, que climatizam todos os pisos acima do solo, através de uma Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN) e de ventiloconvectores. Nos espaços interiores, a insuflação é realizada através de difusores e a extração através de grelhas, ambos instalados no teto falso de cada piso. O piso SL possui uma zona reservada a fumadores, cujo sistema de climatização é independente do sistema centralizado do edifício, onde a admissão de ar novo é realizada por um ventilador de insuflação, situado no terraço do piso 1, a par do ventilador de extração [67].

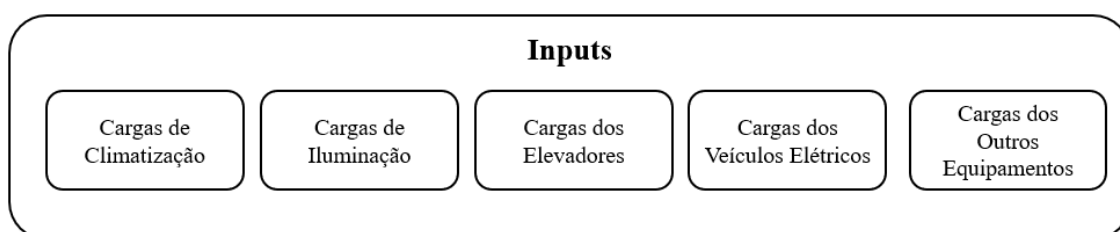
No caso dos pisos de garagem, apenas as salas técnicas do piso -1 são climatizadas, através de unidades de expansão direta do tipo *split* [67].

Os equipamentos de climatização funcionam entre as 8h e as 20h, de 2<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> feira, ao contrário das unidades *split*, que operam de modo permanente, durante todos os dias da semana.

## 3.2. Algoritmo da Ferramenta

### 3.2.1. Inputs

As variáveis de entrada (*inputs*) do algoritmo da ferramenta desenvolvida correspondem às cargas relativas ao funcionamento do edifício, nomeadamente, as cargas de climatização, de iluminação, dos elevadores, dos equipamentos e dos veículos elétricos, conforme se apresenta na Figura 3.4.



**Figura 3.4** - Variáveis de entrada do algoritmo da ferramenta

A partir destas cargas, será possível caracterizar energeticamente o edifício e avaliar os aspetos que podem ser alvo de intervenção, de modo a melhorar o desempenho energético do mesmo.

#### **Cargas de climatização**

Relativamente às cargas de climatização, essas provêm, por um lado, do *software* Hourly Analysis Program (HAP) [69], da Carrier; e por outro, dos dados fornecidos em [67]. No caso dos casos de estudo, apresentados adiante no subcapítulo 3.3, as cargas são provenientes do HAP, sendo determinadas com base na caracterização do edifício, de acordo com o exposto detalhadamente no subcapítulo 3.3.2. Para a validação de resultados, apresentada no subcapítulo 4.1, as cargas de referência, com as quais se comparam os resultados obtidos no HAP, são provenientes de medições realizadas no quadro elétrico de AVAC, para um dia do mês de julho, apresentados em [67].

#### **Cargas de Iluminação**

No que diz respeito às cargas de iluminação, essas têm por base as cargas provenientes do trabalho realizado em [67], tendo sido necessário dissociá-las das cargas relativas aos equipamentos, uma vez que se encontram ambas associadas ao mesmo quadro elétrico. Para isso, recorreu-se ao valor do consumo anual corresponde a cada uma dessas parcelas, apresentado igualmente em [67].

Para além disso, dado que essas cargas dizem respeito à situação base do edifício, em que o seu sistema de iluminação é maioritariamente do tipo fluorescente, realizou-se uma adaptação no valor das mesmas, de modo a corresponderem à situação posterior à aplicação da iluminação LED (medida de eficiência aplicada em [67]), visto que é esse o ponto de partida considerado no presente estudo. Essa adaptação foi realizada através do valor do consumo anual de iluminação correspondente à aplicação dessa medida.

### **Cargas dos Elevadores**

As cargas relativas aos elevadores não sofreram qualquer tipo de análise adicional e, portanto, provêm diretamente dos dados em [67], resultantes das medições do quadro elétrico correspondente.

### **Cargas dos Veículos Elétricos**

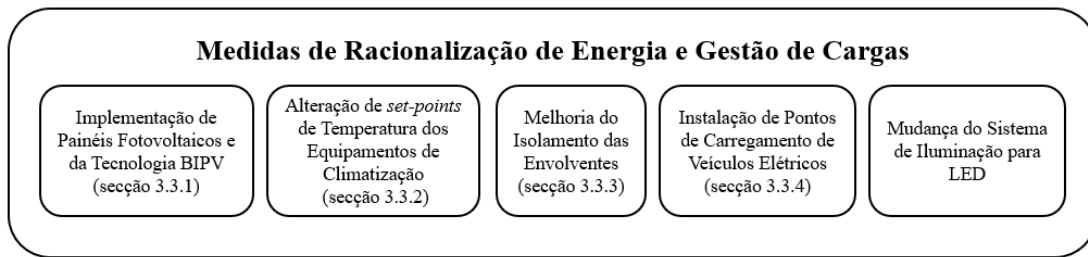
Relativamente às cargas dos veículos elétricos, foi considerado, para a sua determinação, um conjunto de premissas, descrito no subcapítulo 3.3.4, relativas à capacidade e ao estado de carga das baterias e à potência de carregamento.

### **Cargas dos Outros Equipamentos**

As cargas referentes aos equipamentos foram, como foi referido anteriormente, dissociadas das cargas de iluminação, provenientes de [67], não tendo sofrido qualquer tipo de análise adicional. Durante a caracterização do edifício no HAP, foi necessário definir a carga dos equipamentos associada a cada espaço, recorrendo-se, nesse caso, ao levantamento de todos os equipamentos, realizado em [67].

## **3.2.2. Medidas de Racionalização de Energia e Gestão de Cargas**

Depois de caracterizadas as cargas térmicas do edifício, implementar-se-ão então medidas de eficiência energética, com vista a aproximar o edifício da meta NZEB. As soluções técnicas que serão consideradas neste processo e que constituirão os diferentes casos de estudo, apresentados detalhadamente no subcapítulo 3.3, encontram-se representadas na Figura 3.5.



**Figura 3.5** - Medidas de racionalização de energia e gestão de cargas

### **Implementação de painéis fotovoltaicos e da tecnologia BIPV**

Quanto à introdução das energias renováveis na envolvente do edifício, considerou-se a aplicação dos painéis fotovoltaicos convencionais nas suas coberturas e a substituição de elementos da sua fachada por módulos BIPV. Optou-se pela implementação desta última tecnologia, dado que as áreas das coberturas do edifício são reduzidas, não permitindo a instalação de um grande número de painéis, e, portanto, procurou complementar-se o estudo realizado com a aplicação desta tecnologia, explorando outras áreas do edifício para o aproveitamento solar. Para além disso, a fachada do edifício em análise é, maioritariamente, constituída por elementos envidraçados, sendo, por isso, propícia à aplicação destes módulos.

Do ponto de vista da aplicação desta medida, avaliou-se, primeiramente, o potencial de aproveitamento de energia solar, quer nas coberturas do edifício, quer nas suas fachadas, tendo em consideração alguns fatores. Relativamente aos painéis fotovoltaicos (PV), foi, essencialmente, necessário determinar o espaço disponível nas coberturas do edifício, com recurso à ferramenta de medição do *Google Maps* [68]. No caso dos módulos BIPV, instalados nas fachadas, analisou-se o comportamento da radiação solar ao longo do dia na localização do edifício, de modo a investigar a viabilidade da instalação da tecnologia fotovoltaica em cada fachada, através da ferramenta *SunCalc* [70]. Para além disso, recorrendo a uma ferramenta do *Google Earth* [71], verificaram-se os eventuais constrangimentos devidos ao efeito de sombreamento provocado pelos edifícios circundantes.

Com base nestes fatores, foi possível estimar o número de painéis PV e BIPV a instalar, assim como a área correspondente, estando-se em condições, depois de proceder à sua seleção, de determinar a potência produzida pela tecnologia fotovoltaica. Os valores horários da irradiação solar para a localização do edifício provêm da ferramenta *Photovoltaic Geographical Information System* [72], da Comissão Europeia.

A metodologia referente à aplicação desta medida encontra-se descrita pormenorizadamente no subcapítulo 3.3.1.

### **Alteração dos *set-points* de temperatura dos equipamentos de climatização**

Relativamente à alteração dos *set-points* de temperatura dos equipamentos de AVAC, esta medida será implementada com recurso ao *software* HAP, através da alteração desses parâmetros no programa, na secção relativa ao dimensionamento da UTAN. Primeiramente, o edifício será caracterizado globalmente, no que diz respeito aos seus aspetos construtivos e ao seu funcionamento, entre outros, de modo a que a simulação realizada no programa seja representativa do comportamento real do mesmo.

Para o mês de janeiro, irão simular-se temperaturas de 18 °C e 19 °C para o *set-point* de aquecimento, enquanto para o mês de julho se irão considerar temperaturas de 26 °C e 27 °C, para o *set-point* de arrefecimento (para além dos *set-points* de 20 °C e 25 °C, relativos à situação base). De notar que se optou por simular os *set-points* referidos anteriormente, de modo a avaliar até onde é necessário ir, no que diz respeito a este parâmetro de projeto, para se reduzir o consumo associado à climatização e, no limite, se atingir a meta NZEB. Desse modo, selecionaram-se temperaturas mais “críticas” do que as definidas na legislação para o conforto térmico em edifícios. O procedimento completo encontra-se no subcapítulo 3.3.2.

### **Melhoria do isolamento das envolventes**

A melhoria do isolamento das envolventes terá por base a aplicação de um sistema de isolamento pelo exterior nas paredes exteriores e da substituição dos vãos envidraçados. A seleção desses componentes será realizada com base nos valores de coeficiente global de transmissão térmica (U) e/ou do fator solar impostos pela legislação aplicável para as respetivas envolventes e será analisada através do *software* HAP, procedendo à alteração desses parâmetros na secção correspondente do programa.

A par das medidas de eficiência energética referidas anteriormente, a metodologia seguida para a aplicação desta medida encontra-se descrita, detalhadamente, adiante, no subcapítulo 3.3.3.

### **Instalação de pontos de carregamento de veículos elétricos**

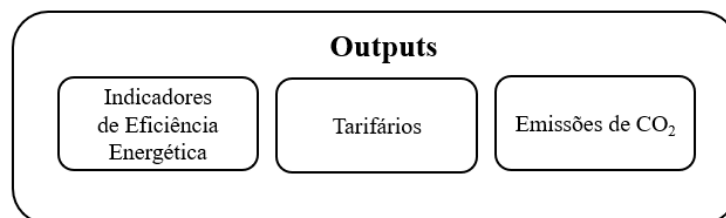
No caso da mobilidade elétrica, esta será incluída na gestão de cargas do edifício, pondo-se em prática a solução V2B, com os veículos elétricos a fornecer energia ao edifício. Para a implementação desta medida, serão tidas em conta uma série de premissas, apresentadas, em pormenor, no subcapítulo 3.3.4.

### **Mudança do sistema de iluminação para LED**

No que diz respeito à mudança do sistema de iluminação para LED, como foi referido anteriormente, essa medida foi implementada em [67], tendo-se optado, no presente estudo, por ter como base os valores relativos às cargas de iluminação daí provenientes e se considerar que esse se trata do cenário base do edifício.

### **3.2.3. Outputs**

Com a aplicação das medidas acima descritas, será possível verificar o impacto das mesmas nos indicadores de eficiência energética, na fatura energética e nas emissões de CO<sub>2</sub>, como se mostra na Figura 3.6. De seguida, apresenta-se, em detalhe, a metodologia seguida para a avaliação de cada um desses parâmetros.



**Figura 3.6** - Variáveis de saída do algoritmo da ferramenta

## Indicadores de Eficiência Energética

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços tem por base a comparação dos balanços de energia, previsto e de referência, determinados em condições nominais, considerando uma temperatura interior de 20 °C na estação de aquecimento e de 25 °C na estação de arrefecimento, de acordo com o Guia SCE [73]. Nesse âmbito, para proceder a esta avaliação, é necessário determinar o Indicador de Eficiência Energética (IEE) que, de acordo com a Portaria nº349-D/2013 [25], é calculado através do somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área útil de pavimento, com base na equação (3.1).

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{REN} \quad (3.1)$$

Em que:

- $IEE_S$  representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado através da equação (3.2) e considerando os consumos anuais de energia por fontes de energia  $i$ ,  $E_{S,i}$ , para as funções indicadas na Tabela 3.1.

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (3.2)$$

Onde:

$E_{S,i}$  – Consumo de energia por fonte de energia  $i$  para os usos do tipo S (kWh/ano)

$A_p$  – Área interior útil de pavimento (m<sup>2</sup>)

$F_{pu,i}$  – Fator de conversão de energia útil para energia primária (kWh<sub>EP</sub>/kWh)

- $IEE_T$  representa os consumos de energia que não são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado através da equação (3.3) e considerando os consumos anuais de energia por fontes de energia  $i$ ,  $E_{T,i}$ , para as funções indicadas na Tabela 3.1.

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (3.3)$$

Onde:

$E_{T,i}$  – Consumo de energia por fonte de energia  $i$  para os usos do tipo T (kWh/ano)

Os consumos energéticos que devem ser tidos em conta na determinação do IEE<sub>S</sub> e IEE<sub>T</sub> encontram-se representados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Consumos de energia a considerar no IEE<sub>S</sub> e no IEE<sub>T</sub> (adaptado de [25])

Consumos no IEE <sub>S</sub>	Consumos no IEE <sub>T</sub>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humificação e desumidificação;</li> <li>- Ventilação e bombagem em sistemas de climatização;</li> <li>- Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas;</li> <li>- Iluminação interior;</li> <li>- Elevadores, escadas e tapetes rolantes (a partir de 1 de janeiro de 2016);</li> <li>- Iluminação exterior ( a partir de 1 de janeiro de 2016).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica;</li> <li>- Equipamentos de frio;</li> <li>- Iluminação dedicada e de utilização pontual;</li> <li>- Todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos em IEE<sub>S</sub>.</li> </ul>

- IEE<sub>REN</sub> determinado com base na produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energia renováveis,  $E_{REN,i}$ , sendo que apenas deverá ser contabilizada a energia elétrica destinada a autoconsumo, e a energia térmica efetivamente utilizada ou passível de ser utilizada no edifício, como se verifica na equação (3.4).

$$IEE_{REN} = \frac{1}{A_p} \sum (E_{REN,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (3.4)$$

Onde:

$E_{REN,i}$  – Consumo de energia por fonte de energia  $i$ , a partir de fontes de origem renovável para consumo (kWh/ano)

Para a conversão de energia útil, expressa em kWh/ano, para energia primária, expressa em kgep/ano, recorre-se a um fator de conversão no valor de 0,29 kgep/kWh, no caso da eletricidade, de acordo com o definido no artigo 18º do Decreto-Lei nº80/2006 [17].

O Decreto-Lei nº349-D/2013 [25] distingue ainda os tipos de IEE:

- IEE previsto ( $IEE_{pr}$ ), que traduz o consumo anual de energia do edifício com base na localização do edifício, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício;
- IEE efetivo ( $IEE_{ef}$ ), que traduz o consumo anual de energia do edifício, obtido com base no histórico de faturas de energia, e/ou alternativamente considerando os resultados de uma avaliação energética realizado numa base de tempo anual;
- IEE referência ( $IEE_{ref}$ ), que traduz o consumo anual de energia do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do edifício.

De acordo com o Despacho nº15793-J/2013 [43], a classe energética dos edifícios de comércio e serviços é determinada em função do rácio de classe energética ( $R_{IEE}$ ), de acordo com a equação (3.5):

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{S,ref}} \quad (3.5)$$

Onde:

$R_{IEE}$  – Rácio de classe energética do edifício

Com base no valor de  $R_{IEE}$  determinado, é então possível atribuir uma classe energética ao edifício, conforme se verifica na Tabela 3.2 [73].

**Tabela 3.2** - Intervalos de valor de  $R_{IEE}$  para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE dos modelos tipo Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços e Grandes Edifícios de Comércio e Serviços [73]

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

Segundo o Guia SCE, edifícios novos licenciados após 31 de dezembro de 2020 e edifícios novos na propriedade de uma entidade pública e ocupados por uma entidade pública após 31 de dezembro de 2018 deverão satisfazer os seguintes requisitos [73]:

$$IEE_s \leq 0,75 IEE_{s,ref} \quad (3.6)$$

$$R_{IEE} \leq 0,50 \quad (3.7)$$

Tipos de actividade	Tipologia do edifício	IEE (kgep/m <sup>2</sup> .ano)
	Bingos e clubes sociais .....	45
	Clubes desportivos com piscina .....	35
	Clubes desportivos sem piscina .....	25
Serviços .....	Escritórios .....	40
	Sedes de bancos e seguradoras .....	70
	Filiais de bancos e seguradoras .....	60
	Comunicações .....	40
	Bibliotecas .....	20
	Museus e galerias .....	10
	Tribunais .....	10
	Estabelecimentos prisionais .....	20
Escolas .....	Todas .....	15
Hospitais .....	Estabelecimentos de saúde com internamento .....	40
	Estabelecimentos de saúde sem internamento .....	40

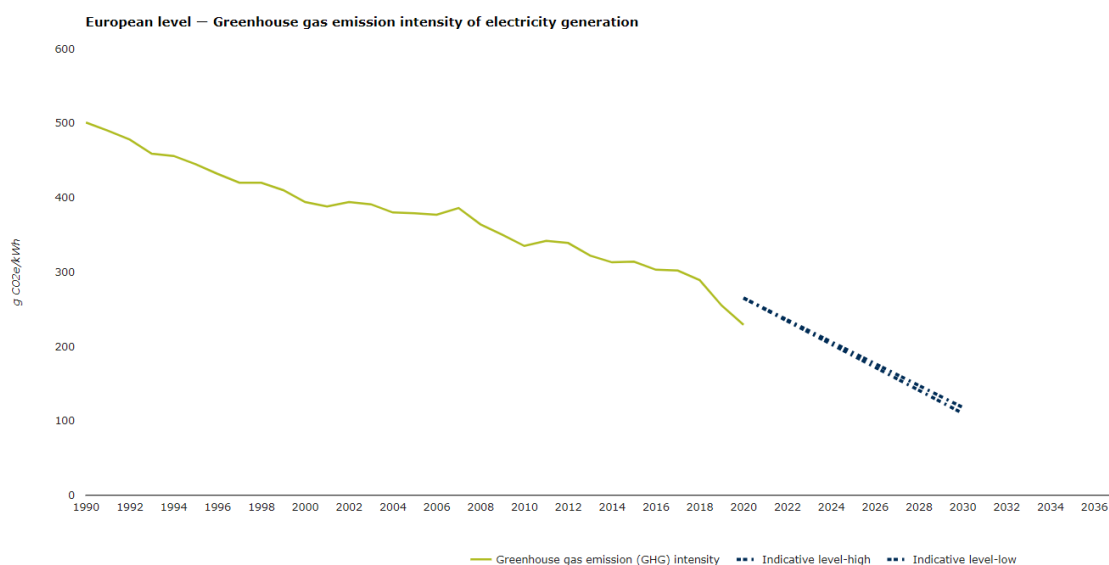
**Figura 3.7** - Valores limite dos consumos globais específicos para edifícios de serviços existentes presentes na legislação (adaptado de [16])

No que diz respeito ao IEE de referência, são indicados, no Decreto Lei nº79/2006 [16], os valores limite dos consumos globais específicos para edifícios de serviços existentes, conforme se verifica na Figura 3.7. No caso do edifício em estudo, tratando-se de um edifício de serviços, constituído essencialmente por escritórios, o valor do IEE de referência a considerar é de 40 kgep/m<sup>2</sup>.ano. Uma vez que será feita uma avaliação semanal, é necessário converter esse valor para a base semanal, dividindo-o por 12 (meses) x 4 (semanas), o que resulta em 0,833 kgep/m<sup>2</sup>.semana.

## Emissões de CO<sub>2</sub>

A produção de eletricidade apresenta fortes impactes ambientais, dependendo da fonte de energia primária utilizada, sendo importante conhecer essa fonte e analisar as emissões de GEE envolvidas nesse processo. Nesse âmbito, sabe-se que a produção de energia de origem térmica é a mais poluente, uma vez que envolve a queima de combustíveis fósseis (carvão, diesel, fuelóleo e gás natural).

Em 2018, através da Diretiva nº16/2018 [74], da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), definiu-se que os comercializadores de eletricidade devem divulgar a rotulagem de energia elétrica aos consumidores. Isto é, devem ser dadas a conhecer as informações relativas à origem da energia elétrica consumida, assim como o impacte ambiental associado, nomeadamente, no que diz respeito às emissões de CO<sub>2</sub>.



**Figura 3.8** - Intensidade de emissões de GEE pela geração de energia elétrica – Nível Europeu [75]

A *European Environment Agency* [75] fornece a informação referente à intensidade de emissões de GEE envolvida na produção de energia elétrica. Como se verifica na Figura 3.8, a nível europeu, cada kWh de energia fornecido pela rede corresponde à emissão de 224 gCO<sub>2</sub>eq [75].

Deste modo, recorrendo a esta informação e às cargas provenientes das simulações realizadas para cada caso de estudo, será possível determinar as emissões de CO<sub>2</sub> correspondentes ao fornecimento de energia elétrica por parte da rede. Com a aplicação das diferentes medidas de eficiência energética, é expectável que o edifício venha a depender cada vez menos da rede, resultando numa menor produção de CO<sub>2</sub>.

Para proceder a esse cálculo, é necessário começar por converter o valor de energia primária equivalente à energia utilizada, através da equação (3.8):

$$EP = EP_{kWh} \cdot FC \quad (3.8)$$

Onde:

EP – Energia primária (tep)

FC – Fator de conversão de kWh para tep ( $1\text{kWh} = 215 \cdot 10^{-6}$  tep)

Por outro lado, a energia final é determinada, de acordo com a equação (3.9):

$$EF = \left( \frac{EP}{1000} \right) \cdot FC_E \quad (3.9)$$

Onde:

EF – Energia final (MJ)

FC<sub>E</sub> – Fator de conversão de kWh para MJ ( $1\text{kWh} = 3,6$  MJ)

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>, é necessário ter em conta o fator de emissão de GEE, como se verifica na equação (3.10):

$$Em = EP \cdot FE \quad (3.10)$$

Onde:

Em – Emissões de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>)

FE – Fator de emissão de GEE ( $1\text{kWh} = 224$  gCO<sub>2</sub>eq)

### **Análise Económica**

De acordo com [67], o fornecimento de energia elétrica ao edifício é realizado através de uma alimentação em Média Tensão (MT), o que permite conhecer o tipo de tarifa aplicada no edifício.

A ERSE estabelece as tarifas a aplicar pelos Comercializadores de Último Recurso (CUR) a clientes em MT, como se mostra na Tabela 3.3, sendo que os períodos I e IV correspondem aos meses de aquecimento (de janeiro a março e de outubro a dezembro, respetivamente), enquanto os períodos II e III dizem respeito aos meses de arrefecimento (de abril a setembro) [76].

**Tabela 3.3** - Tarifa a aplicar pelo CUR aos clientes em MT (adaptado de [76])

Tarifa a aplicar pelo CUR aos clientes em MT		Preços
Termo tarifário fixo		EUR/dia
		0,3276
Potência		EUR/(kW.dia)
	Horas de ponta	0,2198
	Contratada	0,0161
Energia Ativa		EUR/kWh
Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1433
	Horas cheias	0,1321
	Horas de vazio normal	0,1067
	Horas de super vazio	0,0920
Períodos II,III	Horas de ponta	0,1296
	Horas cheias	0,1244
	Horas de vazio normal	0,1032
	Horas de super vazio	0,0989
Energia Reativa		EUR/kvarh
Indutiva		0,0015
Capacitiva		0,0011

Para além dos períodos I a IV, são também definidos os intervalos horários correspondentes aos diferentes períodos do dia considerados na faturação: horas de ponta, horas cheias, horas de vazio normal e horas de super vazio, sendo que a cada um destes períodos corresponde uma tarifa distinta. Na Tabela 3.4, apresentam-se os ciclos diários para os meses de inverno e de verão [77].

**Tabela 3.4** - Ciclo diário para fornecimento de energia elétrica em Portugal Continental em 2022 (adaptado de [77])

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09h30/12h00	Ponta:	09h15/12h15
	18h30/21h00		
Cheias:	07h00/09h30	Cheias:	07h00/09h15 12h15/24h00
	12h00/18h30		
	21h00/24h00		
Vazio normal:	00h00/02h00	Vazio normal:	00h00/02h00 06h00/07h00
	06h00/07h00		
Super vazio:	02h00/06h00	Super vazio:	02h00/06h00

A energia elétrica produzida aos fins de semana pela tecnologia fotovoltaica instalada no edifício pode vir a ser injetada na rede de distribuição, em troca de uma compensação monetária. Nesse sentido, no Decreto-Lei nº225/2007 [78], definem-se as tarifas médias indicativas, apresentadas na Tabela 3.5, correspondentes à venda dessa energia à rede. No caso da microgeração PV implementada no edifício, essa remuneração tem um valor de 355 €/MWh.

**Tabela 3.5** – Tarifas médias indicativas – Energias renováveis (adaptado de [78])

Tecnologias	Tarifas médias indicativas (€/MWh)	Coefficiente z	Observações
Eólicas	74-75	4,6	33 GWh/MW ou 15 anos
Hídrica até 10 MW	75-77	4,5	52 GWh/MW ou 20 anos. Em casos excepcionais 25 anos
Fotovoltaico >5 kW	310-317	35	21 GWh/MW ou 15 anos
Fotovoltaico ≤ 5 kW	450	52	
Solar termoelétrico ≤ 5 kW	267-273	29,3	
PV microgeração ≤ 5 kW	470	55	Quando instaladas em edifícios de natureza residencial, comercial, de serviços ou industrial, 15 anos
PV microgeração ≥ 5kW e ≤ 150 kW	355	40	

### 3.3. Casos de Estudo

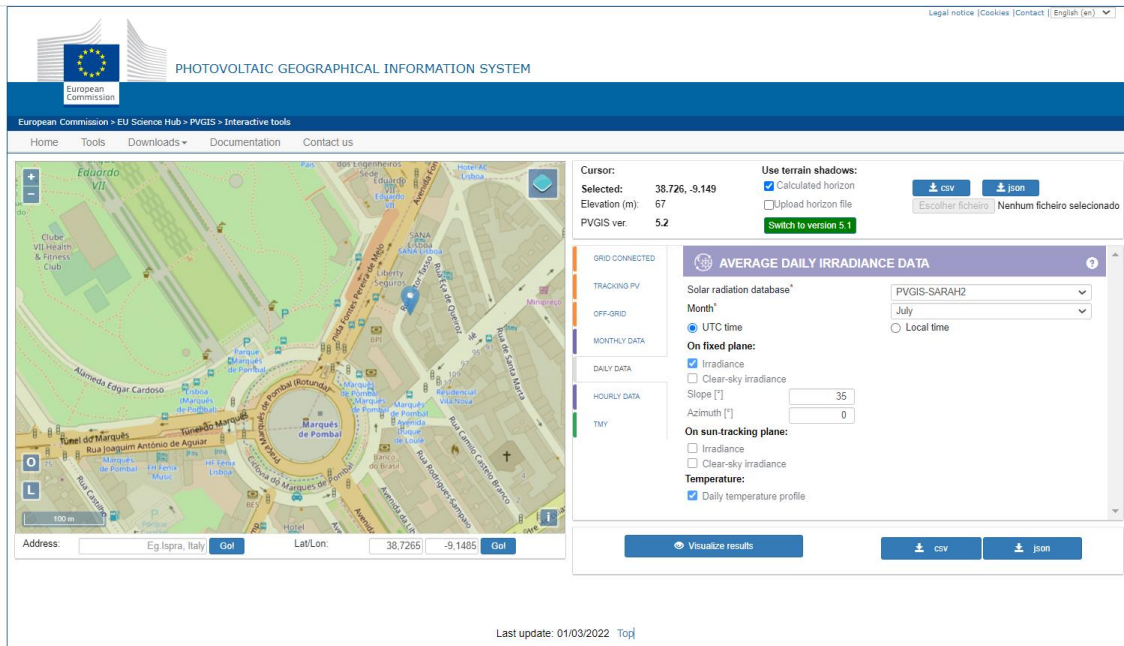
#### 3.3.1. Caso de Estudo 1: Implementação de Energias Renováveis

Numa primeira abordagem, procurou avaliar-se a possibilidade de incluir as energias renováveis na gestão de cargas do edifício, por intermédio da instalação de painéis fotovoltaicos nas suas coberturas e da substituição de elementos das suas fachadas por módulos fotovoltaicos. Tendo em consideração esse cenário, pretendeu-se averiguar, através da quantificação da energia produzida pela tecnologia fotovoltaica, se é possível recorrer a essa energia para suprir parte das necessidades do edifício.

Desse modo, com o intuito de estimar a potência produzida por esta tecnologia, começou por se fazer uma avaliação do potencial de aproveitamento da energia solar do edifício. Nesse âmbito, no caso dos painéis fotovoltaicos, foi essencialmente necessário avaliar o espaço disponível nas coberturas do edifício, uma vez que a radiação que incide nessas áreas é radiação direta e, portanto, não existem tantas condicionantes à sua captação.

No caso da tecnologia BIPV, na maioria dos casos, a radiação incidente é difusa e, desse modo, aspetos como a orientação e o sombreamento têm um forte impacto no aproveitamento de energia solar das fachadas dos edifícios. Nesse sentido, realizou-se, através da ferramenta *SunCalc* [70], uma análise da evolução da radiação solar na localização do edifício ao longo do dia, e para diferentes meses do ano, de modo a averiguar em quais das fachadas do mesmo se revela vantajoso a aplicação desta tecnologia. Para complementar essa análise, avaliou-se, com recurso a uma ferramenta do *Google Earth* [71], que permite visualizar o comportamento do sol ao longo do dia, o impacto do eventual sombreamento provocado pelos edifícios e vegetação presentes na envolvente do edifício em estudo, ao longo do dia. Depois de realizadas as análises descritas anteriormente, determinou-se a área que pode ser utilizada para a aplicação desta tecnologia, ou seja, a área dos envidraçados das fachadas em causa. Nesta etapa, não se tendo acesso aos dados relativos às dimensões reais do edifício e das respetivas superfícies envidraçadas, recorreu-se a algumas aproximações, com base em medições efetuadas com recurso à ferramenta de medição do *Google Maps* [68], de modo ser possível realizar os cálculos necessários ao estudo.

Por outro lado, recorrendo à ferramenta *Photovoltaic Geographical Information System* [72], da Comissão Europeia, apresentada na Figura 3.9, consultou-se, para a localização do edifício, os valores da irradiação correspondente, em base horária para os meses selecionados. Esta ferramenta permite, entre outros, consultar os valores da radiação global, da radiação direta, considerada no caso dos módulos serem instalados na cobertura do edifício, e da radiação difusa, tida em conta no caso dos módulos instalados nas fachadas.



**Figura 3.9** - Obtenção dos dados de irradiação e temperatura para a localização do edifício [72]

De seguida, selecionaram-se modelos de painéis fotovoltaicos e de módulos BIPV, através dos respetivos catálogos, onde foi possível consultar as suas principais características. Com base nos dados recolhidos, foi então possível estimar a potência produzida pelos módulos fotovoltaicos instalados no edifício, através da equação (3.11):

$$P = I \times A \times \eta \times N_p \quad (3.11)$$

Em que:

P – Potência produzida (W)

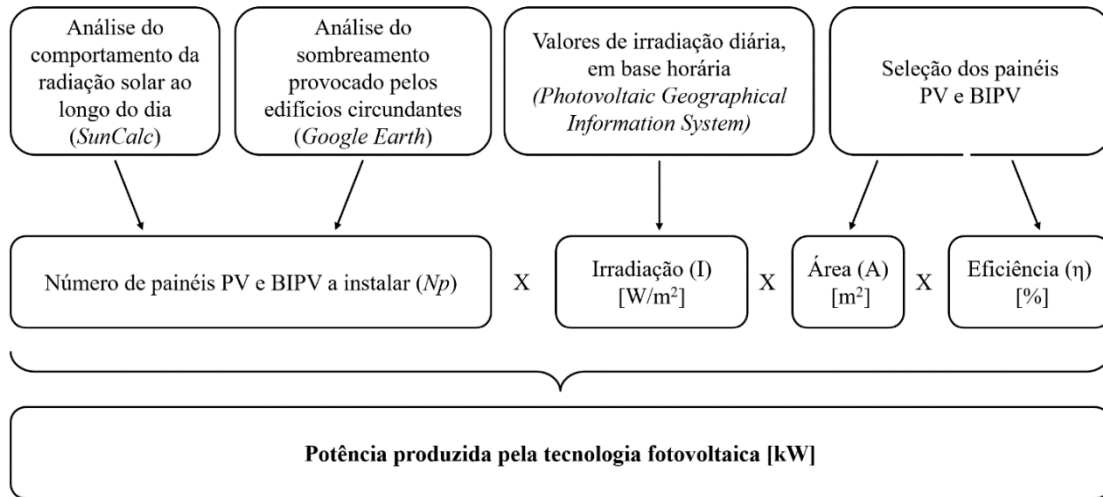
I – Irradiação solar (W/m<sup>2</sup>)

A – Área fotovoltaica (m<sup>2</sup>)

η – Eficiência das células fotovoltaicas

N<sub>p</sub> – Número de módulos

Na Figura 3.10, apresenta-se um esquema representativo da metodologia descrita anteriormente, onde se definem os principais passos para a determinação da potência produzida pela tecnologia fotovoltaica implementada no edifício.



**Figura 3.10** - Esquema representativo da metodologia seguida no Caso de Estudo 3

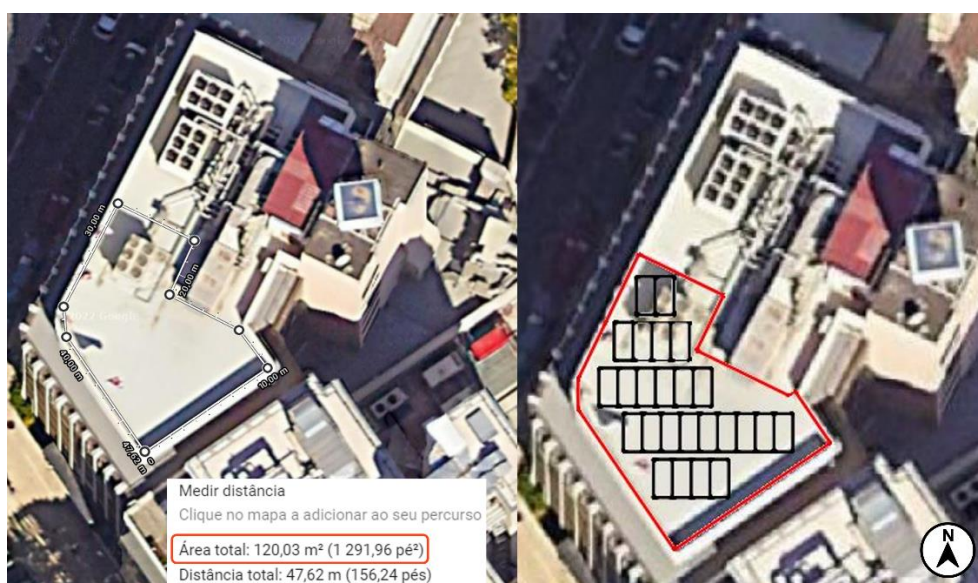
### 3.3.1.1. Painéis Fotovoltaicos

Primeiramente, avaliou-se o espaço disponível nas coberturas do edifício para a instalação de painéis fotovoltaicos, sendo que este edifício tem duas: uma que constitui o terraço do 2º andar, onde se encontra um pequeno jardim; e outra que constitui o terraço do 6º andar, onde se encontram instalados os equipamentos de climatização, como a UTAN e os *chillers*, conforme é possível verificar na Figura 3.11.



**Figura 3.11** - Coberturas do edifício (adaptado de [68])

Para o terraço do 6º andar, verificou-se que os equipamentos de climatização ocupam a maioria do espaço, o que reduz a área útil a um valor de cerca de 120 m<sup>2</sup>, tendo sido, para isso, consideradas ligeiras alterações na disposição desses equipamentos, face à sua disposição atual, de modo a rentabilizar melhor o espaço. Tendo em consideração a área disponível e as dimensões do modelo de painel selecionado, concluiu-se que é possível dispor 25 painéis nesta cobertura, perfazendo uma área de 50 m<sup>2</sup>. Para além das dimensões referidas, procurou garantir-se a existência de espaço suficiente para circulação, para eventuais intervenções de reparação ou manutenção dos módulos fotovoltaicos. Relativamente à sua orientação, foi considerada uma orientação a sul, uma vez que representa a orientação ótima de captação em Portugal, permitindo a captação de uma maior quantidade de energia solar. A medição da área útil da cobertura e a disposição dos painéis fotovoltaicos na mesma encontram-se representadas na Figura 3.12.



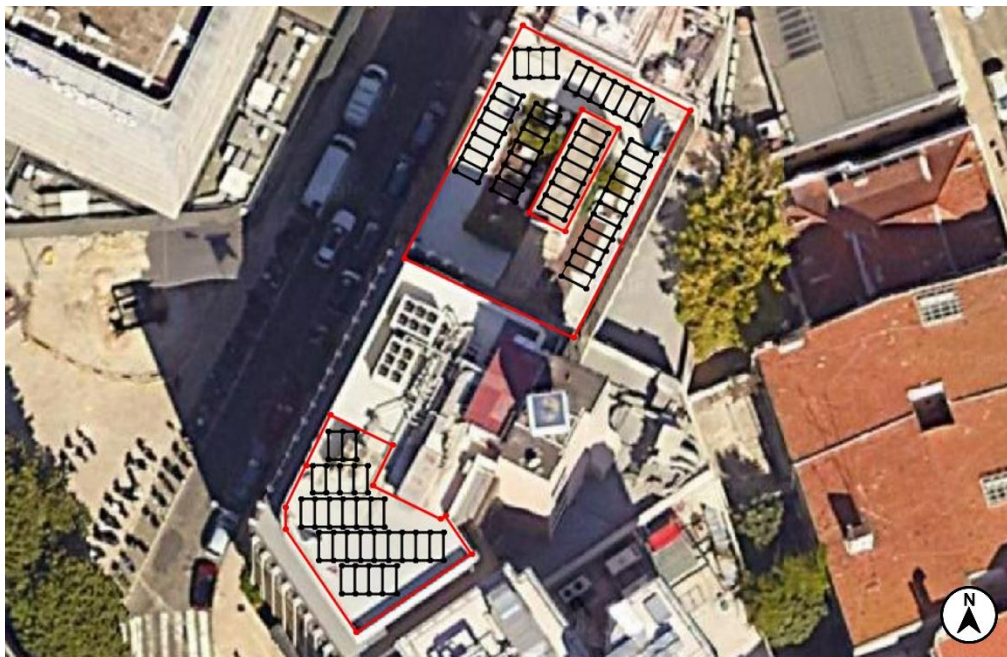
**Figura 3.12** - Determinação da área útil e disposição dos painéis na cobertura do 6º andar (adaptado de [68])

Quanto ao terraço do 2º andar, considerou-se a demolição do jardim, com vista a aumentar o espaço disponível para a instalação de painéis, estimando-se uma área útil de 140 m<sup>2</sup>, suficiente para dispor cerca de 34 painéis, e uma área adicional no topo da entrada para o terraço com cerca de 25 m<sup>2</sup>, onde é possível instalar mais 7 painéis, constituindo um total de 41 painéis (perfazendo um total de cerca de 82 m<sup>2</sup>). Salienta-se que, devido à limitação de espaço nesta cobertura, se optou por orientar a maioria dos painéis de modo a permitir a instalação do maior número possível de módulos, ao invés de privilegiar a orientação a sul, como foi considerado na outra cobertura do edifício, como é possível verificar na Figura 3.13.



**Figura 3.13** - Determinação da área útil e disposição dos painéis na cobertura do 2º andar (adaptado de [68])

Desse modo, estimou-se ser possível instalar um total de 66 painéis fotovoltaicos no edifício, distribuídos pelas duas coberturas, conforme se ilustra na Figura 3.14.



**Figura 3.14** - Distribuição dos painéis fotovoltaicos pelas coberturas do edifício (adaptado de [68])

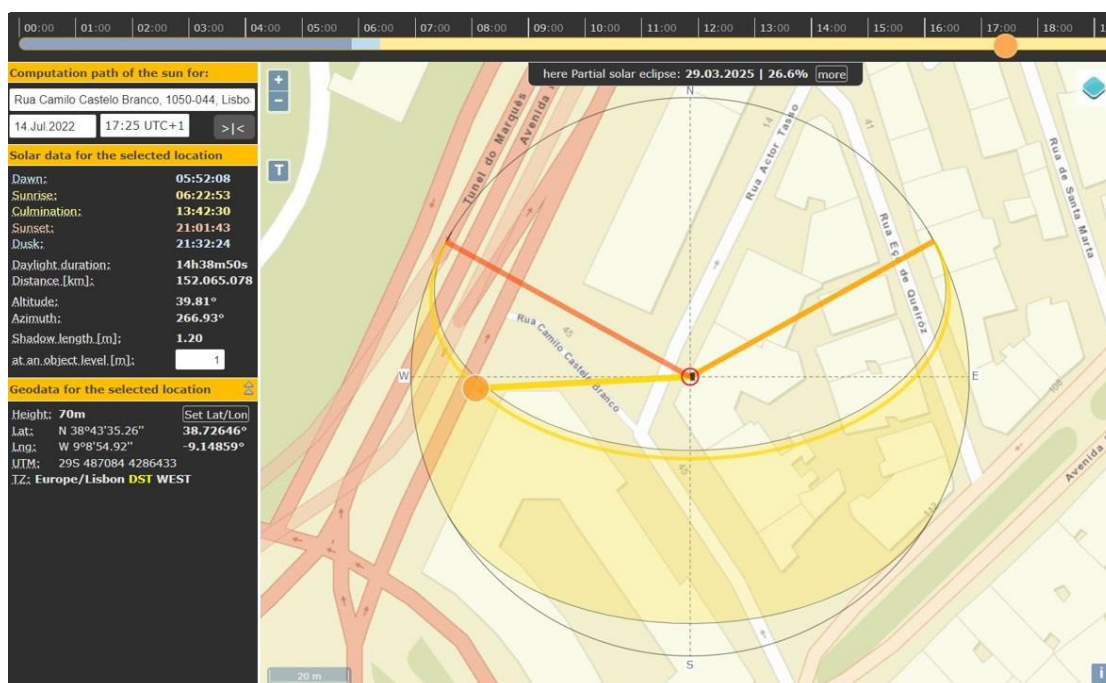
Selecionou-se o modelo TALLMAX Framed 144 [79], da marca Trina Solar, apresentando-se as suas principais características na Tabela 3.6, que constituem valores de referência para as condições ótimas (temperatura de célula no valor de 25 °C e irradiação de 1000 W/m<sup>2</sup>).

**Tabela 3.6** - Características do modelo de painel fotovoltaico TALLMAX

Potência (W)	395
Tensão de potência máxima, $V_{MP}$ (V)	40,1
Corrente nominal, $I_{MP}$ (A)	9,86
Tensão em circuito aberto, $V_{OC}$ (V)	48,7
Corrente de curto-circuito, $I_{SC}$ (A)	10,37
Dimensões (mm)	2015x996x35
Eficiência (%)	19,7
Tipo de célula	Monocristalino
Número de células	144

### 3.3.1.2. Módulos BIPV

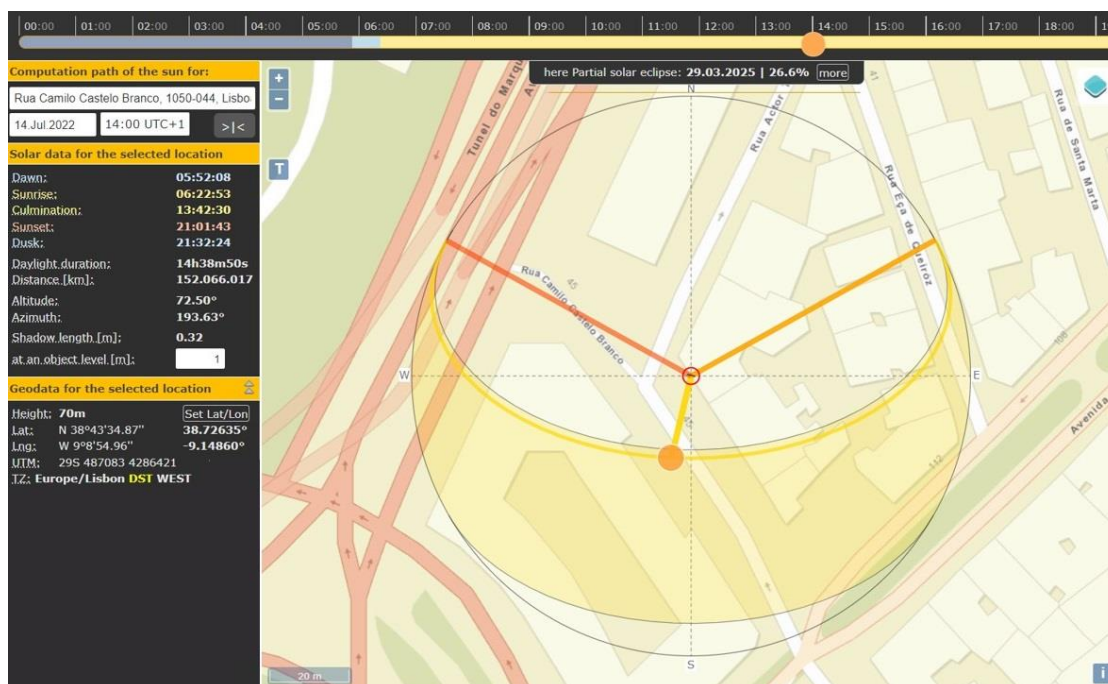
No que diz respeito à tecnologia BIPV, procedeu-se primeiramente, conforme já foi descrito, ao estudo da evolução da radiação ao longo do dia na localização do edifício, para vários meses do ano, através da ferramenta *SunCalc* [70]. Através dessa análise, constatou-se que na fachada orientada a este, nas traseiras do edifício, a radiação solar incide, maioritariamente, no período da manhã, até por volta das 12h/13h, conforme os meses do ano, encontrando-se o resto do dia à sombra, pelo que não se considerou vantajosa a instalação da tecnologia fotovoltaica nesta fachada.



**Figura 3.15** - Análise da evolução da radiação ao longo do dia na fachada a noroeste, através da ferramenta *SunCalc* [70]

Na fachada orientada a noroeste, por outro lado, o sol incide, essencialmente, ao fim da tarde, por volta das 16h/17h, o que significa que, para além do valor de irradiação ser manifestamente reduzido, a altura do sol no céu também é baixa, o que traria limitações à captação solar realizada pela tecnologia fotovoltaica, devido ao sombreamento provocado pelos edifícios presentes na envolvente do edifício. Na Figura 3.15, é possível verificar, para um dia do mês de julho, que o sol só incide naquele lado do edifício no período da tarde, sendo que, até por volta das 17h, o edifício em frente constitui um obstáculo à captação dessa radiação. Deste modo, considerou-se igualmente dispensável a instalação da tecnologia BIPV nesta fachada.

Por outro lado, na fachada principal, orientada a sudoeste, considerou-se vantajosa a aplicação desta tecnologia, uma vez que a radiação solar incide durante um período mais alargado do dia, entre as 12h/13h e as 18h/19h, consoante os meses do ano. É possível comprovar esse facto através da Figura 3.16, onde se verifica, para um dia do mês de julho, a maior amplitude de radiação incidente durante o dia, em comparação com a situação anterior.



**Figura 3.16** - Análise da evolução da radiação ao longo do dia na fachada a sudoeste, através da ferramenta *SunCalc* [70]

Para além disso, verificou-se, com auxílio do *Google Earth* [71], que, dada a orientação da fachada e a altura do sol na maior parte deste período, não existem grandes problemas associados ao sombreamento provocado pela envolvente do edifício.

Com base neste estudo, considerou-se apenas o aproveitamento desta fachada para a captação de energia solar. Desse modo, determinou-se o número de vãos envidraçados a ser substituído por módulos BIPV e a respectiva área, tendo-se estimado um valor de 178 m<sup>2</sup>, o que permite a instalação de 102 módulos, de acordo com as dimensões do modelo selecionado, BIPV-GG-M156-72 [80], da marca Solar Innova. As suas principais características apresentam-se na Tabela 3.7, sendo correspondentes às condições ótimas (temperatura de célula no valor de 25 °C e irradiação de 1000 W/m<sup>2</sup>).

**Tabela 3.7** - Características dos modelos de módulos fotovoltaicos [80]

Potência (W)	350
Tensão de potência máxima, $V_{MP}$ (V)	38,7
Corrente nominal, $I_{MP}$ (A)	9,04
Tensão em circuito aberto, $V_{OC}$ (V)	47
Corrente de curto-circuito, $I_{SC}$ (A)	9,6
Dimensões (mm)	1960x992x40
Eficiência (%)	18
Tipo de célula	Monocristalino
Número de células	72
Dimensões célula (mm)	156x156

### 3.3.2. Caso de Estudo 2: Alteração dos *Set-points* de Temperatura dos Equipamentos de Climatização

Numa outra abordagem, teve-se como principal foco o sistema de AVAC do edifício, procurando verificar a influência da alteração dos *set-points* de temperatura dos equipamentos de climatização nas cargas térmicas do mesmo, tendo sempre em perspetiva a melhoria do seu desempenho energético e a aproximação do objetivo NZEB. Desse modo, recorreu-se ao *software* Hourly Analysis Program (HAP) [69], onde se caracterizou o edifício, do ponto de vista energético, para determinar as suas cargas térmicas.

#### 3.3.2.1. Software HAP

O *software* HAP é constituído por diferentes menus, entre os quais: o menu *Weather*, onde se definem, entre outros, as condições gerais de projeto, os perfis de temperatura exterior e de radiação, correspondentes à localização do edifício; o menu *Spaces*, onde se caracterizam os espaços climatizados do edifício, nomeadamente, no que se refere às suas necessidades de ar novo, às cargas internas, às envolventes opacas e aos vãos envidraçados; o menu *Systems*, onde se definem os sistemas de climatização do edifício, no que diz respeito aos seus componentes, às unidades terminais e aos termostatos, onde se definem os respetivos *set-points*; e o menu *Plants*, onde se tratam as centrais de produção de água quente e refrigerada que servem esses sistemas. Na Figura 3.17, apresenta-se uma representação esquemática da metodologia adotada no *software* HAP.

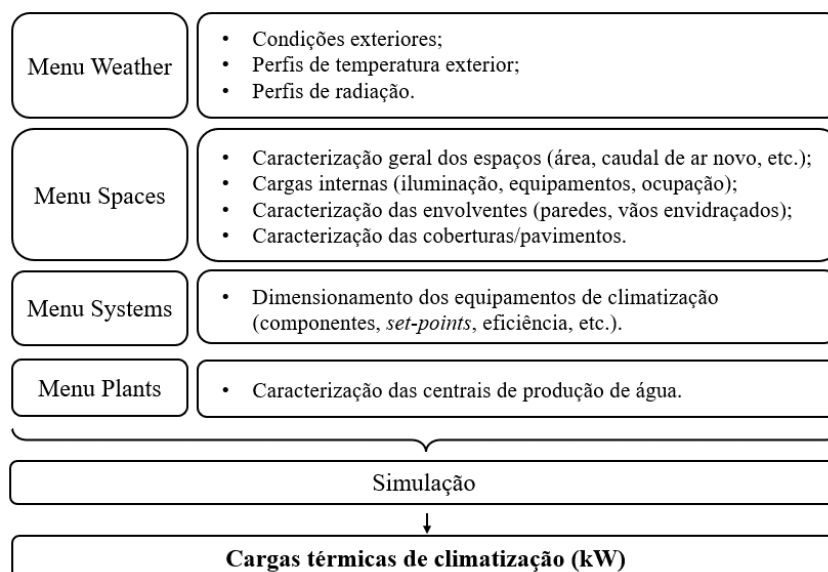


Figura 3.17 – Representação esquemática da metodologia seguida no *software* HAP

## Menu *Weather*: Condições Exteriores

No que diz respeito às temperaturas exteriores de projeto e à amplitude térmica diária, para a cidade de Lisboa, consultou-se o documento “Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-Dias” [81]. Para a estação de verão, considerando-se uma probabilidade acumulada de ocorrência de 99%, que garante que haja apenas 1% de probabilidade da temperatura seca naquela região atingir os valores tabelados, verificou-se uma temperatura de bolbo seco de 32,9 °C e uma temperatura de bolbo húmido coincidente de 20,8 °C, sendo a amplitude térmica diária de 10,5 °C.

Relativamente à estação de inverno, para uma probabilidade acumulada de 1%, em concordância com a escolha feita para a estação de verão, verificou-se uma temperatura de bolbo seco exterior de 4,3 °C [81]. No caso da temperatura de bolbo húmido coincidente, a sua determinação não é direta, sendo necessário recorrer à temperatura de bolbo seco e a um valor de humidade relativa, que se estimou de 95%.

Para isso, recorreu-se ao *software* HDPsyChart 7.5.8 [82], da Carrier, onde, através desses dois valores (temperatura de bolbo seco de 4,3 °C e humidade relativa de 95%) se determinou a temperatura de bolbo húmido coincidente, no valor de 3,8 °C. Na Tabela 3.8, apresenta-se um resumo das condições exteriores de projeto.

**Tabela 3.8** - Condições exteriores de projeto [81]

Temperatura de bolbo seco, verão	32,9 °C
Temperatura de bolbo húmido coincidente, verão	20,8 °C
Amplitude térmica diária, verão	10,5 °C
Temperatura de bolbo seco, inverno	4,3 °C
Temperatura de bolbo húmido coincidente, inverno	3,8 °C

De seguida, ajustaram-se as temperaturas máximas e mínimas de bolbo seco e húmido para todos os meses do ano, consultando-se, para isso, as tabelas relativas às medições de temperatura média e humidade relativa registadas durante o período entre os anos 1960 e 1976, na região de Lisboa [83]. Quanto às temperaturas de bolbo seco, consultaram-se diretamente os valores médios em [83]. Relativamente aos valores máximos e mínimos de bolbo húmido, começou por se consultar, os valores médios de temperatura e humidade relativa às 9h e às 18h de cada mês, e, recorrendo ao *software* da Carrier, traçaram-se os respetivos pontos na carta psicométrica, de onde foi possível determinar os valores de humidade específica correspondente, conforme se mostra na Tabela 3.9.

**Tabela 3.9** – Condições psicométricas às 9h e 18h de cada mês para a cidade de Lisboa [83]

Mês	9h			18h		
	Temp. BS (°C)	HR (%)	w (g/kg)	Temp. BS (°C)	HR (%)	w (g/kg)
Janeiro	10,3	87	6,79	11,9	81	7,03
Fevereiro	10,9	84	6,82	12,9	77	7,14
Março	12,7	82	7,51	13,4	73	6,99
Abril	14,8	76	7,99	15,4	69	7,53
Maio	17,5	73	9,13	17,6	67	8,42
Junho	20,0	71	10,41	20,4	65	9,75
Julho	21,9	69	11,38	23,4	61	11,02
Agosto	21,9	69	11,38	23,3	60	10,77
Setembro	20,6	74	11,27	22,0	66	10,95
Outubro	17,7	78	9,89	18,4	72	9,54
Novembro	13,5	81	7,82	14,9	74	7,82
Dezembro	10,8	84	6,78	12,6	77	7,00

Para a determinação da temperatura máxima e mínima de bolbo húmido de cada mês, recorreu-se, respetivamente, ao valor máximo e mínimo de entre todos os valores de humidade específica determinados anteriormente e à temperatura de bolbo seco média máxima e mínima, utilizando novamente o *software* HDPsyChart 7.5.8. Os resultados apresentam-se na Tabela 3.10.

**Tabela 3.10** – Temperaturas de bolbo seco e de bolbo húmido de cada mês para a cidade de Lisboa [83]

Mês	Max.			Min.		
	w máx. (g/kg)	T <sub>BS</sub> med-máx (°C)	T <sub>BH</sub> med-máx (°C)	w min. (g/kg)	T <sub>BS</sub> med-min (°C)	T <sub>BH</sub> med-min (°C)
Janeiro	11,38	14,9	14,90	6,78	7,1	7,10
Fevereiro	11,38	15,8	15,80	6,78	7,6	7,60
Março	11,38	17,6	16,54	6,78	8,5	8,35
Abril	11,38	19,9	17,34	6,78	9,8	8,95
Maio	11,38	22,6	18,25	6,78	11,6	9,76
Junho	11,38	25,4	19,16	6,78	14,0	10,81
Julho	11,38	28,1	20,00	6,78	15,8	11,57
Agosto	11,38	28,5	20,13	6,78	16,1	11,70
Setembro	11,38	26,7	19,57	6,78	15,1	11,28
Outubro	11,38	22,7	18,28	6,78	13,2	10,46
Novembro	11,38	18,3	16,79	6,78	9,9	8,99
Dezembro	11,38	15,4	15,40	6,78	7,6	7,60

No programa, é possível corrigir os perfis de radiação solar, através da aplicação de um fator multiplicador, que converte os ganhos de calor solar obtidos pelo *software* nos valores de referência para a localização do edifício, obtidos com recurso à ferramenta *Photovoltaic Geographical Information System* [72], para o período de 2005 a 2020. Nesse sentido, recorrendo ao relatório *Design Solar Profiles* do HAP, consultaram-se os ganhos de calor solar ( $\text{W/m}^2$ ) horários para cada mês do ano, para uma orientação horizontal, através dos quais se determinou a potência horária ( $\text{kWh/m}^2$ ) e o valor total diário e mensal correspondentes.

Por fim, determinou-se o fator multiplicador, dividindo o valor médio mensal de radiação de referência pelo valor obtido através do *software*, encontrando-se os resultados obtidos na Tabela 3.11.

**Tabela 3.11** - Correção dos perfis de radiação [69][72]

Mês	Total diário ( $\text{kWh/m}^2$ )	Total mensal ( $\text{kWh/m}^2$ )	Valor mensal de referência ( $\text{kWh/m}^2$ )	Fator multiplicador
Janeiro	2,4	73,5	69,7	0,95
Fevereiro	3,6	100,5	90,3	0,90
Março	4,9	152,6	135,6	0,89
Abril	6,1	183,0	167,4	0,91
Maio	6,9	212,5	210,0	0,99
Junho	7,1	213,1	221,0	1,04
Julho	6,8	211,1	237,3	1,12
Agosto	6,0	186,7	215,3	1,15
Setembro	4,8	142,8	165,5	1,16
Outubro	3,5	109,5	114,2	1,04
Novembro	2,4	71,1	73,8	1,04
Dezembro	1,9	59,5	64,4	1,08

### Menu *Spaces*: Caracterização dos Espaços

Quanto aos espaços que contribuem para a carga térmica do edifício, foram considerados os cinco espaços climatizados do piso -1 e os pisos 0, SL, 1, 2, 3, 4, 5 e 6, considerando-se, como simplificação, que, à exceção das salas do piso -1, se tratam de espaços *open space*. Não se conhecendo a área de cada piso do edifício, recorreu-se ao *Google Earth* [71] para a sua determinação, ajustando-se esses valores à área total correspondente, para cada tipologia, apresentada em [67].

Na Figura 3.18, representa-se genericamente cada um dos espaços do edifício.



**Figura 3.18** – Representação genérica dos pisos do edifício (adaptado de [68])

De seguida, caracterizaram-se as cargas internas do edifício, nomeadamente, as cargas associadas à iluminação, aos equipamentos e à ocupação dos diversos pisos do edifício, tendo-se por base a informação disponibilizada em [67]. Relativamente à iluminação, é dada a informação da potência instalada em cada piso, tendo-se feito a consideração de que se tratam de armaduras encastradas e ventiladas, uma vez que se encontram instaladas no teto falso. Quanto às cargas dos equipamentos, em [67], apresenta-se um levantamento dos equipamentos instalados em cada piso, de onde se estimou a respetiva potência e fator de simultaneidade, o que permitiu determinar a carga associada. No que diz respeito à ocupação, é indicado que o valor total de ocupação do edifício é de 172 pessoas, pelo que se estimou um valor de ocupação para cada piso, de 25 pessoas para o piso 0 e de 21 pessoas para cada um dos restantes pisos de escritórios.

Definiram-se também os respetivos *schedules*, para o qual se teve como base os perfis horários relativos à tipologia de escritórios apresentados no Decreto-Lei nº79/2006 (RSECE) [16], procurando que fossem representativos da rotina de utilização dos espaços do edifício. No caso das salas técnicas, presentes no piso -1, considerou-se um perfil de ocupação e de iluminação de 0% e de 100% para o perfil dos equipamentos, uma vez que estes espaços se destinam apenas à monitorização do edifício, não sendo ocupados por qualquer pessoa durante o período de funcionamento do mesmo.

Para a determinação da quantidade de ar novo que deve ser introduzida em cada espaço do edifício, de modo a manter as condições de conforto no seu interior, combinaram-se duas metodologias: a Lei EN 15251:2008 [84] e o SCE [73].

Primeiramente, foi necessário caracterizar a eficácia de ventilação de cada espaço, de acordo com a configuração da distribuição de ar na zona, tendo-se selecionado o tipo 3, correspondente a uma insuflação realizada junto ao teto, com ar pelo menos 8 °C acima da temperatura do espaço, sendo a eficácia no valor de 0,8. Na metodologia da Lei EN 15251:2008, para se obter o caudal mínimo de ar novo, foi necessário caracterizar as emissões do edifício e a percentagem de insatisfeitos em cada espaço, tendo-se definido o nível “muito baixo” para as emissões e o nível 1 para a percentagem de insatisfeitos, correspondente a 15%, para todos os espaços. Seguindo o método da SCE, definiu-se o tipo de atividade (sono, descanso, sedentário baixo, sedentário moderado, etc.) de cada espaço, tendo-se selecionado a opção “sedentário baixo”, uma vez que se trata de um edifício de escritórios, e a situação do edifício, considerando-se o nível 2, correspondente a “sem atividade de emissão de poluentes específicos”. Combinando estas duas metodologias, selecionou-se o caudal de maior valor de entre os caudais obtidos para cada metodologia, para cada espaço do edifício. Para as salas técnicas do piso -1, determinou-se o caudal de ar, assumindo 7 renovações por hora.

O resultado das considerações feitas na caracterização dos espaços do edifício, descritas anteriormente, encontra-se representado na Tabela 3.12.

**Tabela 3.12** – Caracterização geral dos espaços do edifício

Piso	Designação	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal de ar novo (l/s)	Iluminação (W/m <sup>2</sup> )	Equipamentos (kW)	Ocupação
0	Receção/ Gabinetes	815	850	3,1	3,86	25
SL	Gabinetes (Open Space)	740	775	2,7	11,25	21
1		636	665	3,9	13,88	21
2		636	665	3,7	14,30	21
3		396	510	3,9	6,14	21
4		396	510	4,4	9,20	21
5		396	510	7,4	3,08	21
6		290	445	4,3	4,15	21
-1	Casa Máquinas	143	0	2,6	0,27	0
	SGT	88	0	4,2	0,27	0
	Sala Telecomunicações	88	0	4,2	0,27	0
	UPS	72	0	5,2	0,27	0
	Servidores	106	0	3,5	0,27	0
-5	Garagens	815	-	0,8	0	0
-4		815	-	0,8	0	0
-3		815	-	0,8	0	0
-2		815	-	0,8	0	0

No caso das envolventes, foi feito um levantamento prévio das mesmas, tendo em consideração a sua área, orientação e constituição, recorrendo-se, uma vez mais, ao *Google Earth* para a medição de superfícies. Em [67], são listadas apenas as envolventes e os respetivos valores de coeficiente global de transmissão térmica (U), não sendo conhecidas todas as características inerentes à constituição de cada envolvente. Nesse sentido, importou caracterizar inteiramente cada tipo de parede, pavimento e cobertura presentes no edifício, tendo em conta os materiais constituintes e as respetivas espessuras, o que permitiu determinar os respetivos valores de U. Para isso, recorreu-se ao documento ITE 50 [85], do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), onde se estimou essa constituição, através da consulta dos valores de resistência térmica ou de condutibilidade térmica, dependendo dos casos, de modo a que essa constituição resultasse num valor de U semelhante ao apresentado em [67].

Um resumo das envolventes consideradas, e do respetivo valor de U determinado, encontra-se representado na Tabela 3.13.

**Tabela 3.13** – Caracterização das envoltentes do edifício

Envoltente	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Parede Exterior	1,15
Parede Interior	1,44
Cobertura Exterior	1,73
Cobertura Interior	1,70
Pavimento	2,21

Para além das envoltentes opacas, foi necessário caracterizar os vãos envidraçados do edifício, que assumem especial importância, uma vez que as fachadas do edifício são constituídas, quase na totalidade, por esses elementos. Nesse âmbito, devido à grande diversidade de vãos envidraçados na envoltente do edifício, listados também em [67], optou-se por fazer uma simplificação ao caso de estudo, considerando apenas dois tipos de vão, por se encontrarem em maior número no edifício. A dimensão desses vãos foi estimada, com base em medições efetuadas com recurso ao *Google Earth*, encontrando-se essa e a restante informação relativa a esses vãos na Tabela 3.14.

**Tabela 3.14** - Caracterização dos vãos envidraçados (adaptado de [67])

Vão Envidraçado	Largura (m)	Altura (m)	Fator Solar	U (W/m <sup>2</sup> °C)
1	1	2	0,34	3,9
2	1	1,3	0,34	4,3

De modo a simplificar o estudo, considerou-se que as fachadas do edifício que são totalmente envidraçadas são, no *software*, constituídas por parede exterior preenchida com vãos envidraçados. Por fim, não foram consideradas infiltrações ou partições.

### **Menu Systems: Sistemas de Climatização**

No caso do sistema de climatização centralizado, inseriu-se no *software* uma UTAN com um sistema a 4 tubos como unidade terminal, constituída por: módulo de admissão de ar, recuperador de calor de fluxos cruzados, serpentina de arrefecimento, serpentina de aquecimento, unidade de humificação, desumificação, ventilador de insuflação, sistema de condutas e ventilador de extração.

Para o processo de recuperação de calor sensível, considerou-se uma eficiência de 70%. Relativamente à serpentina de arrefecimento, é alimentada por um *chiller* e apresenta um fator *bypass* de 0,1, enquanto a serpentina de aquecimento é alimentada por água quente.

No que diz respeito aos *set-points* de temperatura da UTAN, o foco principal deste caso de estudo, definiu-se inicialmente uma temperatura de 24 °C para ocupação e 26 °C para inocupação, no caso do arrefecimento; e uma temperatura de 21 °C para ocupação e 19 °C para inocupação, no caso do aquecimento. A definição dessas temperaturas corresponde à aplicação dos valores estabelecidos pela legislação [73] para o conforto térmico em edifícios: 20 °C para aquecimento e 25 °C para arrefecimento.

Para as restantes situações, foram definidas temperaturas de 26 °C e 27 °C para o *set-point* de arrefecimento (mantendo um *set-point* de aquecimento de 20 °C), simuladas para o mês de julho, e temperaturas de 18 °C e 19 °C para o *set-point* de aquecimento (mantendo um *set-point* de arrefecimento de 25 °C), simuladas para o mês de janeiro. Na Tabela 3.15, apresenta-se um resumo das considerações tomadas na aplicação do Caso de Estudo 2.

**Tabela 3.15** - Resumo da aplicação do Caso de Estudo 2

	<i>Set-point</i> de aquecimento	<i>Set-point</i> de arrefecimento
Situação base	20 °C	25 °C
janeiro	19 °C	25 °C
	18 °C	25 °C
julho	20 °C	26 °C
	20 °C	27 °C

No processo de humidificação, definiu-se um valor mínimo de humidade relativa de 35%, tratando-se de um humidificador de produção autónoma de calor por resistência elétrica. Definiu-se igualmente um valor máximo de humidade relativa de 50%. No que aos ventiladores diz respeito, considerou-se um ventilador de insuflação de pás avançadas, com um motor de frequência variável, uma eficiência de 48% e uma perda de carga de 1220 Pa (estimada através da soma da perda de carga de cada um dos componentes do sistema, com base na informação contida na norma EN 13779:2007 [86], relativa à ventilação de edifícios não residenciais) e um ventilador de extração de pás avançadas, eficiência de 54% e uma perda de carga de 800 Pa (de acordo com [86]). Para os ventiloconvectores, definiu-se uma perda de carga de 100 Pa. Por fim, definiu-se uma diferença de temperatura de 5 °C para os sistemas hidrónicos e um fator de segurança de 5% para a situação de arrefecimento e 15% para a situação de aquecimento.

Relativamente às *splits* das salas técnicas do piso -1, tratam-se de equipamentos de zona única e volume de ar constante. Estas unidades realizam apenas o controlo da temperatura dos espaços e no caso do arrefecimento, uma vez que se pretende que esta seja inferior a 25 °C, considera-se que estes espaços são mantidos a 24 °C, para ocupação e para inocupação, correspondendo a uma temperatura de insuflação de 16 °C. O fator de *bypass* da serpentina é de 0,1, a fonte de arrefecimento é de expansão direta e o controlo de capacidade é cíclico. O ventilador de insuflação é de pás avançadas, a montante da serpentina, a sua eficiência é de 54% e considerou-se um controlo de 2 velocidades, sendo a velocidade mais baixa no valor de 67%. Por fim, definiu-se um fator de segurança de 5% para a situação de arrefecimento.

### **Menu *Plants*: Centrais**

Por fim, caracterizaram-se as centrais de produção de água quente e arrefecida que alimentam os sistemas de climatização, com vista a determinar as respetivas potências. Para isso, define-se o tipo de central e determina-se o caudal de água que circula na mesma, com base na potência máxima de aquecimento/arrefecimento da UTAN.

### 3.3.3. Caso de Estudo 3: Melhoria das Envolventes do Edifício

No terceiro caso de estudo, considerou-se a melhoria das envolventes do edifício, nomeadamente, no que diz respeito à substituição dos vãos envidraçados existentes e à melhoria do isolamento dos elementos construtivos das fachadas, sendo que estas medidas de eficiência energética foram igualmente aplicadas em [67]. A implementação destas soluções técnicas visa, essencialmente, reduzir as trocas de calor entre a superfície exterior e interior do edifício, uma vez que possuem melhores características térmicas que as implementadas inicialmente no edifício, procurando, deste modo, reduzir o consumo energético relativo à climatização do mesmo.

#### Vãos Envidraçados

No que se refere aos vãos envidraçados, a Portaria nº349-D/2013 [25] indica os coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência e o fator solar de referência para edifícios de comércio e serviços, de acordo com a zona climática do edifício. Como foi visto anteriormente, a zona climática do edifício em estudo é II V2 e, portanto, o coeficiente de transmissão térmica de referência tem o valor de  $4,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto o fator solar de referência se fixa nos 0,20 [25].

Na situação inicial, uma vez que não se conheciam na íntegra as características dos vãos envidraçados do edifício e como eram de diversos tipos, foram apenas considerados para a caracterização do edifício os dois tipos de vãos que se encontravam em maior número, de acordo com o referido em [67].

Esses vãos apresentavam um coeficiente de transmissão térmica no valor de  $3,9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $4,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , respetivamente, e um fator solar de 0,34, em ambos os casos (Tabela 3.14). Para a sua substituição, e tendo em conta os valores impostos pela legislação, considerou-se o modelo SGG COOL-LITE SKN 144 II, da marca Saint-Gobain, um vidro de controlo solar e isolamento térmico, adequado para grandes áreas envidraçadas e para edifícios de serviços [87]. As suas características térmicas encontram-se apresentadas na Tabela 3.16.

**Tabela 3.16** - Caracterização dos vãos envidraçados após a sua substituição (adaptado de [67])

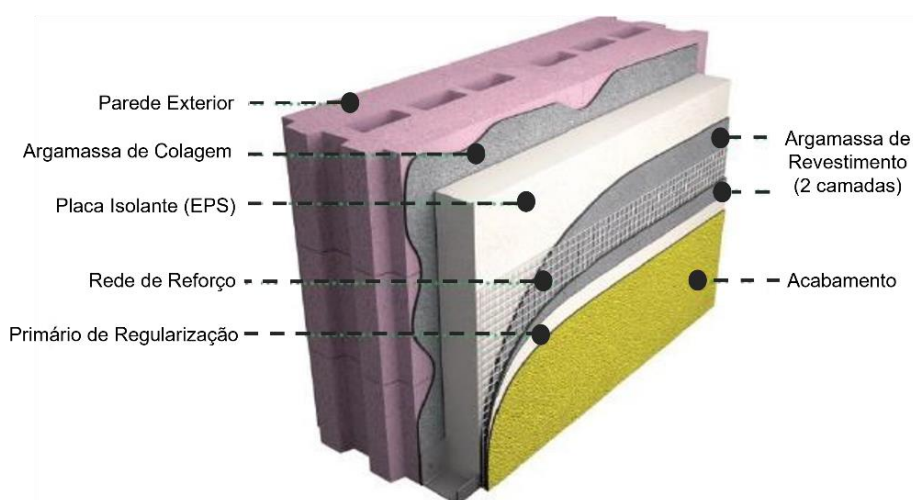
Vão Envidraçado	Fator Solar	U ( $\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ )
SGG COOL-LITE SKN 144 II	0,23	1,1

Conforme se verifica na Tabela 3.16, com a aplicação desta medida, é possível reduzir substancialmente o valor do coeficiente de transmissão térmica e o fator solar dos vãos envidraçados, o que se espera que resulte igualmente numa diminuição de consumo. Quanto à sua aplicação, considerou-se a substituição dos vãos envidraçados de todas as fachadas do edifício.

### Envolvente Opaca

No caso da envolvente opaca exterior, a Portaria nº349-D/2013 [25] define o coeficiente de transmissão térmica superficial de referência e o coeficiente de transmissão térmica máximo admissível para este tipo de edifícios, uma vez mais, de acordo com a zona climática do edifício, no valor de  $0,70 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $1,75 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , respetivamente [25].

Na situação inicial, à semelhança do ocorrido com os vãos envidraçados, uma vez que não se conhecia na íntegra a constituição dos elementos opacos do edifício, caracterizaram-se as diferentes envolventes com base no seu valor de coeficiente de transmissão térmica e na sua espessura, de acordo com a informação fornecida em [67]. Desse modo, a parede exterior geral do edifício apresentava uma coeficiente de transmissão térmica no valor de  $1,15 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  e uma espessura de 25 cm (Tabela 3.13), sendo revestida por reboco, interior e exteriormente, e não possuindo qualquer tipo de isolamento interior. Para a melhoria do seu desempenho térmico, optou-se pela aplicação de um sistema ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), um sistema de isolamento pelo exterior que consiste na aplicação de um material isolante, poliestireno expandido (EPS), na camada exterior da parede exterior do edifício.



**Figura 3.19** - Componentes principais do sistema Weber.Therm Classic Saint-Gobain (adaptado de [88])

A instalação deste tipo de sistema permite a melhoria substancial do isolamento térmico das fachadas do edifício, sem que haja qualquer interferência com a utilização dos espaços interiores durante a sua aplicação. Selecionou-se então o sistema Weber-Thermal Classic, da marca Saint-Gobain, apresentando-se, na Figura 3.19, os principais componentes deste tipo de sistema [88].

De acordo com o catálogo da marca, existem várias opções para a espessura da camada de isolante EPS, sendo que, considerando-se uma camada de 40 mm, com uma condutibilidade térmica de 0,034 W/m °C, obtém-se um novo valor de coeficiente de transmissão térmica no valor de 0,50 W/m<sup>2</sup> °C para a parede exterior, como se mostra na Tabela 3.17.

**Tabela 3.17** - Caracterização das envolventes do edifício após a sua melhoria

Envolvente	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Parede Exterior (com sistema ETICS)	0,50

Conforme se constata na Tabela 3.17, com a aplicação desta medida, é possível melhorar o comportamento térmico das paredes exteriores do edifício, reduzindo drasticamente o valor do coeficiente de transmissão térmica das mesmas, de 1,15 W/m<sup>2</sup> °C para 0,5 W/m<sup>2</sup> °C. Quanto à sua aplicação, considerou-se que a intervenção é realizada em todas as paredes exteriores do edifício, a par do realizado em [67].

### **3.3.4. Caso de Estudo 4: Combinação de Todas as Medidas com a Mobilidade Elétrica**

No quarto caso de estudo, procurou incluir-se a mobilidade elétrica na gestão de cargas do edifício, conciliando-a com a aplicação de todas as medidas de eficiência energética anteriores, em simultâneo. No que diz respeito à mobilidade elétrica, em vez da habitual situação em que os veículos elétricos recorrem aos excedentes da energia renovável produzida pelo edifício para o carregamento das suas baterias, funcionando como uma carga, neste caso, será o edifício a recorrer à energia armazenada nas baterias dos veículos elétricos, funcionando estes como uma fonte.

De modo a quantificar a energia trocada entre os veículos e o edifício (V2B) neste processo, existem alguns aspetos importantes a ter em conta, como o estado de carga (SOC, do inglês *State of Charge*) e a capacidade de armazenamento das baterias.

O SOC diz respeito ao rácio entre a energia armazenada na bateria e a capacidade da mesma, variando entre 0 (se a bateria estiver totalmente descarregada) e 100% (se a bateria estiver totalmente carregada) [89]. Neste estudo, considerou-se que o SOC inicial dos veículos elétricos que se encontram no edifício varia entre 40 e 85%. De acordo com [89], as baterias descarregam energia mais facilmente quando o seu SOC se encontra acima de um determinado nível de tolerância, estipulando-o em 60%, valor igualmente considerado neste estudo. Relativamente à capacidade das baterias, considerou-se, de acordo com diferentes modelos de diversos segmentos, uma gama de valores entre 20 e 52 kW [90]. Nesse âmbito, uma vez que o edifício em estudo é constituído por quatro pisos de garagem, considerou-se inicialmente que existem 10 lugares de estacionamento destinados a veículos elétricos, aumentando progressivamente esse número. Com base nisso, e com vista a determinar a carga que é possível ceder ao edifício, desenvolveu-se uma ferramenta numérica, onde se gerou aleatoriamente, para esses veículos:

- A hora de entrada no edifício, entre as 8h e as 10h;
- O valor do estado de carga da bateria ( $SOC_{\text{atual}}$ ), entre 40 e 85%;
- O valor da capacidade total da bateria ( $E_{\text{total}}$ ), entre 20 e 52 kWh.

De acordo com esses parâmetros, estabeleceu-se a premissa de que apenas os veículos que cheguem ao edifício com um estado de carga superior a 60% estão em condições de lhe ceder energia, cedendo, nesse caso, 2,2 kW por hora (considerando uma tensão de 230 V e uma corrente de 10 A). Definiu-se esse valor, uma vez que se trata do valor mínimo de potência com que é possível carregar um veículo elétrico, tendo-se assumindo o mesmo valor para o descarregamento. Antes de ser atingindo um valor de estado de carga correspondente a 60%, a cedência de carga é terminada.

Para a determinação dos indicadores de eficiência energética, uma vez que a legislação aplicável não contempla a mobilidade elétrica, realizaram-se três análises distintas, com vista a verificar o impacto das cargas daí provenientes na classificação energética do edifício: por um lado, considerou-se que a energia cedida ao edifício pelos veículos elétricos corresponde a uma carga do tipo R ( $IEE_R$ ), entrando para o cálculo do  $R_{IEE}$  como uma carga “positiva”; por outro, que esse parâmetro contribui para as cargas do tipo S ( $IEE_S$ ), tratando-se, nesse caso, de uma carga “negativa”, uma vez que se trata de energia que o edifício recebe; e, por fim, considerou-se o cenário em que essas cargas representam cargas do tipo T e, portanto, não são contabilizadas nesse cálculo.

## 4. Resultados

Neste capítulo, apresentam-se os resultados dos diferentes casos de estudo, procurando verificar se a aplicação das diversas medidas de eficiência energética resulta, efetivamente, na aproximação do edifício da meta NZEB. Primeiramente, procede-se à validação dos resultados e, conseqüentemente, da ferramenta numérica desenvolvida. Posteriormente, apresentam-se os resultados obtidos para cada caso de estudo (simulados, em todas as situações, para uma semana típica do mês de janeiro e do mês de julho), acompanhados da determinação dos indicadores de eficiência energética correspondentes, assim como da respetiva análise de emissões de CO<sub>2</sub> e da análise económica.

### 4.1. Validação de Resultados

Como foi referido anteriormente, procedeu-se à validação de resultados, de modo a validar o modelo numérico implementado, que utiliza informação do *software* HAP, garantindo que este representa adequadamente o funcionamento real do edifício em estudo. Para isso, comparou-se a potência horária da carga correspondente ao funcionamento de todos os equipamentos, estimado pelo *software* HAP, com a medição horária do consumo real, proveniente do quadro de AVAC, apresentada em [67], tratando-se, em ambos os casos, de dados obtidos para o mês de julho. Não se procedeu à validação dos resultados para o mês de janeiro, dado que não se teve acesso à informação relativa ao consumo horário real para esse mês. Uma vez que as potências provenientes do quadro elétrico de AVAC representam cargas elétricas, foi necessário convertê-las em cargas térmicas, de acordo com a equação (4.1). Dado que os equipamentos que têm maior peso no consumo energético são os *chillers* e estes apresentam, na sua maioria, um COP de valor igual a 2 [67], considerou-se esse valor para a conversão de cargas.

$$P_{term} = COP \cdot P_{elctr} \quad (4.1)$$

Onde:

$P_{term}$  – Potência térmica (kW)

COP – Coeficiente de desempenho (*Coefficient of Performance*)

$P_{elctr}$  – Potência elétrica (kW)

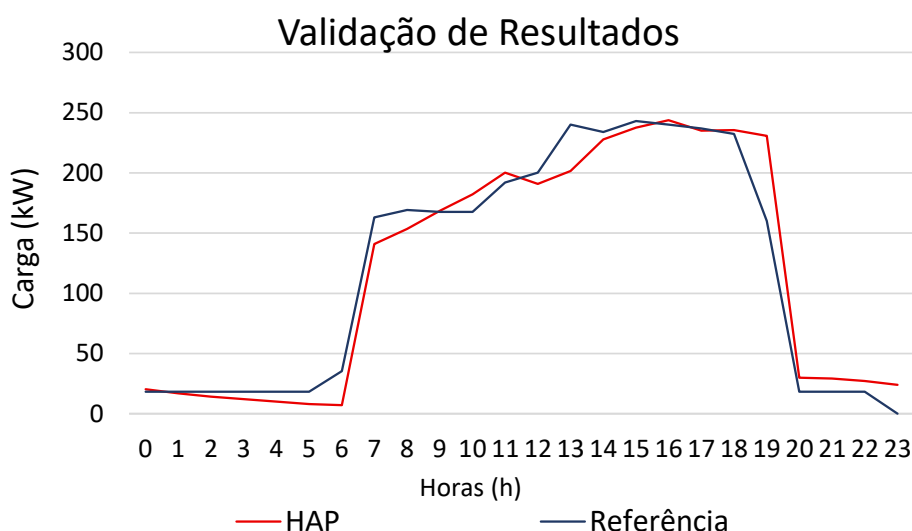
Por outro lado, comparou-se a carga térmica de pico, de arrefecimento e aquecimento, obtida no HAP para cada um dos equipamentos de climatização, com a potência máxima real correspondente, apresentada em [67].

Em ambos os casos, a simulação no *software* foi realizada, considerando um *set-point* de arrefecimento no valor de 25 °C e de aquecimento no valor de 20 °C, por se tratarem dos valores de referência relativos às condições ambientes de conforto em edifícios presentes na legislação [73][17].

Os resultados obtidos para as cargas horárias do mês de julho encontram-se representados na Tabela 4.1 e na Figura 4.1.

**Tabela 4.1** - Validação de resultados: julho

Horas	Referência		Simulação HAP			Desvio (%)
	Medições AVAC (kWe)	Medições AVAC (kWt)	Cargas UTAN e VCs (kW)	Cargas <i>Splits</i> (kW)	Cargas Totais de AVAC (kW)	
0	9,2	18,4	3,9	16,6	20,5	11,2
1	9,2	18,4	1,9	15,1	17,0	-7,9
2	9,2	18,4	0,9	13,2	14,1	-23,4
3	9,2	18,4	0,3	11,8	12,1	-34,0
4	9,2	18,4	0,2	9,9	10,1	-45,4
5	9,2	18,4	0,0	8	8,0	-56,5
6	17,7	35,4	0,0	7,1	7,1	-79,9
7	81,5	163,1	135,4	5,5	140,9	-13,6
8	84,6	169,2	149,4	4	153,4	-9,4
9	83,9	167,7	165,4	3,1	168,5	0,5
10	83,9	167,7	178,8	3,5	182,3	8,7
11	96,0	192,0	195,6	4,5	200,1	4,2
12	100,1	200,2	184,6	6,3	190,9	-4,7
13	120,0	240,0	193,2	8,3	201,5	-16,1
14	116,9	233,8	217,2	10,5	227,7	-2,6
15	121,5	243,1	224,8	12,8	237,6	-2,2
16	120,0	240,0	228,8	15	243,8	1,6
17	118,5	236,9	218,2	16,8	235,0	-0,8
18	116,2	232,3	216,6	18,9	235,5	1,4
19	80,0	160	211,0	19,6	230,6	44,2
20	9,2	18,4	9,6	20,4	30,0	63,0
21	9,2	18,4	8,8	20,4	29,2	58,9
22	9,2	18,4	7,4	19,8	27,2	48,0
23	0	0	5,6	18,4	24,0	-



**Figura 4.1** - Validação de resultados: julho

Como se mostra na Figura 4.1, quando se comparam as potências horárias obtidas na simulação realizada no HAP com os valores reais, provenientes das medições do quadro de AVAC [67], verifica-se que a distribuição das cargas ao longo do dia é muito semelhante, com os valores a apresentarem a mesma ordem de grandeza, em ambos os casos. Tanto nas horas de início de funcionamento do edifício, como ao fim do dia, as cargas apresentam a mesma tendência, observando-se ligeiros desvios durante o dia. Deste modo, considera-se que o modelo simulado se encontra validado.

Na Tabela 4.2, encontram-se os resultados obtidos para as cargas térmicas de pico.

**Tabela 4.2** - Validação de resultados - valores de pico

Equipamento	Potência de Arrefecimento (kW)			Potência de Aquecimento (kW)		
	Referência	HAP	Desvio (%)	Referência	HAP	Desvio (%)
Chillers	515	264,7	-48,6	533	330,2	-38,0
UTAN	81	106,3	31,2	127	50,4	-60,3
Split CM	7,9	5,8	-26,6	-	-	-
Split SGT	5	3,7	-26,0	-	-	-
Split ST	5	3,7	-26,0	-	-	-
Split UPS	4	3,1	-22,5	-	-	-
Split Serv.	6	4,3	-28,3	-	-	-

Da análise decorrente dos dados presentes na Tabela 4.2, averigua-se que os valores de pico obtidos no *software* HAP divergem de um modo mais acentuado dos valores de referência, face à situação anterior.

Relativamente aos *chillers*, as simulações realizadas resultaram em potências máximas inferiores às indicadas nas especificações desses equipamentos, apresentadas em [67]. Verifica-se que, em nenhum momento do seu funcionamento, os *chillers* instalados no edifício excedem as cargas máximas para as quais foram dimensionados, podendo a diferença considerável entre os valores obtidos e os valores de referência representar uma situação de sobredimensionamento dos mesmos.

No que diz respeito à UTAN, verifica-se que a potência máxima de arrefecimento obtida no *software* HAP excede a potência de arrefecimento para a qual o equipamento foi dimensionado. O mesmo não sucede no caso do aquecimento, com a potência de pico proveniente da simulação a ser inferior ao valor de referência, apresentando, ainda assim, um desvio substancial, que pode representar, uma vez mais, uma situação de sobredimensionamento.

No caso das *splits* do piso -1, os valores obtidos apresentam a mesma ordem de grandeza dos valores de referência, podendo os desvios verificados dever-se a algum tipo de imprecisão na caracterização dos respetivos espaços, conseqüente da escassa informação disponível relativa aos mesmos.

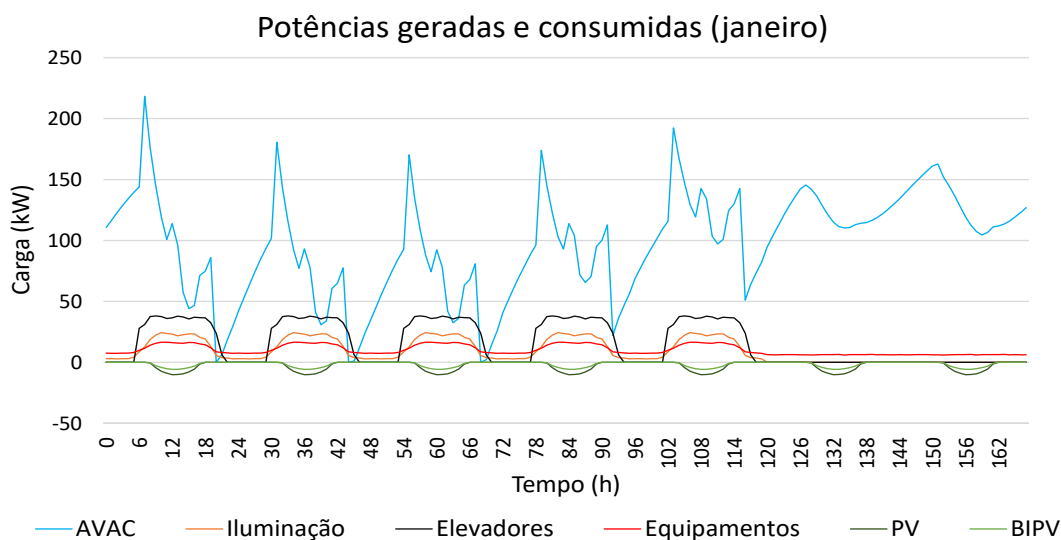
Deste modo, uma vez que, na grande generalidade dos casos, as cargas máximas obtidas nas simulações não excedem as potências máximas definidas nas especificações dos respetivos equipamentos; a juntar à proximidade de valores verificada na comparação das cargas horárias ao longo de um dia; e ao facto de não se dispor de outro meio de validação, considera-se que o modelo numérico utilizado é válido.

## 4.2. Caso de Estudo 1: Implementação de Energias Renováveis

No primeiro caso de estudo, considerou-se apenas a implementação de energias renováveis no edifício, através da instalação de painéis fotovoltaicos nas coberturas do edifício e de módulos fotovoltaicos nas fachadas do mesmo.

### Janeiro

Na Figura 4.2, apresentam-se as potências geradas e consumidas ao longo de uma semana de janeiro, onde se verifica que, durante o período de funcionamento do edifício (de segunda a sexta), a distribuição destas cargas é semelhante, com as cargas relativas ao sistema de AVAC a serem responsáveis pela maioria do consumo energético. Essas cargas apresentam valores máximos a variar, maioritariamente, entre os 150 kW e os 200 kW. As cargas relativas à iluminação atingem um pico diário de 23 kW, enquanto as cargas referentes aos equipamentos atingem um valor máximo de potência de 17 kW. As cargas correspondentes aos elevadores, por sua vez, apresentam uma potência máxima diária de 38 kW.

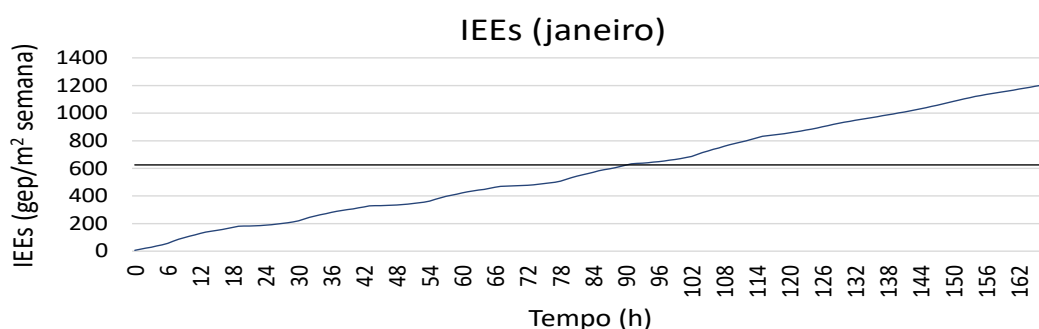


**Figura 4.2** – Caso de Estudo 1: Potências geradas e consumidas (janeiro)

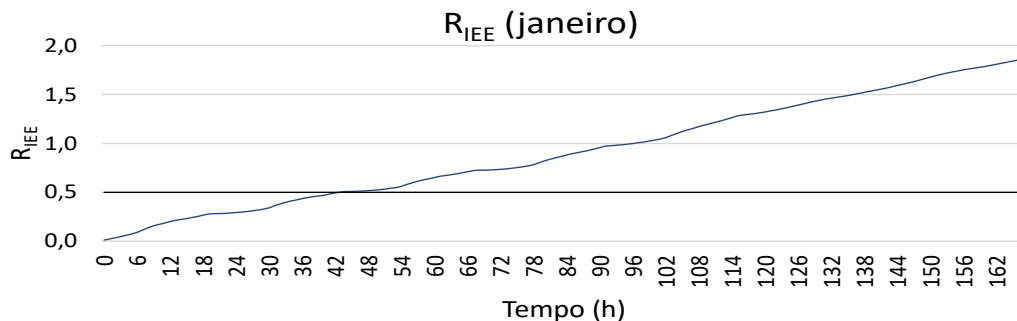
Por outro lado, verifica-se que a produção fotovoltaica (PV e BIPV) não é significativa, representando apenas cerca de 3% da energia requerida à rede, ao longo da semana. Os painéis fotovoltaicos produzem cerca de 10 kW de pico ao longo do dia, enquanto os módulos BIPV são responsáveis pela produção de, no máximo, 5,7 kW por dia.

Esta situação deve-se ao facto de, para além de no mês de janeiro os níveis de radiação serem muito baixos, face ao resto do ano, o edifício não apresentar condições muito favoráveis para o aproveitamento de energia solar.

Na Figura 4.3 e na Figura 4.4, representa-se, respetivamente, a evolução do IEEs e do R<sub>IEE</sub> ao longo da semana de janeiro. O IEEs apresenta um valor de 1209 gep/m<sup>2</sup>.semana, muito superior ao requerido pela meta NZEB (625 gep/m<sup>2</sup>.semana, correspondendo a 75% do IEEs de referência). O R<sub>IEE</sub> apresenta um valor de 1,87, o que corresponde a uma classificação energética de “D” ( $1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$ ).



**Figura 4.3** - Caso de Estudo 1: Evolução do IEEs (janeiro)

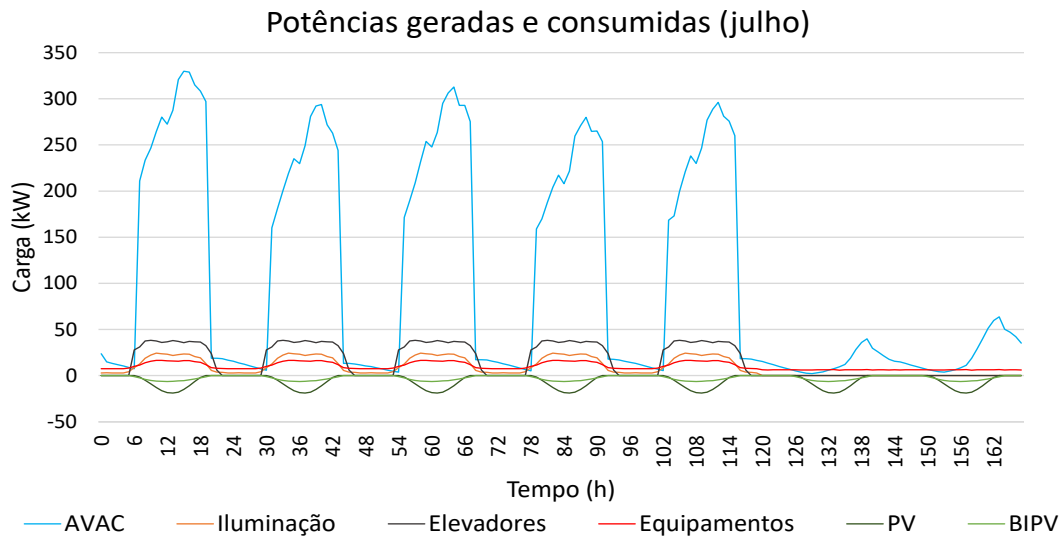


**Figura 4.4** - Caso de Estudo 1: Evolução do R<sub>IEE</sub> (janeiro)

## Julho

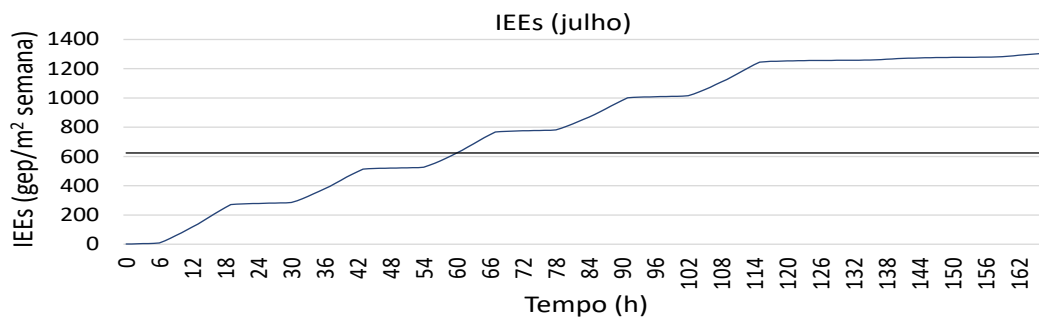
Na Figura 4.5, apresentam-se as potências geradas e consumidas pelas cargas ao longo de uma semana de julho, onde, à semelhança do ocorrido em janeiro, se verifica um comportamento idêntico do consumo energético nos dias úteis. Por outro lado, por se tratar de um mês onde se fazem sentir temperaturas mais elevadas, as cargas correspondentes à climatização são superiores às verificadas em janeiro, com valores máximos a variar, na sua maioria, entre os 250 kW e os 300 kW. Aos fins de semana, por sua vez, encontram-se apenas a funcionar as *splits* das salas técnicas, o que reduz drasticamente o consumo do AVAC.

Em julho, a energia produzida pela tecnologia fotovoltaica é superior à verificada no mês de janeiro, uma vez que os índices de radiação solar neste mês são superiores, ainda assim, continua a não ser significativa, face aos valores das restantes cargas. Essa energia representa cerca de 6% da energia requerida à rede, ao longo da semana, com os painéis fotovoltaicos a serem responsáveis pela produção de, no máximo, 19 kW ao longo do dia, face aos 6,3 kW produzidos pelos módulos BIPV.

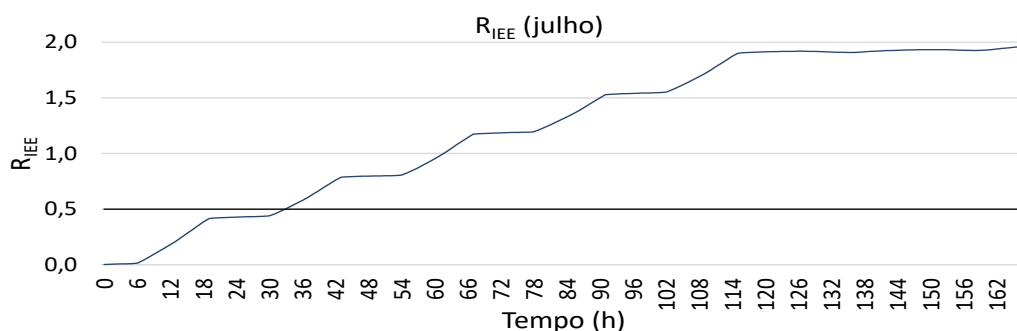


**Figura 4.5 - Caso de Estudo 1: Potências geradas e consumidas (julho)**

A par do que se verifica em janeiro, o valor de IEEs, representado na Figura 4.6, continua superior ao pretendido, tendo sofrido um aumento expectável, para 1306 gep/m<sup>2</sup>.semana, uma vez que este tipo de indicador só depende dos consumos de climatização, iluminação e elevadores e, nesse mês, se verifica um consumo de AVAC mais elevado. O mesmo ocorre com o valor do R<sub>IEE</sub>, representado na Figura 4.7, que apresenta um valor de 1,96, correspondendo a uma classificação energética de “D”.



**Figura 4.6 - Caso de Estudo 1: Evolução do IEEs (julho)**



**Figura 4.7** - Caso de Estudo 1: Evolução do R<sub>IEE</sub> (julho)

Com base nestes parâmetros, é possível constatar que a implementação da tecnologia fotovoltaica no edifício não é suficiente para a obtenção da meta NZEB. Em ambos os meses, verifica-se que, tanto o IEEs, como o R<sub>IEE</sub>, apresentam valores muito superiores aos exigidos pela legislação, sendo, por isso, necessário implementar outras medidas de eficiência energética para tentar reverter essa situação.

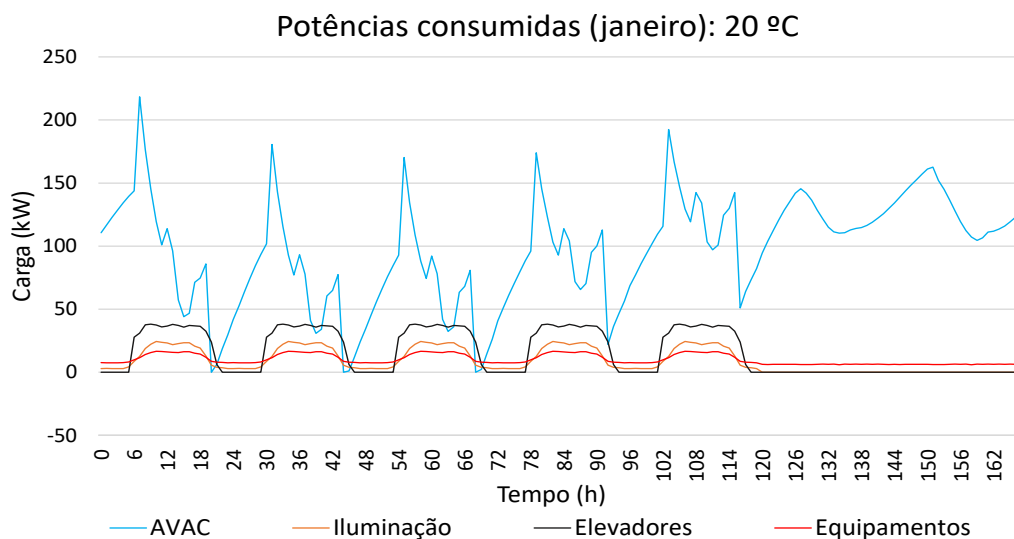
### **4.3. Caso de Estudo 2: Alteração dos *Set-Points* de Temperatura dos Equipamentos de Climatização**

No segundo caso de estudo, procurou avaliar-se a influência da alteração dos *set-points* de temperatura dos equipamentos de AVAC na carga térmica do edifício, sem colocar em causa o conforto térmico dos ocupantes. Para isso, foram consideradas temperaturas de 25 °C, 26 °C e 27 °C para o *set-point* de arrefecimento (simuladas para o mês de julho) e temperaturas de 18 °C, 19 °C e 20 °C para o *set-point* de aquecimento (simuladas para o mês de janeiro). Nesse sentido, foram realizadas várias simulações no *software* HAP, alterando, em cada uma delas, os parâmetros relativos a esses *set-points*.

#### **Janeiro**

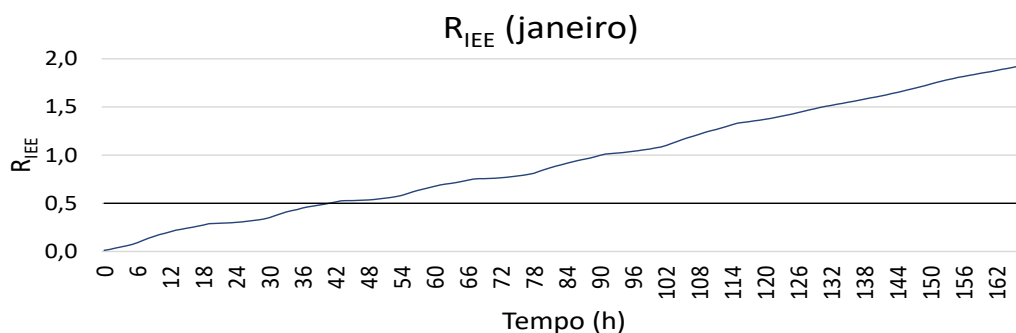
##### 20 °C

Na Figura 4.8, apresentam-se as potências consumidas pelas cargas ao longo de uma semana de janeiro, para a situação inicial, cujo *set-point* de aquecimento é de 20 °C. Deste modo, a distribuição das cargas é em tudo semelhantes à verificada no caso de estudo anterior, à exceção da não inclusão da tecnologia fotovoltaica no edifício, e, portanto, os valores de IEEs são os mesmos.



**Figura 4.8** – Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um *set-point* de 20 °C (janeiro)

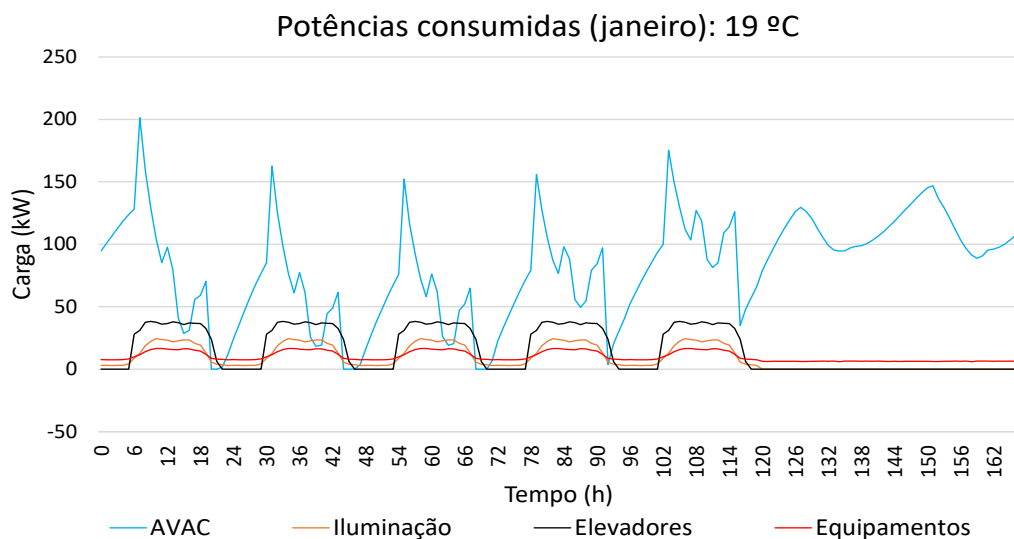
Relativamente ao  $R_{IEE}$ , apresentado na Figura 4.9, este apresenta um valor de 1,93, o que corresponde a uma classificação energética de “D”.



**Figura 4.9** - Caso de Estudo 2: Evolução do  $R_{IEE}$  para um *set-point* de 20 °C (janeiro)

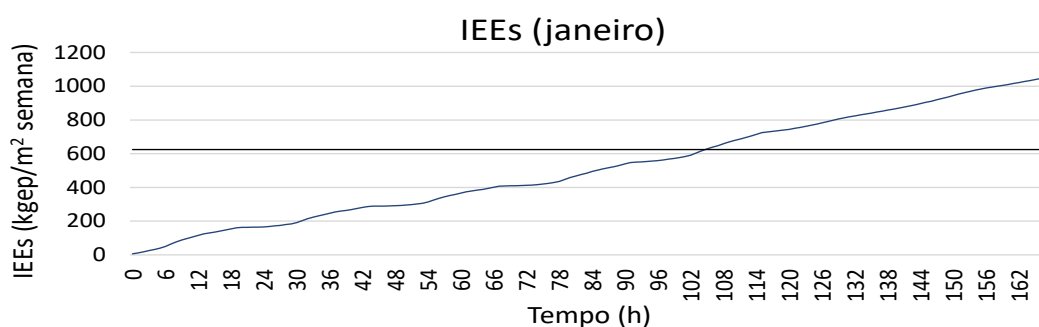
### 19 °C

Para um *set-point* de aquecimento de 19 °C, cujas potências consumidas se apresentam na Figura 4.10, verifica-se uma ligeira diminuição do consumo relativo ao AVAC do edifício, face à situação inicial, de cerca de 16%.

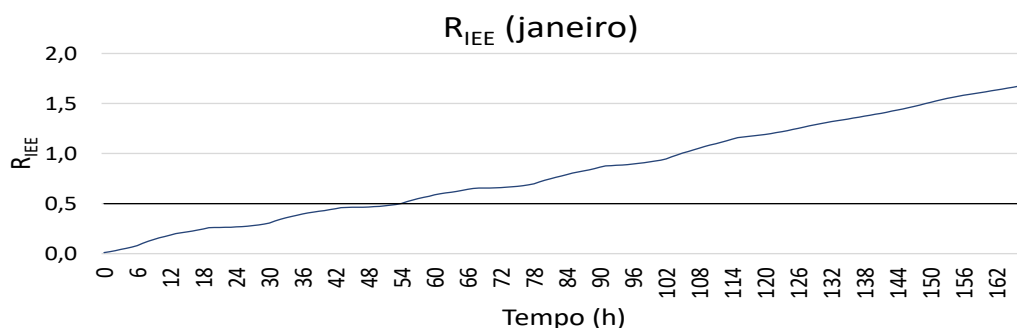


**Figura 4.10** - Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um *set-point* de 19 °C (janeiro)

O decréscimo observado na potência associado ao AVAC refletiu-se igualmente nos valores de  $IEE_S$  e de  $R_{IEE}$ , apresentados na Figura 4.11 e na Figura 4.12, não sendo suficiente para que se atinjam os valores impostos pela legislação. O valor de  $IEE_S$  é de 1053  $gep/m^2 \cdot semana$  e o  $R_{IEE}$  situa-se nos 1,68, mantendo-se a classe energética “D”.



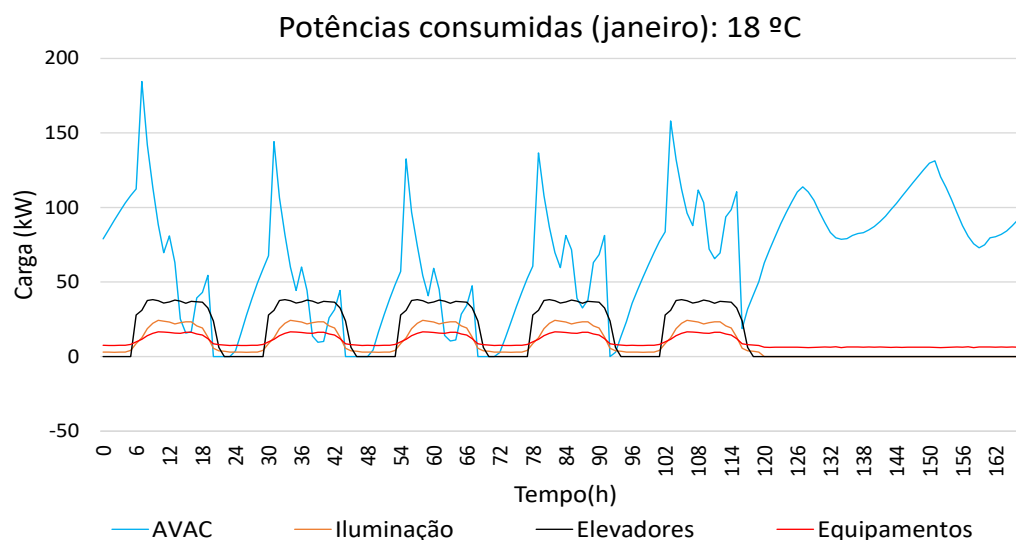
**Figura 4.11** - Caso de Estudo 2: Evolução do  $IEE_S$  para um *set-point* de 19 °C (janeiro)



**Figura 4.12** - Caso de Estudo 2:  $R_{IEE}$  para um *set-point* de 19 °C (janeiro)

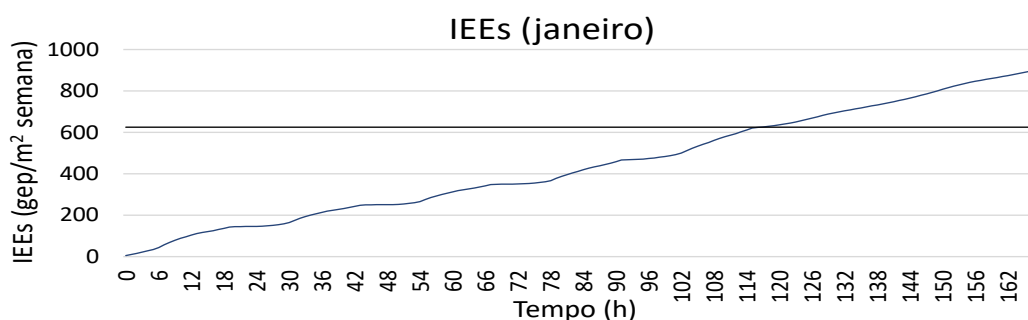
## 18 °C

Na Figura 4.13, representam-se as potências consumidas para um *set-point* de 18 °C, tendo-se verificado que o decréscimo de consumo verificado na situação anterior é ainda mais significativo, permitindo uma redução de consumo de 32%.



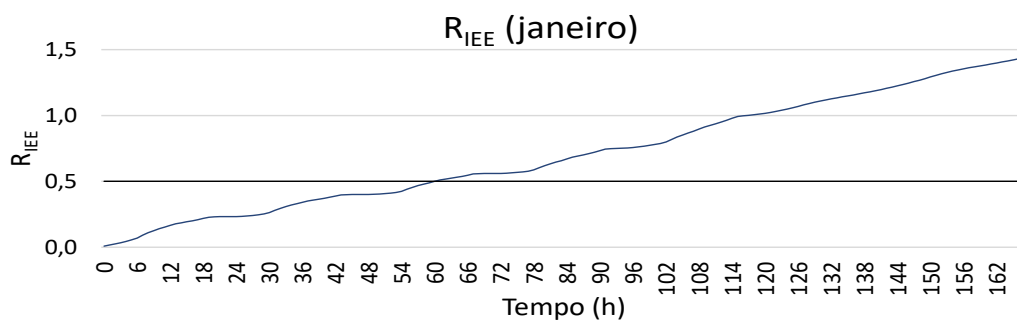
**Figura 4.13** - Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um *set-point* de 18 °C (janeiro)

O valor do IEE<sub>S</sub> sofreu também uma diminuição, para 900 gep/m<sup>2</sup>.semana, mantendo-se ainda acima dos 625 gep/m<sup>2</sup>.semana pretendidos, como se verifica na Figura 4.14.



**Figura 4.14** - Caso de Estudo 2: Evolução do IEEs para um *set-point* de 18 °C (janeiro)

O R<sub>IEE</sub>, representado na Figura 4.15, apresenta um valor de 1,44, o que permite que a classe energética do edifício passe de “D” para “C” ( $1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,51$ ), confirmando que a mudança do *set-point* de arrefecimento para 18 °C resultou na diminuição do peso das cargas do tipo S na determinação deste indicador.



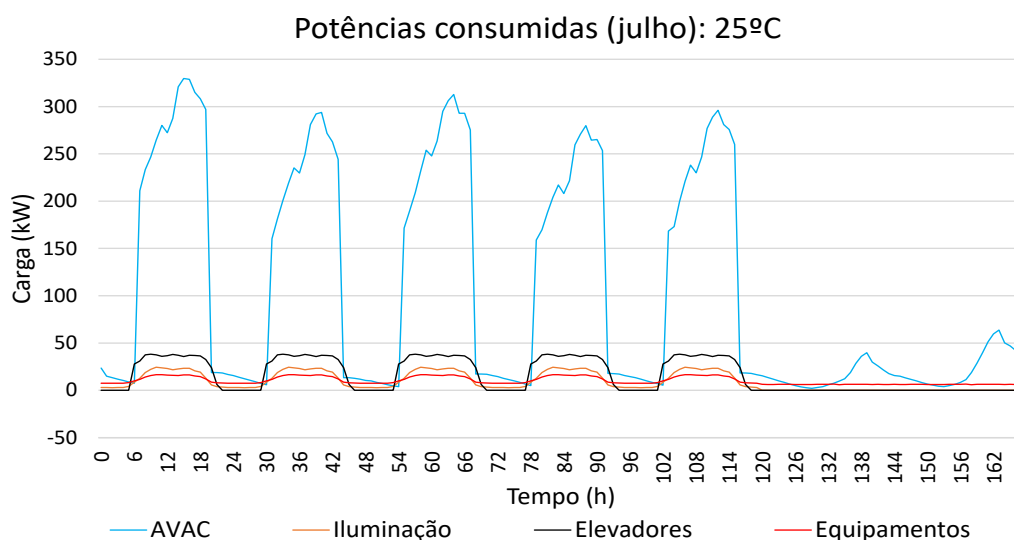
**Figura 4.15** - Caso de Estudo 2: Evolução do  $R_{IEE}$  para um *set-point* de 18 °C (janeiro)

## Julho

### 25 °C

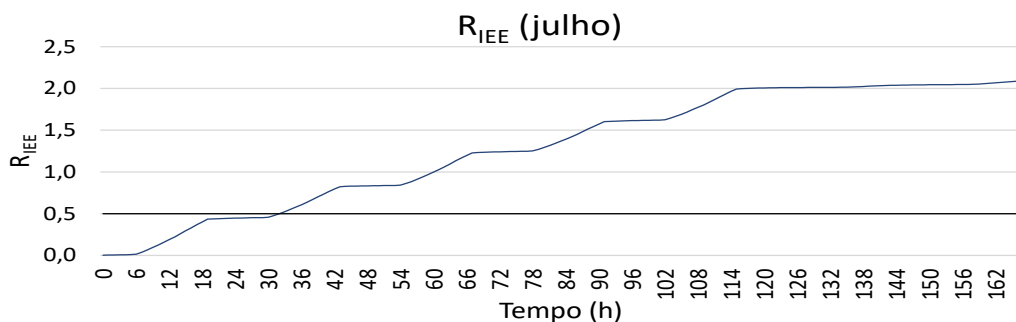
Na Figura 4.16, encontram-se representadas as potências consumidas ao longo de uma semana de julho para a situação inicial, cujo *set-point* de arrefecimento é de 25 °C.

Uma vez mais, à exceção da não inclusão da tecnologia fotovoltaica no edifício, a distribuição das cargas é em tudo semelhante à verificada no caso de estudo 1, para o mês de julho, assim como os valores do IEEs.



**Figura 4.16** – Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um *set-point* de 25 °C (julho)

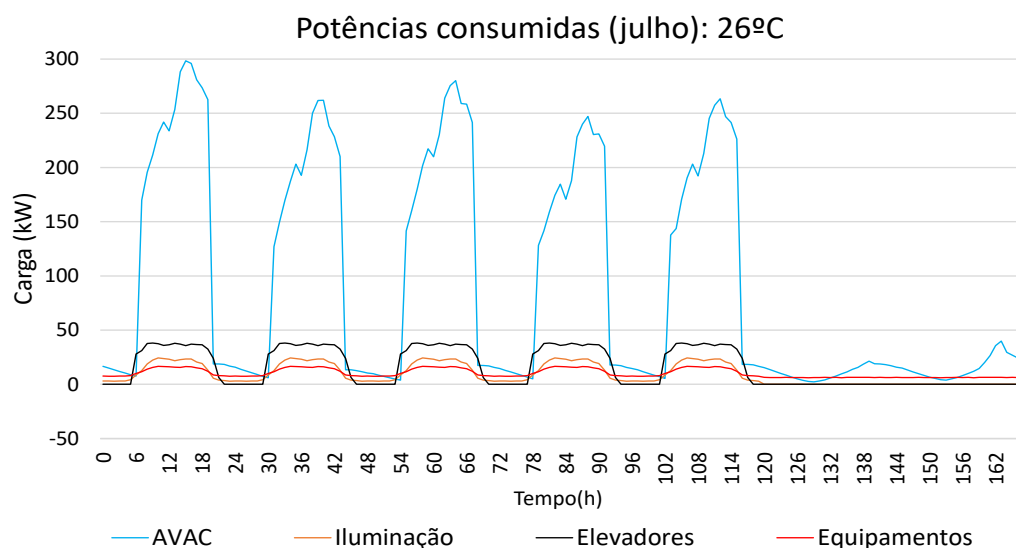
No que diz respeito ao  $R_{IEE}$ , apresentado na Figura 4.17, este tem um valor de 2,09, o que corresponde a uma classificação energética de “E” ( $2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$ ).



**Figura 4.17** - Caso de Estudo 2: Evolução do  $R_{IEE}$  para um *set-point* de 25 °C (julho)

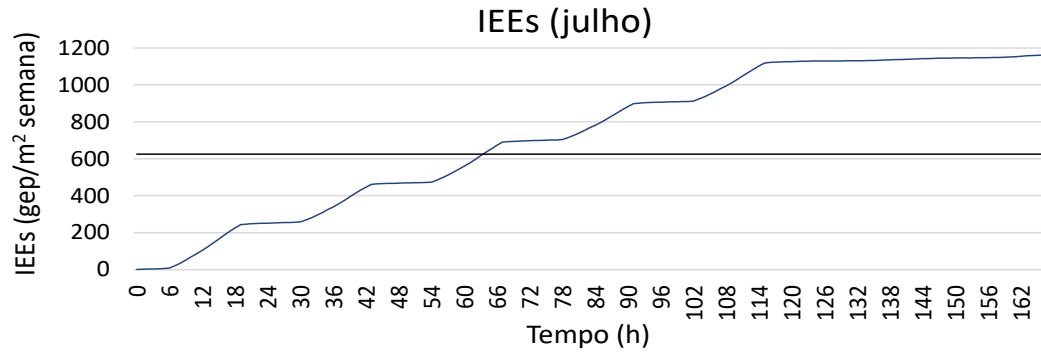
## 26 °C

A alteração do *set-point* de arrefecimento para 26 °C, em vez dos 25 °C iniciais, resultou numa redução do consumo associado à climatização do edifício de cerca de 14%, com cargas sempre abaixo dos 300 kW, conforme se mostra na Figura 4.18.

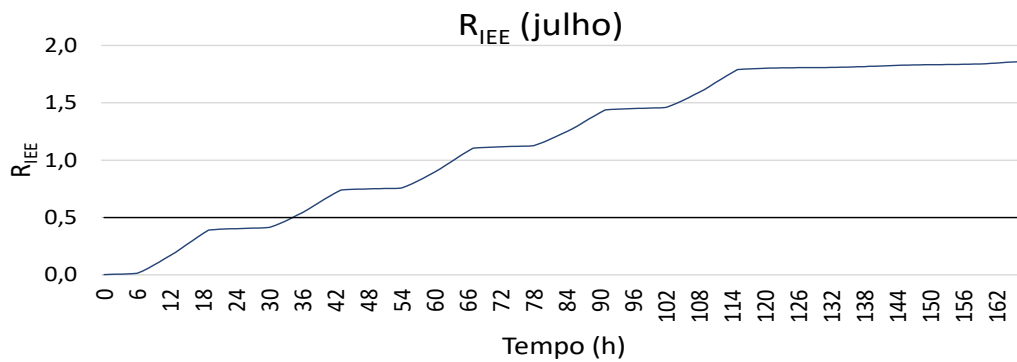


**Figura 4.18** - Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um *set-point* de 26°C (julho)

Como seria de esperar, essa diminuição de consumo resultou numa diminuição dos valores de IEEs, uma vez que este indicador diz respeito às cargas do tipo S, para 1163  $\text{gep/m}^2\cdot\text{semana}$ , e de RIEE, para 1,86, permitindo melhorar a classe energética para “D”. Estes dois parâmetros encontram-se representados na Figura 4.19 na Figura 4.20.



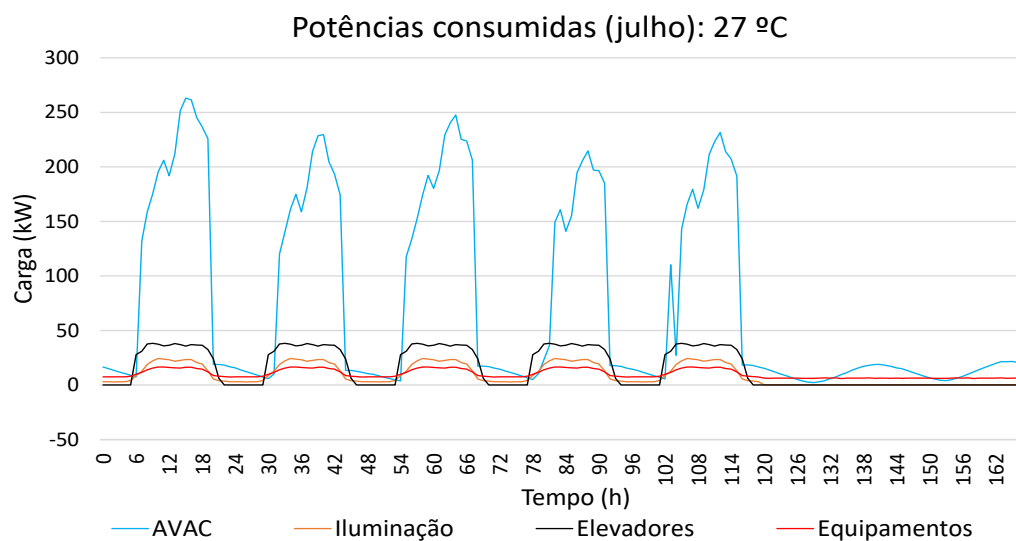
**Figura 4.19** - Caso de Estudo 2: Evolução do IEEs para um *set-point* de 26 °C (julho)



**Figura 4.20** - Caso de Estudo 2: Evolução do  $R_{IEE}$  para um *set-point* de 26 °C (julho)

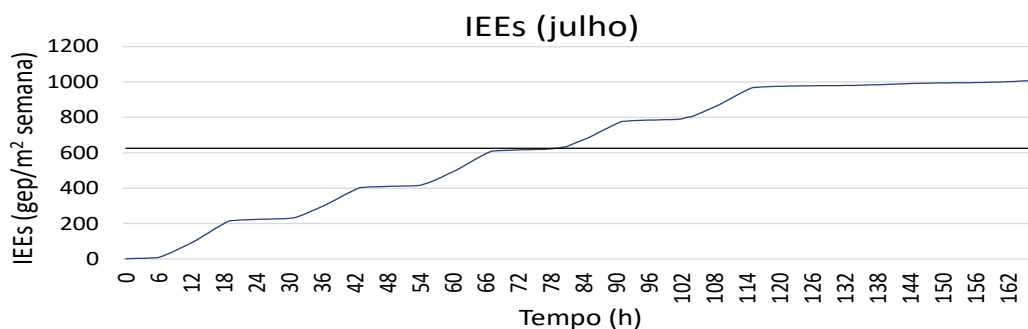
## 27 °C

Na Figura 4.21, representam-se as potências consumidas quando o *set-point* arrefecimento se situa nos 27 °C, onde é possível verificar um decréscimo ainda mais acentuado do consumo de AVAC, de cerca de 28%, face à situação anterior. Os valores máximos dessas cargas situam-se, maioritariamente, entre os 200 kW e os 250 kW.

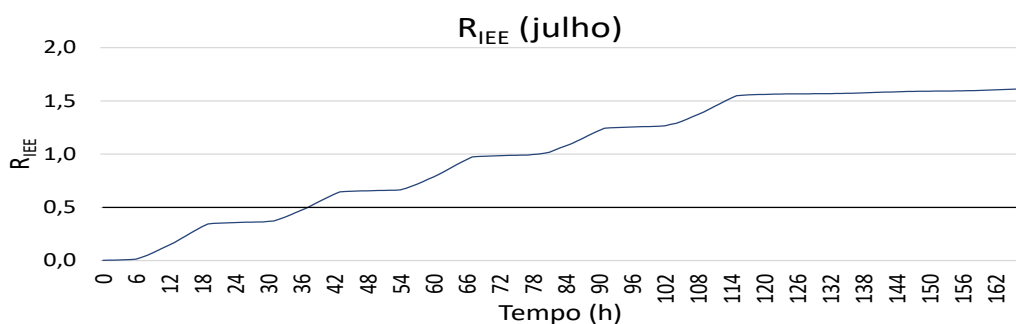


**Figura 4.21** - Caso de Estudo 2: Potências consumidas para um *set-point* de 27 °C (julho)

O valor do IEEs, apresentado na Figura 4.22, acompanha esse decréscimo, atingindo um valor de 1008 gep/m<sup>2</sup>.semana, continuando, ainda assim, acima do pretendido.



**Figura 4.22** - Caso de Estudo 2: Evolução do IEEs para um *set-point* de 27 °C (julho)



**Figura 4.23** - Caso de Estudo 2: Evolução do R<sub>IEE</sub> para um *set-point* de 27 °C (julho)

No que diz respeito ao R<sub>IEE</sub>, que se apresenta na Figura 4.23, o seu valor é de 1,61, o que significa que a classe energética do edifício não se altera, face à situação anterior, mantendo-se em “D”.

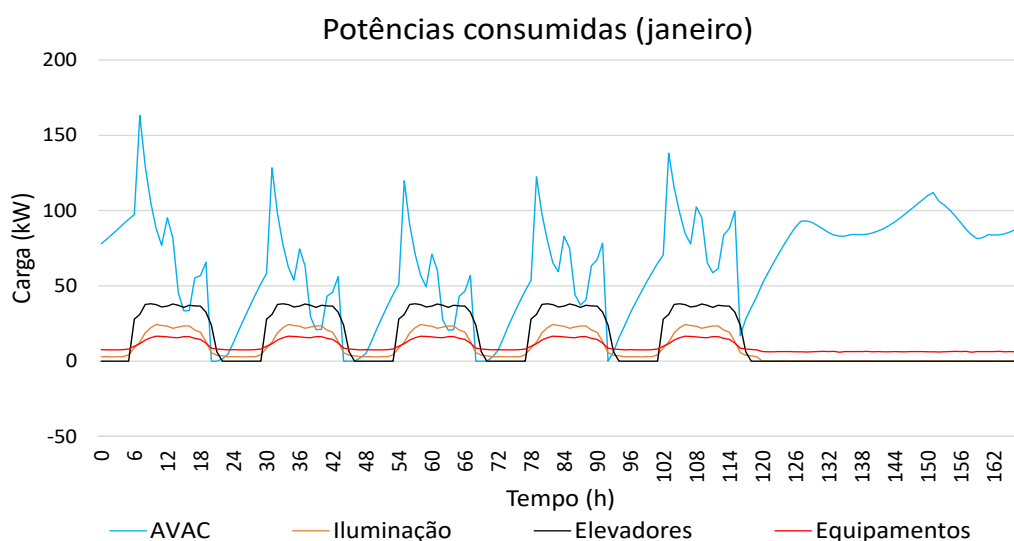
De acordo com o apresentado anteriormente, é possível constatar que a alteração dos *set-points* de temperatura não assegura o cumprimento da meta NZEB. Para ambos os meses, apesar de se verificar um decréscimo do consumo energético e este resultar, nos casos mais extremos, na melhoria da classe energética do edifício, os valores do IEEs e do R<sub>IEE</sub> mantêm-se muito acima do pretendido. Deste modo, é necessário aplicar outras medidas de eficiência energética.

## 4.4. Caso de Estudo 3: Melhoria das Envolventes do Edifício

No terceiro caso de estudo, considerou-se a melhoria das envolventes do edifício, procedendo-se à substituição dos vãos envidraçados existentes e à melhoria do isolamento dos elementos construtivos das fachadas, conforme explicitado no subcapítulo 3.3.3. As características dos novos vãos envidraçados e a constituição da parede exterior foram alteradas no *software* HAP, procedendo-se a uma nova simulação do comportamento do edifício.

### Janeiro

As potências consumidas numa semana de janeiro, considerando a melhoria das envolventes do edifício, encontram-se representadas na Figura 4.24. Verifica-se uma redução substancial do consumo energético relativo à climatização, no valor de 34%. As cargas máximas situam-se entre os 100 kW e os 150 kW.



**Figura 4.24** – Caso de Estudo 3: Cargas geradas e consumidas (janeiro)

Esse decréscimo refletiu-se nos valores de  $e$  e  $IEE_S$  de  $R_{IEE}$ , representados na Figura 4.25 e na Figura 4.26, mantendo-se, no entanto, acima dos valores definidos pela legislação. O  $IEE_S$  apresenta um valor de  $881 \text{ gep/m}^2 \cdot \text{semana}$  e o  $R_{IEE}$  situa-se no 1,41, o que significa que esta medida permitiu a melhoria da classe energética do edifício de “D” para “C”.

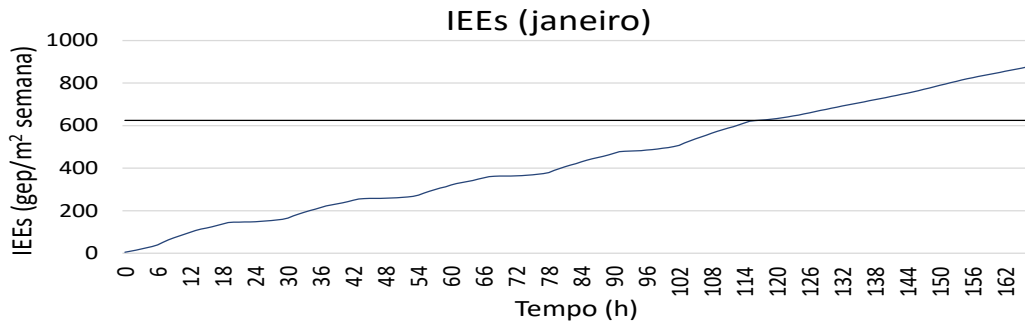


Figura 4.25 - Caso de Estudo 3: Evolução do IEEs (janeiro)

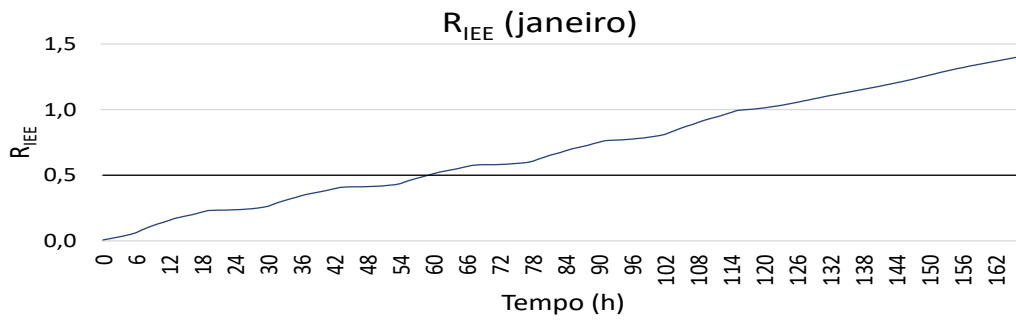


Figura 4.26 - Caso de Estudo 3: Evolução do R<sub>IEE</sub> (janeiro)

## Julho

Para uma semana do mês de julho, cujas potências consumidas se apresentam na Figura 4.27, verificou-se igualmente uma diminuição do consumo, não tão significativo, de apenas 6%.

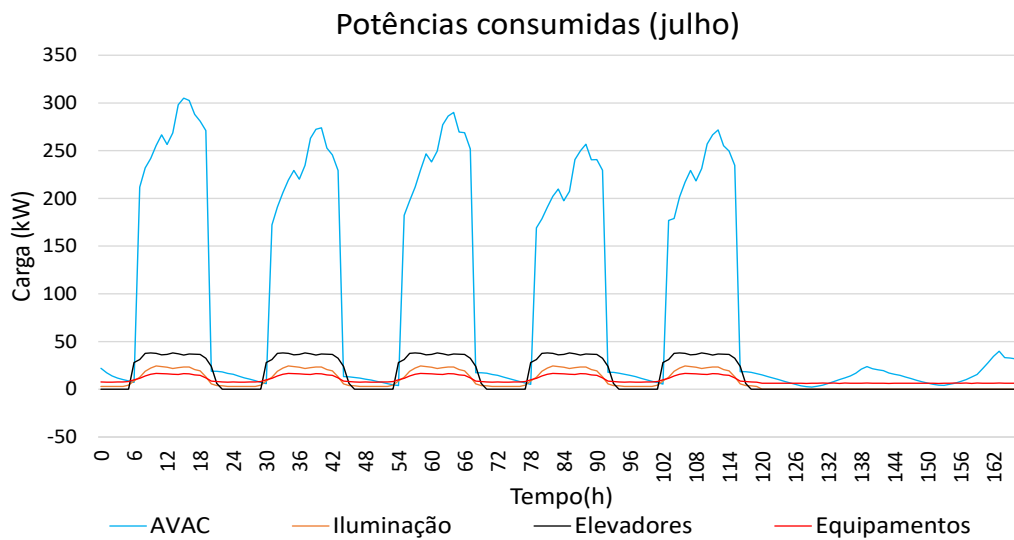
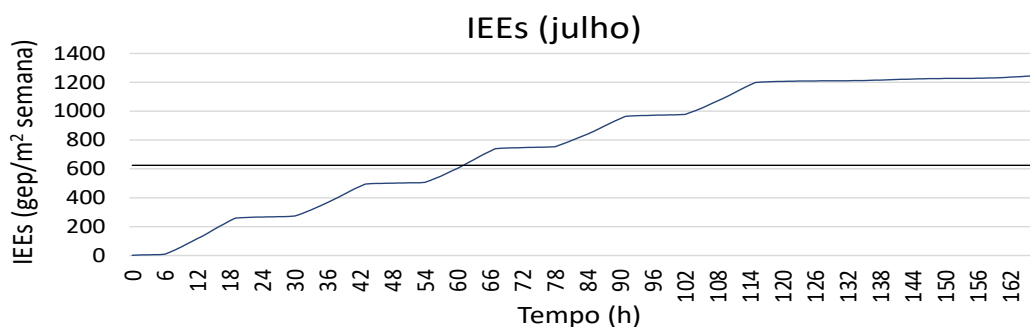
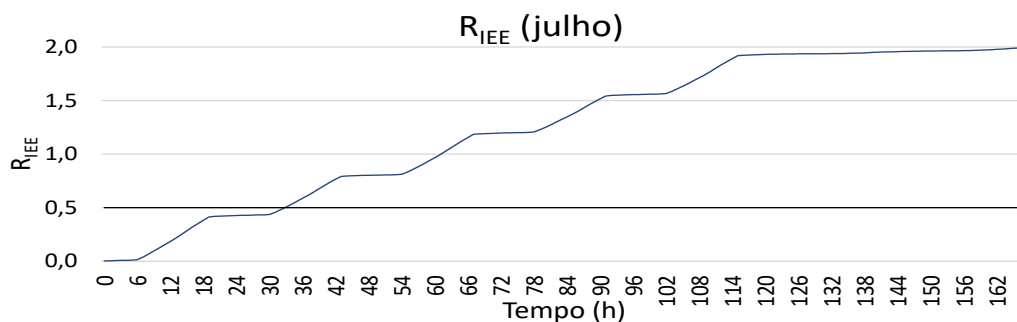


Figura 4.27 - Caso de Estudo 3: Potências consumidas (julho)

À semelhança do que se verificou em janeiro, assim como nos restantes casos de estudo, os valores de  $IEE_S$  e de  $R_{IEE}$ , apresentados, respetivamente, na Figura 4.28 e na Figura 4.29, continuam superiores aos valores pretendidos, uma vez que a diminuição das cargas do tipo S, resultante da aplicação desta medida, não foi suficiente para se atingirem esses valores. O  $IEE_S$  apresenta um valor de 1246  $gep/m^2 \cdot semana$  e o  $R_{IEE}$  de 1,99, possibilitando a melhoria da classe energética de “E” para “D”, face à situação inicial.



**Figura 4.28** - Caso de Estudo 3: Evolução do IEEs (julho)



**Figura 4.29** - Caso de Estudo 3: Evolução do  $R_{IEE}$  (julho)

Com base nestes parâmetros, é possível assegurar que, para ambos os meses, a melhoria das envolventes do edifício não permite atingir a classificação NZEB. Ainda assim, possibilita a melhoria da eficiência energética do edifício, refletindo-se numa redução significativa do consumo de AVAC.

## 4.5. Caso de Estudo 4: Combinação de Todas as Medidas com a Mobilidade Elétrica

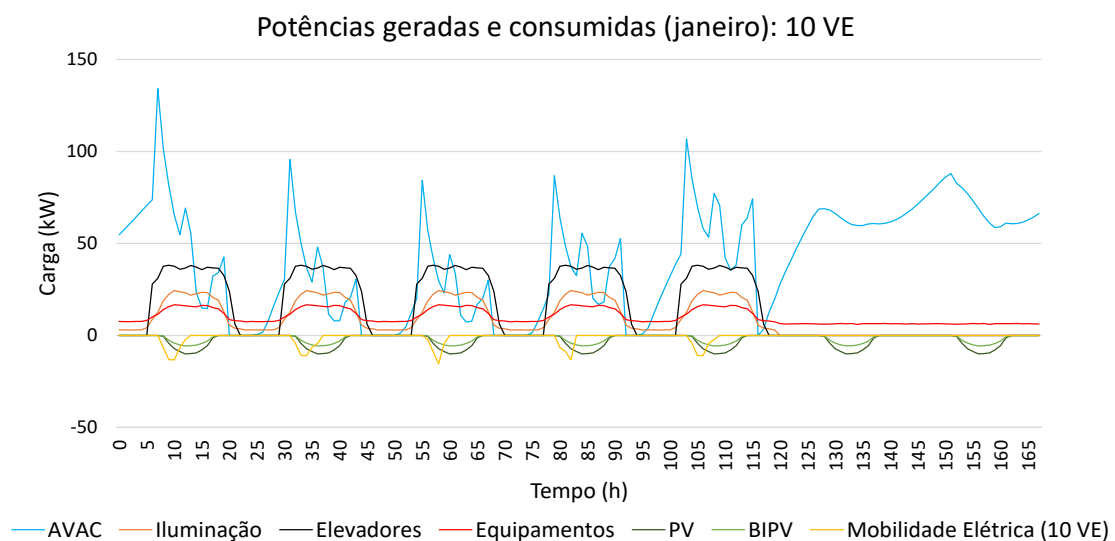
Depois de simulados os diferentes casos de estudo individualmente, teve-se em consideração a sua combinação, procurando verificar o impacto da aplicação destas medidas em simultâneo no desempenho energético do edifício. Para isso, considerou-se a melhor situação possibilitada pela alteração dos *set-points* (18 °C e 27 °C para aquecimento e arrefecimento, respetivamente), a melhoria das envolventes e a inclusão da mobilidade elétrica, com o aumento sucessivo do número de veículos elétricos.

A introdução da mobilidade elétrica na envolvente do edifício pode vir a assumir especial importância, uma vez que as cargas daí provenientes podem apresentar valores da ordem de grandeza dos principais consumidores, contribuindo para a gestão de cargas do edifício, ao possibilitar que as suas necessidades sejam parcialmente cobertas por estas cargas. Ainda assim, no caso específico deste edifício, há a limitação de este não ter capacidade para ceder energia aos VEs.

### Janeiro

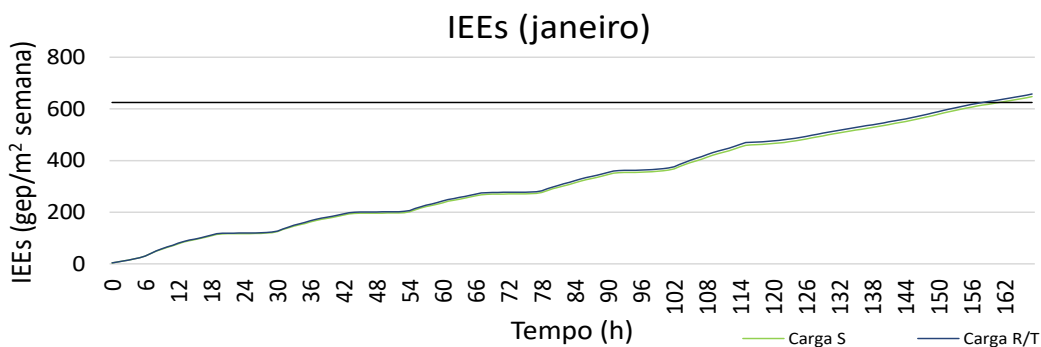
#### 10 VE

Na Figura 4.30, representam-se as potências geradas e consumidas pelas cargas numa semana de janeiro, para a situação em que encontram apenas 10 VE no edifício.



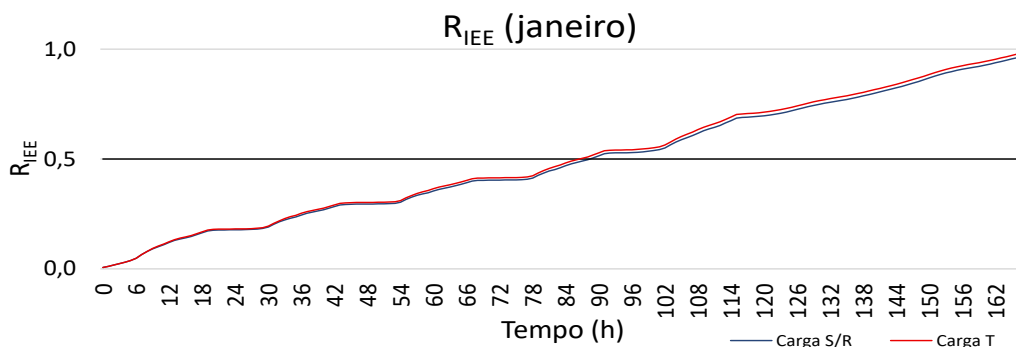
**Figura 4.30** - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 10 VE no edifício (janeiro)

Relativamente ao consumo de AVAC, a combinação de todas as medidas de eficiência energética referidas anteriormente resultou numa redução de 57%, face à situação inicial, com as cargas máximas a situarem-se, na maioria dos dias, entre os 50 kW e os 100 kW. Por outro lado, a tecnologia fotovoltaica representa 5,6% da energia requerida à rede elétrica ao longo da semana, enquanto os VEs cedem ao edifício o equivalente a 1,3% dessa mesma energia (cerca de 13 kW de pico por dia). Na Figura 4.31, representa-se o valor do IEEs, considerando as cargas provenientes da mobilidade elétrica como carga do tipo R ou do tipo T e como carga do tipo S (como explicitado no subcapítulo 3.3.4), respetivamente, a azul e a verde. Em ambos os casos, verificou-se que o valor do IEEs sofreu um decréscimo significativo, face à situação inicial, situando-se nos 658 gep/m<sup>2</sup>.semana, no caso da mobilidade elétrica contribuir para as cargas R ou T (como carga “positiva”) e, portanto, não entrar no cálculo do IEEs; e nos 647 gep/m<sup>2</sup>.semana, com essa variável a contribuir para as cargas S (como carga “negativa”).



**Figura 4.31** - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 10 VE no edifício (janeiro)

Na Figura 4.32, representa-se, respetivamente, a azul e a vermelho, o  $R_{IEE}$  no caso da mobilidade elétrica contribuir para as cargas do tipo S ou do tipo R e no caso dessas cargas representarem cargas do tipo T.

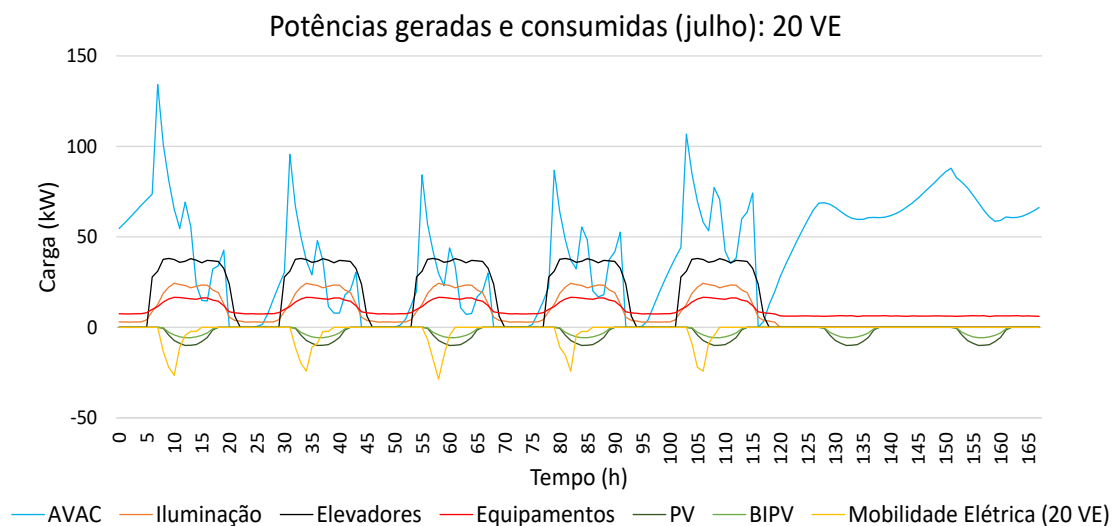


**Figura 4.32** - Caso de Estudo 4: Evolução do  $R_{IEE}$  para 10 VE no edifício (janeiro)

Na primeira situação, o  $R_{IEE}$  apresenta um valor de 0,97 e no segundo cenário situa-se nos 0,98, continuando muito acima dos valores pretendidos. Ainda assim, em todos os casos, verifica-se que a classe energética sofre uma melhoria de “D” para “B” ( $0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$ ), face à situação inicial. O  $R_{IEE}$  tem o mesmo valor, quer se considerem as cargas provenientes dos VEs como cargas do tipo S ou do tipo R, uma vez que, aquando da sua determinação, se subtrai o  $IEE_R$  ao  $IEE_S$  (como explicitado na equação (3.5), no subcapítulo 3.2.3). Desse modo, dado que, no caso de se considerar que as cargas da mobilidade são cargas do tipo S, estas entram para o cálculo como um valor negativo e, sendo consideradas cargas do tipo R, tomam um valor positivo, representa o mesmo contabilizar esse valor no  $IEE_S$  ou no  $IEE_R$ , resultando no mesmo valor de  $R_{IEE}$ . Por outro lado, considerando estas cargas como cargas do tipo T, o valor do  $R_{IEE}$  é necessariamente mais elevado, uma vez que este tipo de cargas não é contabilizada nesse cálculo.

## 20 VE

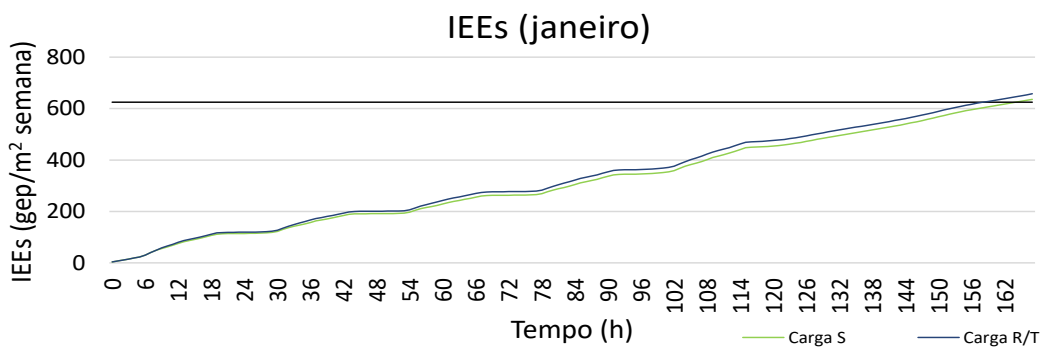
Na Figura 4.33, representam-se as potências geradas e consumidas pelas cargas, considerando 20 VEs na envolvente do edifício. Dado que esse foi o único parâmetro a sofrer alterações, em relação à situação anterior, o comportamento das restantes cargas mantém-se igual, já que estas não dependem da mobilidade elétrica.



**Figura 4.33** - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 20 VE no edifício (janeiro)

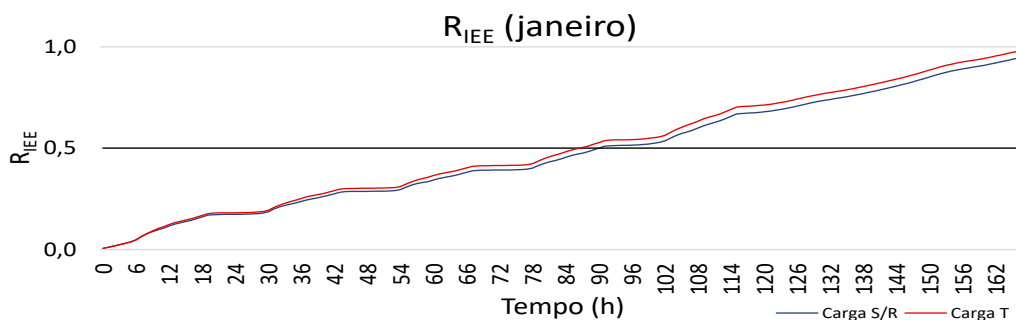
No que diz respeito à energia proveniente dos VEs, verifica-se que são cedidos ao edifício, no máximo, 29 kW por dia, representando cerca de 3% da energia total requerida à rede durante a semana.

Deste modo, a tecnologia fotovoltaica aliada à mobilidade elétrica cobre cerca de 9% dessa energia. Uma vez que os contornos da cedência de energia por parte dos VEs foram definidos, entre as quais, pela geração aleatória do valor do SOC das baterias, nem todos os VEs presentes no edifício se apresentam em condições de ceder energia e, portanto, não existe uma relação linear entre o número de VEs e a energia cedida. No caso da mobilidade elétrica ser considerada uma carga do tipo R ou do tipo T, o IEE<sub>s</sub> apresenta um valor igual ao da situação anterior nessas condições (658 gep/m<sup>2</sup>.semana), uma vez que inclui apenas cargas do tipo S, que não sofreram alterações. Por outro lado, considerando que as cargas provenientes dos VEs são cargas do tipo S, verifica-se que o valor do IEE<sub>s</sub> sofreu uma diminuição, situando-se nos 636 gep/m<sup>2</sup>.semana, mantendo-se ainda acima do valor imposto pela legislação, como se verifica na Figura 4.34.



**Figura 4.34** - Caso de Estudo 4: Evolução do IEE<sub>s</sub> para 20 VE no edifício (janeiro)

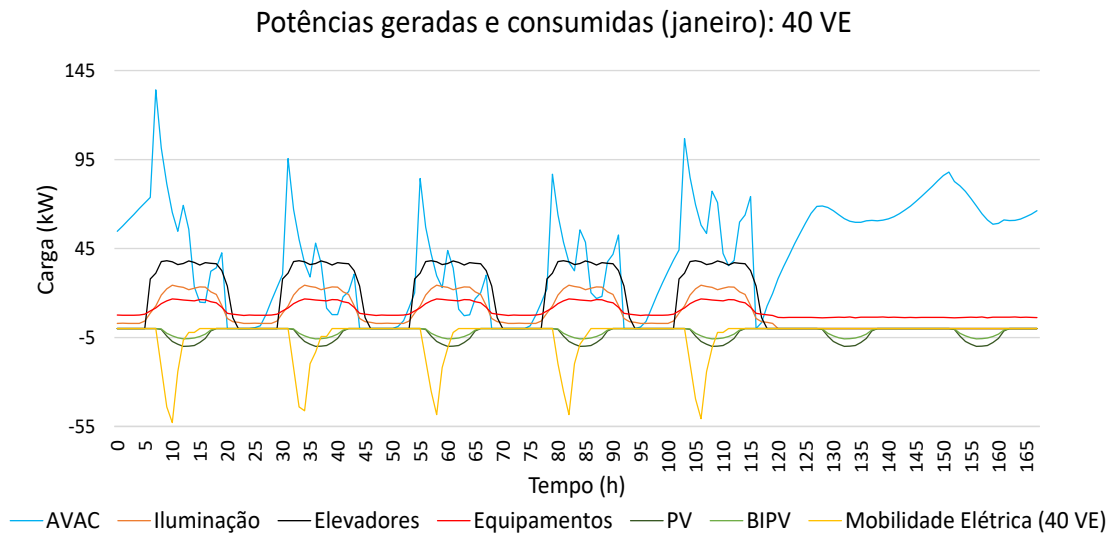
A inclusão de mais VEs na gestão de cargas do edifício, permitiu diminuir ligeiramente o valor do R<sub>IEE</sub>, para 0,95, no caso dessas cargas representarem cargas do tipo S ou R, conforme se mostra na Figura 4.35. Se a mobilidade elétrica contribuir para as cargas do tipo T e, portanto, não for contabilizada no cálculo do R<sub>IEE</sub>, este parâmetro apresenta um valor de 0,98, como foi visto anteriormente. Em ambos os casos, a classe energética do edifício mantém-se em “B”.



**Figura 4.35** - Caso de Estudo 4: Evolução do R<sub>IEE</sub> para 20 VE no edifício (janeiro)

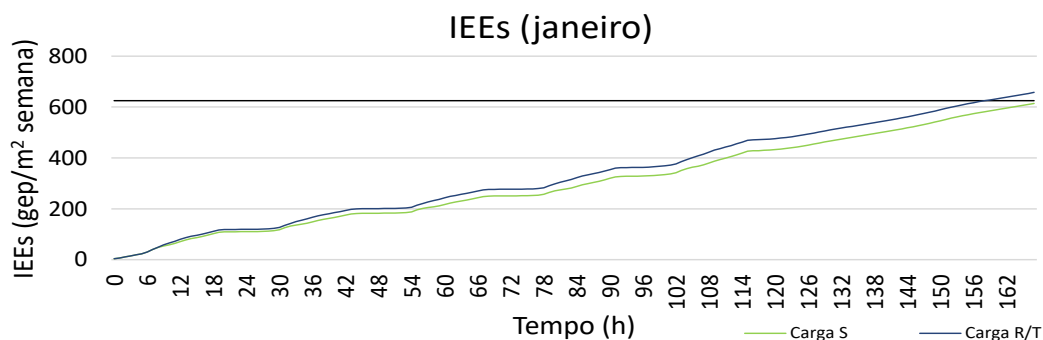
## 40 VE

Na situação em que se considera a contribuição de 40 VE na gestão de cargas do edifício, cujas potências geradas e consumidas pelas cargas ao longo da semana se apresentam na Figura 4.36, estes cedem uma potência máxima de cerca de 53 kW por dia, sendo esse valor da mesma ordem de grandeza dos principais consumidores, à exceção do AVAC. A energia proveniente da mobilidade elétrica representa, deste modo, cerca de 6% da energia total requerida à rede durante a semana, perfazendo um total de 12%, tendo em conta o contributo das energias renováveis. À semelhança do ocorrido anteriormente, a distribuição das restantes cargas e o valor do IEEs, considerando que a mobilidade elétrica contribui para as cargas R, mantêm-se inalterados, em relação à situação que tem em conta 10 VEs.



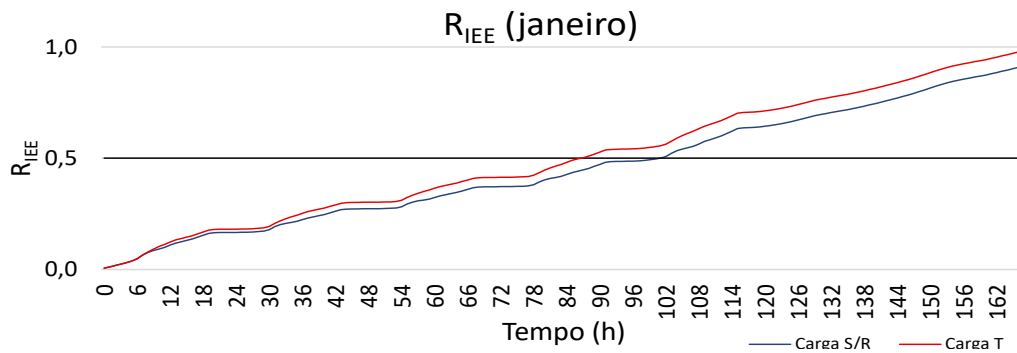
**Figura 4.36** - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 40 VE no edifício (janeiro)

Na Figura 4.37, verifica-se que, no caso das cargas provenientes dos VEs serem consideradas cargas do tipo S, o IEEs atinge um valor de 614 gep/m<sup>2</sup>.semana, abaixo dos 625 gep/m<sup>2</sup>.semana definidos pela legislação.



**Figura 4.37** - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 40 VE no edifício (janeiro)

Na Figura 4.38, representa-se o  $R_{IEE}$ , que assume um valor de 0,92, no caso da mobilidade elétrica contribuir para as cargas do tipo S ou R, e apresenta um valor de 0,98, se contribuir para as cargas do tipo T, tal como nas situações anteriores, uma vez que essas cargas não são contabilizadas neste cálculo. A par do verificado nos casos anteriores, a classe energética mantém-se em “B”.

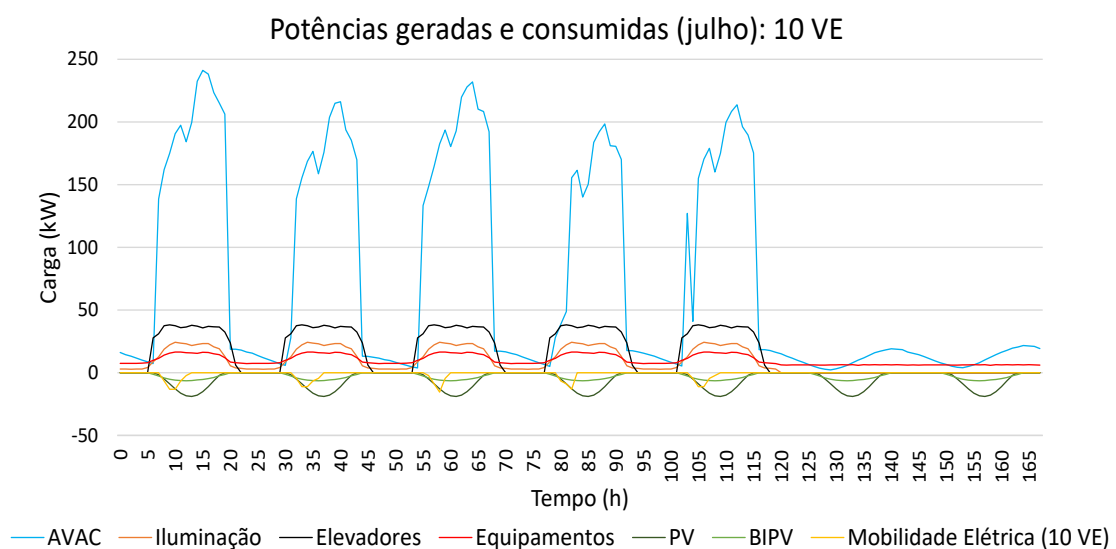


**Figura 4.38** - Caso de Estudo 4: Evolução do  $R_{IEE}$  para 40 VE no edifício (janeiro)

## Julho

### 10 VE

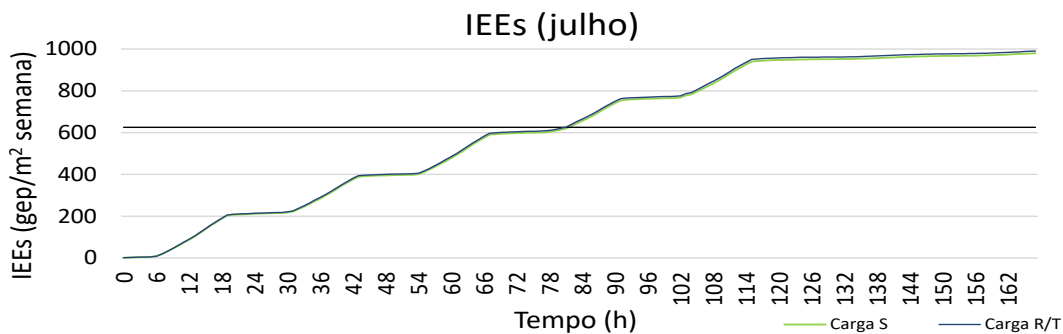
Na Figura 4.39, representam-se as potências geradas e consumidas pelas cargas numa semana de julho, considerando 10 VE na envolvente do edifício. Verifica-se, a par do ocorrido em janeiro, que a combinação de todas estas medidas de eficiência energética leva a uma diminuição do consumo de AVAC, ainda que não seja tão substancial (cerca de 30%, face à situação base).



**Figura 4.39** - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 10 VE no edifício (julho)

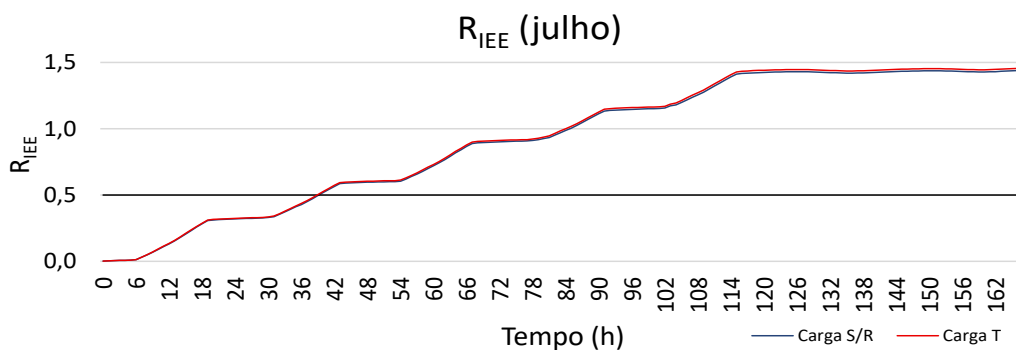
Os painéis PV e BIPV são responsáveis por 5% e 2,3%, respetivamente, da energia requerida à rede elétrica ao longo da semana, enquanto os VEs cedem ao edifício o equivalente a 0,9% dessa energia. Deste modo, 8,3% das necessidades elétricas do edifício podem ser supridas por estas soluções.

A par do realizado no mês de janeiro, determinou-se o valor de IEEs, considerando a mobilidade elétrica como uma carga R ou do tipo T e como uma carga S, representado, respetivamente, a azul e a verde, na Figura 4.40. Ao contrário do que sucede em janeiro, o IEEs mantém-se consideravelmente acima dos 625 gep/m<sup>2</sup>.semana pretendidos, apresentando um valor de 990 gep/m<sup>2</sup>.semana, no caso das cargas dos VEs contribuírem para as cargas R ou cargas T e, portanto, não entram para o cálculo, e 980 gep/m<sup>2</sup>.semana, caso sejam consideradas cargas S.



**Figura 4.40** - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 10 VE no edifício (julho)

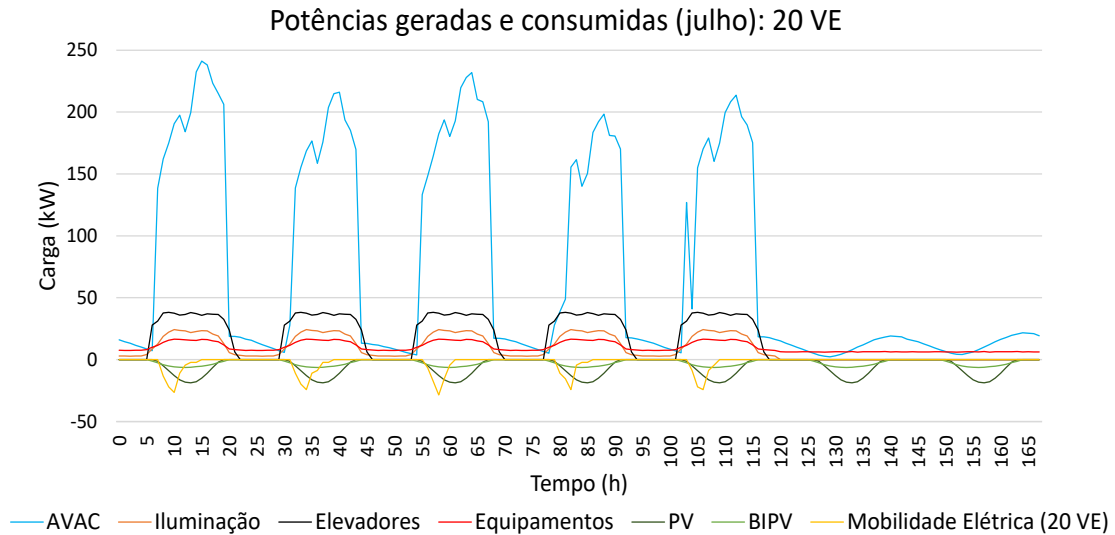
Como já foi referido, o  $R_{IEE}$ , representado na Figura 4.41, é igual para as situações em que se considera a mobilidade elétrica como carga S ou carga R (representado a azul), apresentando um valor de 1,44. Por outro lado, considerando essas cargas como sendo do tipo T, o  $R_{IEE}$  é mais elevado, no valor de 1,46 (representado a vermelho). Em ambos os casos, classe energética sofre uma melhoria de “E” para “C”.



**Figura 4.41** - Caso de Estudo 4: Evolução do  $R_{IEE}$  para 10 VE no edifício (julho)

## 20 VE

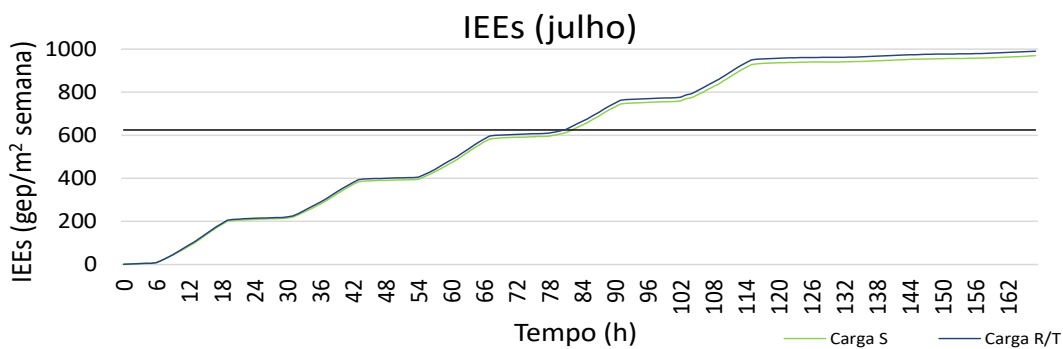
Na Figura 4.42, representam-se as potências geradas e consumidas pelas cargas ao longo de uma semana de julho, considerando 20 VEs na envolvente do edifício.



**Figura 4.42** - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 20 VE no edifício (julho)

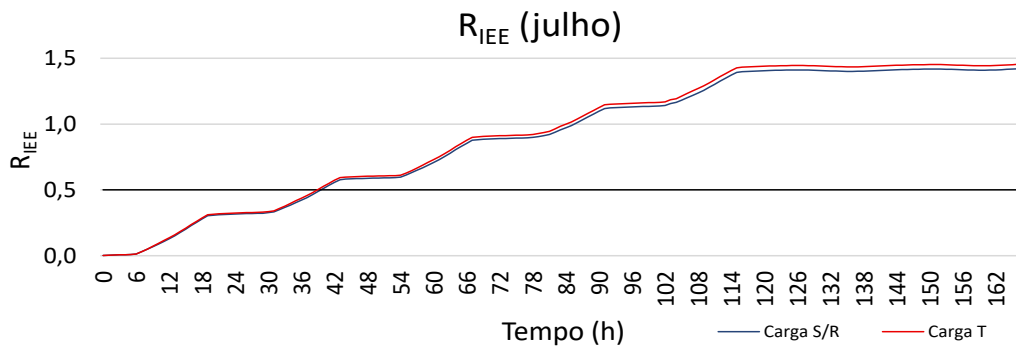
Nesta situação, a energia cedida pelos VEs representa 2% da energia total requerida à rede durante a semana, perfazendo um total de 9,3%, tendo em consideração o contributo da tecnologia fotovoltaica. O comportamento das restantes cargas, assim como a evolução do valor do IEEs, mantém-se inalterada, face à situação anterior.

Relativamente ao IEEs, se a mobilidade elétrica for considerada uma carga do tipo R ou do tipo T, este apresenta um valor igual ao da situação anterior nessas condições (990 gep/m<sup>2</sup>.semana), uma vez que, nessas situações, não é contabilizada para o cálculo. Por outro lado, se for considerada uma carga do tipo S, este parâmetro situa-se nos 969 gep/m<sup>2</sup>.semana, como se verifica na Figura 4.43.



**Figura 4.43** - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 20 VE no edifício (julho)

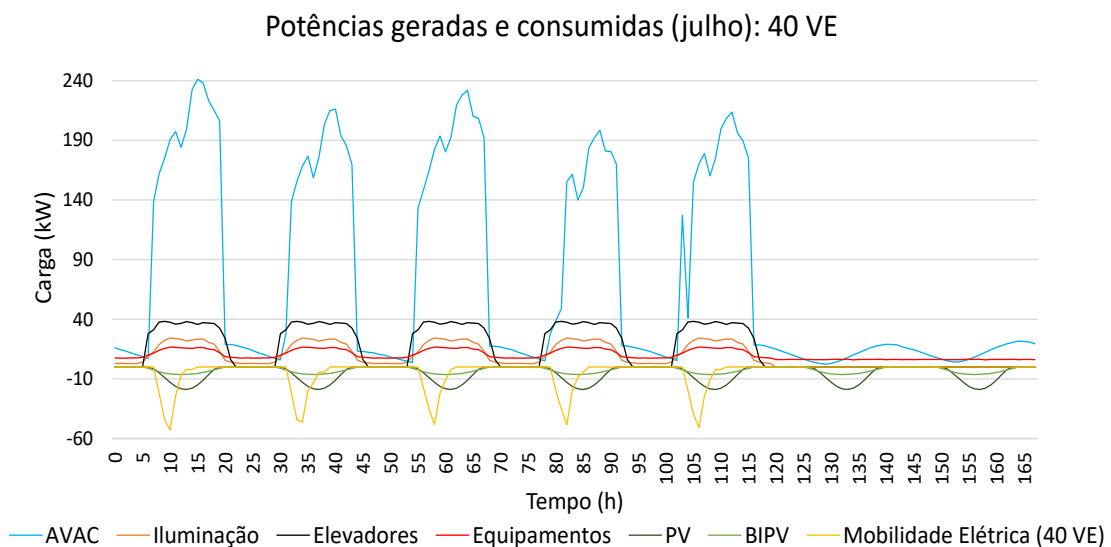
A inclusão de mais VEs no edifício, resultou numa diminuição do valor do  $R_{IEE}$ , representado na Figura 4.44. Deste modo, este parâmetro situa-se nos 1,42, considerando-se as cargas dos VEs como cargas do tipo S ou R, apresentando o mesmo valor do cenário anterior (1,46), no caso dessas cargas representarem cargas do tipo T e, por isso, não entrarem no cálculo. Em ambos os casos, classe energética mantém-se em “C”, a par da situação anterior.



**Figura 4.44** - Caso de Estudo 4: Evolução do  $R_{IEE}$  para 20 VE no edifício (julho)

#### 40 VE

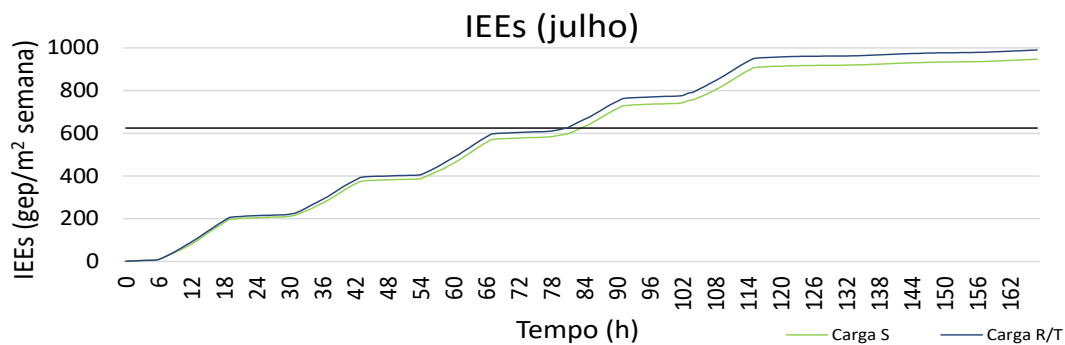
Na situação em que se considera a contribuição de 40 VE na gestão de cargas do edifício, cujas potências geradas e consumidas pelas cargas ao longo da semana se apresentam na Figura 4.45, a energia por eles cedida representa cerca de 4% da energia total requerida à rede durante a semana.



**Figura 4.45** - Caso de Estudo 4: Potências geradas e consumidas para 40 VE no edifício (julho)

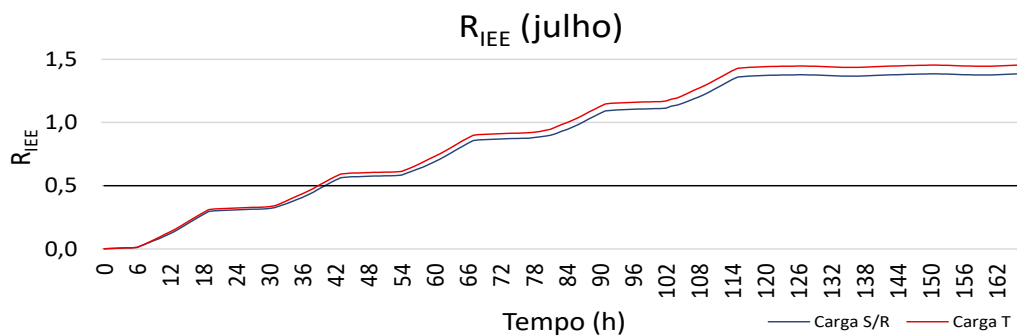
No total, a tecnologia fotovoltaica e a mobilidade elétrica são capazes de cobrir 11,3% dessa energia. À semelhança do ocorrido anteriormente, a distribuição das restantes cargas e o valor do  $IEE_S$  mantêm-se inalterados, em relação à situação que tem em conta 10 VEs.

Na Figura 4.46, verifica-se que, no caso das cargas provenientes dos VEs serem consideradas cargas do tipo S, o  $IEE_S$  atinge um valor de 947  $gep/m^2.semana$ , mantendo-se acima dos valores impostos.



**Figura 4.46** - Caso de Estudo 4: Evolução do IEEs para 40 VE no edifício (julho)

Na Figura 4.47, representa-se o  $R_{IEE}$ , que assume um valor de 1,39, no caso da mobilidade elétrica contribuir para as cargas do tipo S ou R, e apresenta um valor de 1,46, se contribuir para as cargas do tipo T, tal como nas situações anteriores. A par do verificado nos casos anteriores, a classe energética mantém-se em “C”.



**Figura 4.47** - Caso de Estudo 4: Evolução do RIEE para 40 VE no edifício (julho)

Na Tabela 4.3 apresenta-se o resumo dos resultados obtidos nos diferentes casos de estudo, com os valores de  $IEE_S$ , de  $R_{IEE}$ , assim como a respetiva classe energética.

**Tabela 4.3** – Resumo dos resultados obtidos nos diferentes casos de estudo

Caso de Estudo	Medidas de Eficiência Energética Implementadas	Janeiro			Julho		
		IEEs (gep/m <sup>2</sup> .semana)	R <sub>IEE</sub>	Classe energética	IEEs (gep/m <sup>2</sup> .semana)	R <sub>IEE</sub>	Classe energética
-	Situação inicial	1209	1,93	D	1306	2,09	E
1	Inclusão de energias renováveis	1209	1,87	D	1306	1,96	D
2	Alteração do <i>set-point</i> de aquecimento para 19 °C	1053	1,68	D	-		
	Alteração do <i>set-point</i> de aquecimento para 18 °C	900	1,44	C	-		
	Alteração do <i>set-point</i> de aquecimento para 26 °C	-			1163	1,86	D
	Alteração do <i>set-point</i> de aquecimento para 27 °C	-			1008	1,61	D
3	Melhoria das envolventes	881	1,41	C	1246	1,99	D
4	Combinação de todas as medidas com a mobilidade elétrica (10 VE/carga R)	658	0,97	B <sup>-</sup>	990	1,44	C
	Combinação de todas as medidas com a mobilidade elétrica (10 VE/carga S)	647			980		
	Combinação de todas as medidas com a mobilidade elétrica (10 VE/carga T)	658	0,98		990	1,46	
	Combinação de todas as medidas com a mobilidade elétrica (20 VE/ carga R)	658	0,95	B <sup>-</sup>	990	1,42	C
	Combinação de todas as medidas com a mobilidade elétrica (20 VE/ carga S)	636			969		
	Combinação de todas as medidas com a mobilidade elétrica (20 VE/ carga T)	658	0,98		990	1,46	
	Combinação de todas as medidas com a mobilidade elétrica (40 VE/ carga R)	658	0,92	B <sup>-</sup>	990	1,39	C
	Combinação de todas as medidas com a mobilidade elétrica (40 VE/ carga S)	614			947		
	Combinação de todas as medidas com a mobilidade elétrica (40 VE/ carga T)	658	0,98		990	1,46	

Como se verifica na Tabela 4.3, a melhoria das envolventes do edifício é a medida que permite reduzir de um modo mais significativo os indicadores de eficiência energética, para o mês de janeiro. Por outro lado, para o mês de julho, a alteração do *set-point* de arrefecimento para uma temperatura de 27 °C representa uma maior poupança energética. Tendo isso em vista, a implementação destas duas medidas seria um bom ponto de partida para a melhoria do desempenho energético do edifício.

No que diz respeito à mobilidade elétrica, com a crescente importância dos VEs na gestão de cargas dos edifícios, é importante averiguar o seu impacto nos limites dos indicadores e na legislação, de acordo com o tipo de contabilização que lhes é atribuída. Através dos resultados obtidos, verificou-se que a contribuição das cargas relativas à mobilidade elétrica para o cálculo desses indicadores como cargas do tipo S, em detrimento de se considerarem cargas do tipo R ou do tipo T, permite uma redução substancial do IEE<sub>S</sub>, chegando-se mesmo a atingir os valores impostos pela legislação. Por outro lado, no que diz respeito ao R<sub>IEE</sub>, se essas cargas forem consideradas cargas do tipo T, em vez de cargas do tipo R ou do tipo S, o seu valor é invariavelmente mais elevado, uma vez que as cargas do tipo T não são contabilizadas no seu cálculo.

Como seria de esperar, a melhor das hipóteses corresponde à combinação de todas as medidas de eficiência energética, em que o edifício atinge a classe “B”, no mês de janeiro, e a classe “C”, no mês de julho. Em ambos os casos, foi possível aproximar consideravelmente o valor do IEE<sub>S</sub> do valor definido pela legislação, tendo-se mesmo atingido esse valor em janeiro, como já foi referido, o que significa que a aplicação das medidas levou, efetivamente, à redução do consumo energético; prendendo-se a principal dificuldade com a aproximação do R<sub>IEE</sub> do valor legislado para edifícios NZEB.

Desse modo, uma vez que o valor de IEE<sub>S</sub> está unicamente relacionado com as cargas do tipo S (climatização, iluminação e elevadores), verifica-se que a dificuldade em aproximar o valor de R<sub>IEE</sub> do objetivo NZEB está maioritariamente relacionado com a componente renovável (IEE<sub>R</sub>) do edifício, que é substancialmente baixa. Assim sendo, é importante perceber o impacto das cargas do tipo R no cálculo do R<sub>IEE</sub>.

#### **4.5.1. Análise do impacte das cargas do tipo R no RIEE**

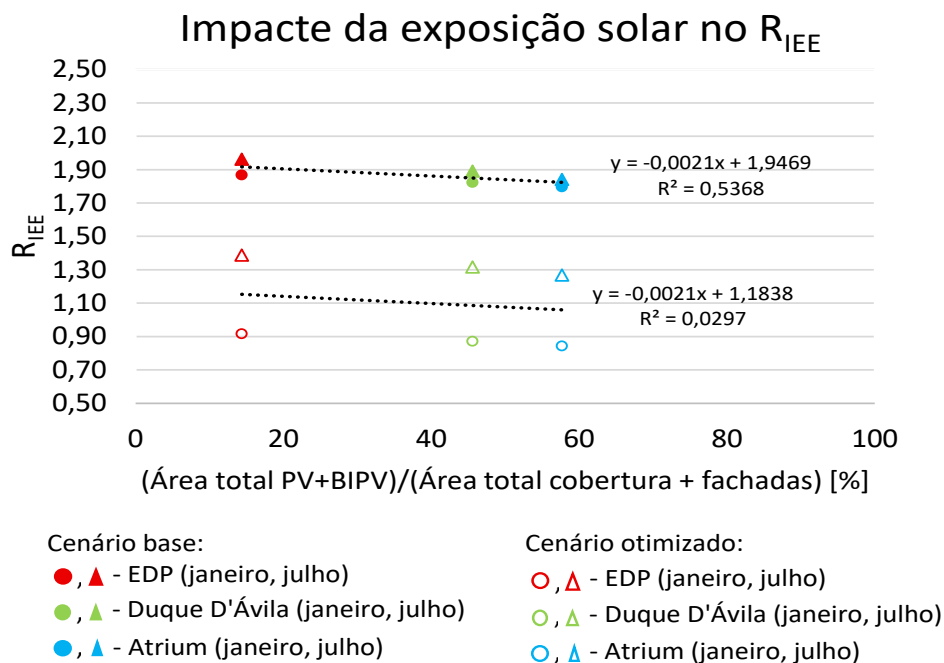
Com base na análise realizada anteriormente, verifica-se que o edifício só teria capacidade de ser aproximado da classificação NZEB, caso se encontrasse em condições mais favoráveis para o aproveitamento de energia solar. Com vista a investigar esse pressuposto e a avaliar o impacte da exposição solar no aproveitamento dessa energia, recorreu-se a outros edifícios para uma análise suplementar. Para isso, considerou-se que a relação  $k_{gep}/\text{semana.m}^2$  relativa a todas as cargas desses edifícios é igual à do edifício base, à exceção das cargas relativas à tecnologia fotovoltaica, uma vez que estas foram determinadas para cada situação (seguindo o procedimento descrito no subcapítulo 3.3.1).

Por um lado, analisou-se o edifício Atrium Saldanha (conforme apresentado no Apêndice 3), situado igualmente na cidade de Lisboa e próximo do edifício em estudo, sendo, por isso, os valores de irradiação solar verificados ao longo do dia semelhantes. Este edifício, para além de possuir uma área muito superior à da do edifício da EDP, encontra-se melhor orientado do ponto de vista da radiação solar incidente, permitindo que um maior número de fachadas possa aproveitar essa radiação. Deste modo, considerou-se a instalação de módulos BIPV em três fachadas do edifício, numa área correspondente a cerca de  $4400 \text{ m}^2$ , capazes de produzir uma potência de pico de  $127 \text{ kW}$  às 13h, em janeiro, e de  $140 \text{ kW}$  às 12h, em julho; e na claraboia presente na cobertura, com uma área de cerca de  $780 \text{ m}^2$ , correspondendo a uma potência de pico de  $49 \text{ kW}$  e  $91 \text{ kW}$  para janeiro e julho, respetivamente, às 13h para ambos os casos. Para além disso, teve-se em consideração a instalação de 190 painéis fotovoltaicos na cobertura do edifício, de acordo com o espaço disponível na mesma, produzindo uma potência de pico de  $29 \text{ kW}$ , no mês de janeiro, e de  $54 \text{ kW}$ , no mês de julho. No total, a tecnologia fotovoltaica implementada neste edifício é capaz de produzir, no máximo,  $1334 \text{ kWh}$  por dia, em janeiro (cerca de 13 vezes mais do que o edifício da EDP), e  $2376 \text{ kWh}$ , em julho (cerca de 12 vezes mais do que esse edifício).

Por outro lado, analisou-se o edifício Duque D'Ávila (como apresentado no Apêndice 4), igualmente situado na cidade de Lisboa e próximo do edifício em estudo, representando uma situação intermédia, no que à área e à exposição solar diz respeito. Para esta situação, considerou-se vantajosa a instalação de módulos BIPV na fachada principal, orientada a sul, e na fachada lateral, numa área correspondente a  $1190 \text{ m}^2$ .

Estes módulos produzem uma potência de pico de 38 kW às 12h, em janeiro, e 42 kW, em julho, à mesma hora. Para além disso, teve-se em consideração a instalação de 142 painéis fotovoltaicos na cobertura do edifício, produzindo uma potência de pico de 22 kW às 12h, no mês de janeiro, e de 40 kW às 13h, no mês de julho. No total, a tecnologia fotovoltaica implementada neste edifício produz, no máximo, 390 kWh por dia, em janeiro (cerca de 4 vezes mais do que o edifício da EDP), e 691 kWh, em julho (cerca de 4 vezes mais do que esse edifício).

A par destes cálculos, realizou-se uma análise da exposição solar para as coberturas e fachadas dos três edifícios, através da determinação do rácio entre a área de fachada e de cobertura que se encontra em condições favoráveis para a captação solar e a área total de fachada e de cobertura. Para essa análise, determinou-se o valor do  $R_{IEE}$  dos três edifícios para dois cenários: o cenário base, sem qualquer medida de eficiência energética aplicada, para além da inclusão das energias renováveis; e o cenário otimizado, resultante da aplicação de todas as medidas referidas anteriormente. Na Figura 4.48, apresenta-se então o valor do  $R_{IEE}$ , em função da relação de áreas referida anteriormente, para os três edifícios, para o mês de janeiro e para o mês de julho.

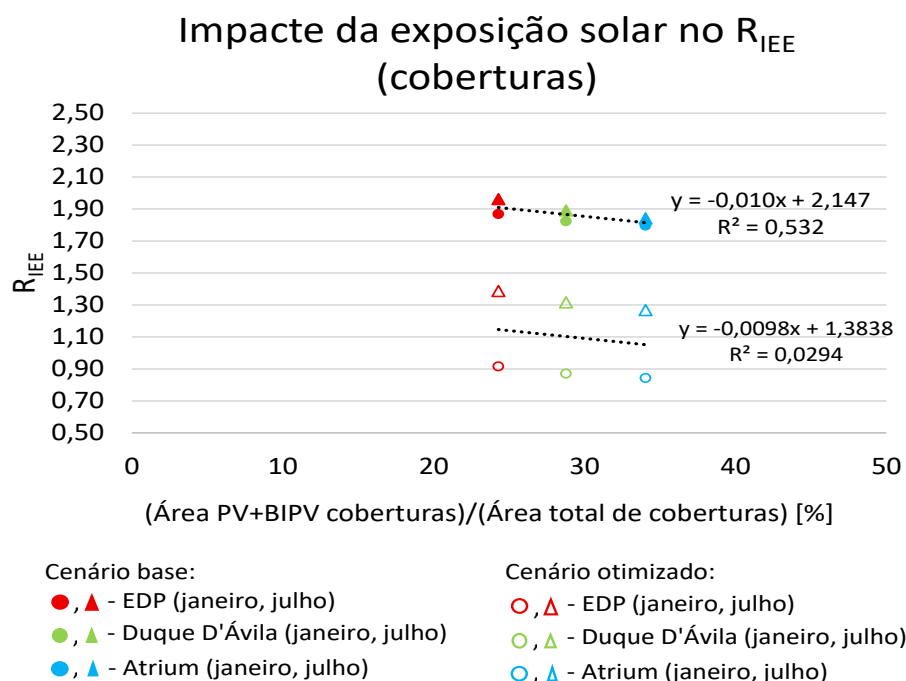


**Figura 4.48** – Impacte da exposição solar no  $R_{IEE}$

Essa análise revelou que, no caso do edifício da EDP, apenas 14% da área total pode ser aproveitada para a instalação de módulos PV e BIPV, face aos 46% obtidos para o edifício Duque D'Ávila e aos 58 % obtidos para o Atrium Saldanha.

Verifica-se igualmente que existe uma relação entre o valor do  $R_{IEE}$  e o grau de aproveitamento solar dos edifícios, constatando-se que, quanto maior é esse aproveitamento, menor é o  $R_{IEE}$  obtido e, portanto, mais próxima se encontra o edifício da classificação NZEB. Apesar disso, mesmo tendo em conta o cenário otimizado e um melhor aproveitamento da tecnologia fotovoltaica, em nenhuma situação se alcançou a classificação NZEB.

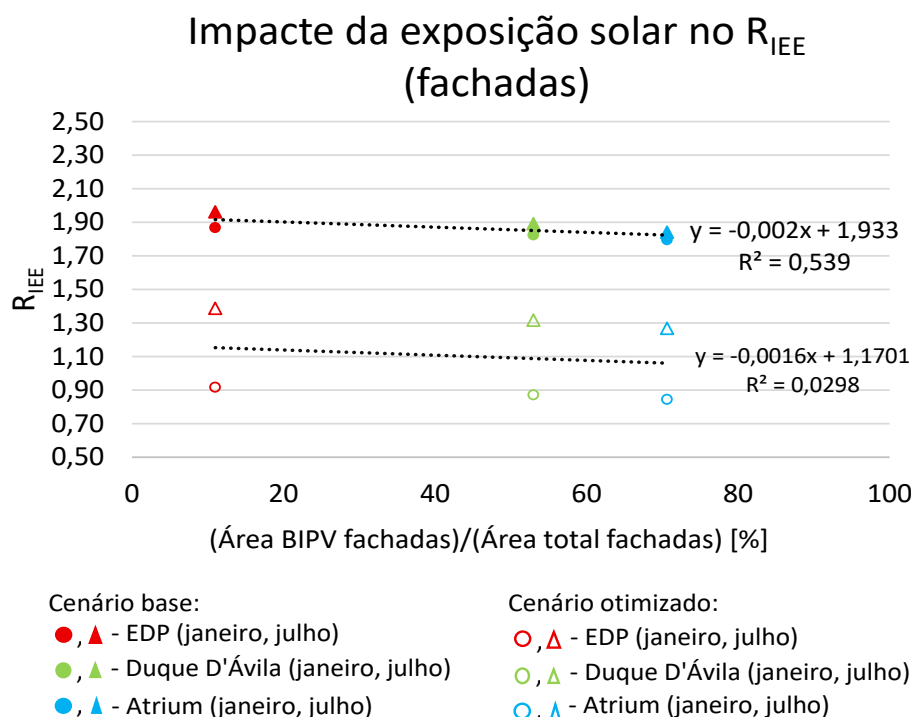
A mesma análise foi realizada, separadamente, para as coberturas e para as fachadas dos edifícios, apresentando-se, na Figura 4.49, o valor do  $R_{IEE}$ , em função do quociente entre a área de cobertura que apresenta condições favoráveis para o aproveitamento de energia solar e a área total de cobertura de cada edifício.



**Figura 4.49** - Impacte da exposição solar no  $R_{IEE}$  (coberturas)

No caso do edifício da EDP, estimou-se que 24% da área das suas coberturas está disponível para a instalação de painéis fotovoltaicos, enquanto a cobertura do edifício Duque D'Ávila permite a instalação de painéis em 29% da sua área e a do Atrium em cerca de 34%. A maior proximidade de valores nesta situação, face à anterior, deve-se ao facto de, apesar do edifício do Saldanha possuir uma área manifestamente superior à dos restantes edifícios, em todos os casos, as coberturas encontram-se, maioritariamente, ocupadas pelos equipamentos de AVAC, reduzindo significativamente a área útil das mesmas. Para além disso, o edifício do Saldanha dispõe, como já foi referido, de uma claraboia, o que diminui igualmente o espaço disponível.

Por fim, realizou-se a mesma análise para o caso das fachadas, encontrando-se o resultado na Figura 4.50.



**Figura 4.50** - Impacte da exposição solar no  $R_{IEE}$  (fachadas)

Verifica-se que apenas 11% da área de fachada do edifício da EDP apresenta condições favoráveis ao aproveitamento de energia solar, face aos cerca de 51% obtidos para o edifício Duque D'Ávila e aos 71% obtidos para o edifício Atrium.

Estas análises permitem verificar que existe uma relação entre a área que é utilizada para a instalação da tecnologia fotovoltaica e a classificação energética do edifício, enfatizando a importância das energias renováveis na gestão de cargas do mesmo. Deste modo, é possível validar o pressuposto de que é a componente renovável ( $IEE_R$ ) que torna mais difícil que o edifício em estudo obtenha um melhor desempenho energético e que, se este se encontrasse em melhores condições para o aproveitamento de energia solar e, portanto, o valor do  $IEE_R$  tivesse um maior peso, seria possível aproximá-lo mais da meta NZEB, ainda que se verifique que, em nenhum dos casos, esse objetivo é atingido.

Assim sendo, esta análise confirma, por um lado, o impacto das cargas do tipo R no cálculo do  $R_{IEE}$  e, por outro, mostra que, mesmo com esse impacto e com a aplicação de todas as medidas referidas, existe uma limitação naquilo que pode ser feito para que um edifício se torne NZEB.

## 4.6. Análise Ambiental: Emissões de CO<sub>2</sub>

Neste capítulo, apresenta-se a análise relativa às emissões de CO<sub>2</sub>, realizada para os diferentes casos de estudo. Para a sua determinação, foi seguido o procedimento referido no subcapítulo 3.2.3, descrito através das equações (3.8),(3.9) e (3.10). Como termo de comparação para cada um dos casos de estudo, recorreu-se à situação inicial, onde o edifício recorre inteiramente à rede para suprir as suas necessidades energéticas. Na Tabela 4.4, apresentam-se os resultados obtidos para cada situação.

**Tabela 4.4** – Análise de emissões de CO<sub>2</sub>

Caso de Estudo	Mês	Energia utilizada pela rede (kWh)	Energia Primária (tep)	Energia Final (GJ)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> eq)	Variação (%)
Situação Inicial	Janeiro (semanal)	22151,2	4,76	79,74	4961,88	-
	Janeiro	88605,0	19,05	318,98	19847,52	-
	Julho (semanal)	23785,9	5,11	85,63	5328,05	-
	Julho	95143,8	20,46	342,52	21312,21	-
1	Janeiro (semanal)	21434,7	4,61	77,17	4801,38	3,2
	Janeiro	85739,0	18,43	308,66	19205,53	
	Julho (semanal)	22427,7	4,82	80,74	5023,80	5,7
	Julho	89710,8	19,29	322,96	20095,21	
2	Janeiro (semanal)	16798,5	3,61	60,47	3762,87	24,2
	Janeiro	67194,2	14,45	241,90	15051,50	
	Julho (semanal)	18632,4	4,01	67,08	4173,67	21,7
	Julho	74529,8	16,02	268,31	16694,67	
3	Janeiro (semanal)	16599,4	3,57	59,76	3718,28	25,1
	Janeiro	66397,8	14,28	239,03	14873,1	
	Julho (semanal)	22769,3	4,90	81,97	5100,33	4,3
	Julho	91077,4	19,58	327,88	20401,3	
4 (10VE)	Janeiro (semanal)	11940,0	2,57	42,98	2674,57	46,1
	Janeiro	47760,2	10,27	171,94	10698,28	
	Julho (semanal)	16923,9	3,64	60,93	3790,95	29,6
	Julho	67695,6	14,55	243,70	15163,81	
4 (20 VE)	Janeiro (semanal)	11750,8	2,53	42,30	2632,19	47,0
	Janeiro	47003,4	10,11	169,21	10528,75	
	Julho (semanal)	16734,7	3,60	60,24	3748,57	29,8
	Julho	66938,8	14,39	240,98	14994,29	
4 (40 VE)	Janeiro (semanal)	11381,2	2,45	40,97	2549,40	48,6
	Janeiro	45525,0	9,79	163,89	10197,59	
	Julho (semanal)	16365,1	3,52	58,91	3665,78	31,2
	Julho	65460,4	14,07	235,66	14663,12	

Através da informação apresentada na Tabela 4.4, verifica-se que a implementação da tecnologia fotovoltaica do edifício resulta na redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 3,2% e 5,7%, respetivamente, para janeiro e julho. Para o segundo caso de estudo, obteve-se uma redução de 24,2%, em janeiro, e 21,7%, em julho. A melhoria das envolventes do edifício permitiu uma redução de 25,1% e 4,3%, respetivamente, para janeiro e julho. As emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da conciliação das medidas de eficiência energética anteriores com a mobilidade elétrica, tendo em consideração 10, 20 e 40 veículos elétricos, sofreram um decréscimo de, respetivamente, 46,1%, 47,0% e 48,6%, em janeiro. Para o mês de julho, verificou-se uma redução de 28,8%, 29,6% e 31,2%, respetivamente, para 10, 20 e 40 veículos elétricos. Estes resultados mostram que a implementação destas medidas de racionalização de energia constituem um passo importante no caminho para se atingir as metas impostas pela legislação nacional para as emissões de GEE, onde se define um objetivo de redução de 45% a 55%, face a 2005, até 2030 [34].

#### **4.7. Análise da Fatura Energética**

Neste capítulo, apresenta-se a análise económica realizada para cada caso de estudo, onde se procurou averiguar o impacte económico da aplicação das medidas de eficiência energética no edifício na fatura energética. O estudo teve em consideração a energia produzida e consumida pelo edifício num dia típico, sendo esses valores transpostos para uma base semanal.

Primeiramente, dividiu-se o período de funcionamento do edifício pelos ciclos diários para o fornecimento de energia elétrica, com base na informação contida na Tabela 3.4, e consultou-se a tarifa correspondente a cada um desses períodos, fornecida pela ERSE (Tabela 3.5). Com base nessa informação e na quantidade de energia elétrica fornecida pela rede em cada período, foi possível determinar o custo total diário correspondente, como se mostra na tabela presente no Apêndice 5. Extrapolando esse valor para base mensal (tendo em conta que o edifício funciona durante 22 dias por mês) e somando-lhe o custo da potência contratada, obteve-se o custo total mensal correspondente ao fornecimento de energia elétrica.

Os resultados obtidos para os diferentes casos de estudo encontram-se representados na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5** – Custo da fatura energética

Caso de Estudo	Mês	Custo energia elétrica (€/dia)	Custo energia elétrica (€/mês)	Custo potência contratada (€/mês)	Custo mensal (€/mês)	Poupança (%)
Situação Inicial	Janeiro	286,55	6304,19	21,25	6325,44	-
	Julho	542,17	11927,83	21,25	11949,08	-
1	Janeiro	272,71	5999,60	21,25	6020,85	5
	Julho	517,76	11390,70	21,25	11411,95	5
2	Janeiro	224,55	4940,18	21,25	4961,43	22
	Julho	436,39	9600,67	21,25	9621,92	20
3	Janeiro	236,62	5205,65	21,25	5226,90	17
	Julho	524,40	11536,76	21,25	11558,01	3
4	Janeiro	155,99	3431,87	21,25	3453,12	45
	Julho	392,84	8642,54	21,25	8663,79	27

Como se verifica, inicialmente, o custo relativo ao fornecimento de energia elétrica do edifício tem o valor de 6325,44 € e de 11949,08 €, para o mês de janeiro e de julho, respetivamente. A inclusão das energias renováveis no edifício permitiu uma redução desse valor em cerca de 5%, para ambos os meses, obtendo-se um custo total de 6020,85 €, para janeiro, e de 11411,95 €, para julho.

No segundo caso de estudo, que tem em consideração a alteração dos *set-points* de temperatura dos equipamentos de climatização, realizou-se apenas a análise económica correspondente à melhor situação verificada, isto é, para um *set-point* de aquecimento de 18 °C e de 27 °C para arrefecimento. Obteve-se, para o mês de janeiro, um custo total de 4961,43 € e de 9621,92 €, para o mês de julho, resultando numa poupança de 22% e de 20%, respetivamente. Por outro lado, a melhoria das envolventes do edifício permitiu uma poupança de 17 %, face à situação inicial, em janeiro, sendo o custo mensal no valor de 5226,90 €. Para o mês de julho, o custo total é de 11558,01 €, o que representa uma poupança de cerca de 3%, verificando-se, portanto, que a aplicação desta medida não resulta numa poupança tão efetiva no mês de julho, como resulta no mês de janeiro.

Por último, o quarto caso de estudo teve em consideração a combinação de todas as medidas de eficiência energética aplicadas no edifício, conciliadas com a mobilidade elétrica. Importa referir que se realizou a análise económica para o caso em que se considera a presença de 40 veículos elétricos na envolvente do edifício, por se tratar da situação em que ocorre uma maior cedência de energia ao edifício e, portanto, se proporcionar uma maior poupança.

Para o mês de janeiro, o custo da energia elétrica é de 3453,12 €, permitindo uma poupança de 45%, face à situação inicial. No mês de julho, o custo total é de 8663,79 €, o que representa uma poupança de 27%.

De notar que não foi considerada a injeção da energia produzida pela tecnologia fotovoltaica na rede elétrica (de modo a obter algum tipo de retorno monetário), visto que se trata de uma quantidade pouco significativa de energia e, portanto, em nenhum momento do dia, essa produção consegue suprir totalmente as necessidades energéticas do edifício, não havendo excedentes. Para além disso, salienta-se que o custo da energia cedida pelos veículos elétricos ao edifício não foi contabilizado, uma vez que ainda não existem modelos de monetização associados a essa situação.

## 5. Conclusões

No âmbito da eficiência energética e da redução das emissões de GEE no setor dos edifícios, o conceito NZEB (*Nearly Zero Energy Buildings*) tem vindo a assumir um papel cada vez maior nas políticas mundiais. Os elevados níveis de eficiência energética, aliados à produção de energia através de FER, são os principais alicerces deste conceito. Nesse sentido, considerou-se um edifício de serviços existente como caso de estudo e desenvolveu-se uma ferramenta numérica, com vista a aproximar o edifício da classificação NZEB, através da aplicação de diversas medidas de racionalização de energia. O impacto de cada uma dessas medidas no desempenho energético do edifício foi avaliado numericamente através da determinação dos respetivos indicadores de eficiência energética, das emissões de CO<sub>2</sub> e dos tarifários. Todos os cenários considerados foram simulados numa ferramenta numérica desenhada para o efeito, para os meses de janeiro e de julho. Essa ferramenta devolve, através do tratamento das cargas do edifício (variáveis de entrada), os indicadores de eficiência energética (variáveis de saída), permitindo avaliar a influência da aplicação das diferentes medidas nesses indicadores.

No primeiro cenário, considerou-se a implementação da tecnologia fotovoltaica no edifício, através da instalação de painéis fotovoltaicos nas suas coberturas e numa das suas fachadas, pela substituição dos elementos construtivos. Para o mês de janeiro, verificou-se que a produção de energia renovável representa apenas 3% da energia requerida a rede pelo edifício ao longo da semana, representando 6% dessa energia, no caso do mês de julho. Esses valores demonstram a dificuldade em aproximar o edifício do objetivo NZEB através da aplicação desta medida, tendo-se obtido um IEE<sub>s</sub> de 1209 gep/m<sup>2</sup>.semana e um R<sub>IEE</sub> de 1,87, para janeiro, e 1306 gep/m<sup>2</sup>.semana e 1,96, respetivamente, para julho. Verifica-se, portanto, que estes valores continuam muito acima dos valores impostos pela legislação (IEE<sub>s</sub> igual ou inferior a 625 gep/m<sup>2</sup>.semana e R<sub>IEE</sub> igual ou inferior a 0,5).

A segunda abordagem teve como principal foco o sistema de AVAC do edifício, onde se levou em conta a alteração dos *set-points* de temperatura da UTAN responsável pela climatização do mesmo.

Na situação inicial, para os *set-points* definidos na legislação para o conforto térmico em edifícios (20 °C e 25 °C, respectivamente, para aquecimento e arrefecimento), obteve-se, para janeiro, um  $IEE_S$  de 1209 gep/m<sup>2</sup>.semana e um  $R_{IEE}$  de 1,93; e, para julho, um  $IEE_S$  de 1306 gep/m<sup>2</sup>.semana e um  $R_{IEE}$  de 2,09. Posteriormente, considerou-se, para janeiro, um *set-point* de aquecimento de 19 °C e de 18 °C, obtendo-se um  $IEE_S$  de 1053 gep/m<sup>2</sup>.semana e 900 gep/m<sup>2</sup>.semana e um  $R_{IEE}$  de 1,68 e 1,44, respectivamente. Para julho, teve-se em conta um *set-point* de arrefecimento de 26 °C e de 27 °C, para o qual se obteve, respectivamente, um  $IEE_S$  de 1163 gep/m<sup>2</sup>.semana e de 1008 gep/m<sup>2</sup>.semana; e um  $R_{IEE}$  de 1,86 e 1,61. Deste modo, constata-se que continua a não ser possível atingir os valores definidos pela legislação para a classificação NZEB, ainda que a redução do consumo energético seja clara.

Por outro lado, no terceiro caso de estudo, teve-se em consideração a melhoria das envolventes do edifício, através da substituição dos vãos envidraçados, assim como da melhoria do isolamento da envolvente opaca, procurando, em ambos os casos, elementos com melhores características térmicas. A aplicação desta medida resultou, em janeiro, num  $IEE_S$  de 881 gep/m<sup>2</sup>.semana e num  $R_{IEE}$  de 1,41; e, em julho, num  $IEE_S$  de 1246 gep/m<sup>2</sup>.semana e num  $R_{IEE}$  de 1,99. Estes valores demonstram, uma vez mais, que o edifício não é capaz de atingir o objetivo NZEB com a aplicação desta medida, ainda que se verifique uma ligeira aproximação, face à situação inicial.

De acordo com estes dados, é possível concluir que a medida que permite reduzir mais o consumo energética é a melhoria das envolventes, no caso do mês de janeiro, verificando-se uma redução de 27% no  $IEE_S$ , face ao cenário inicial. Por outro lado, no mês de julho, constatou-se que a alteração do *set-point* de arrefecimento para 27 °C resultou numa maior poupança energética, resultando num decréscimo de 23% no  $IEE_S$ . Assim sendo, a implementação destas duas medidas seria um bom ponto de partida para a melhoria do desempenho energético do edifício.

No último caso de estudo, analisou-se o impacte da combinação de todas as medidas anteriores, conciliadas com a mobilidade elétrica, levando-se em conta a cedência de energia ao edifício, por parte dos veículos elétricos presentes na sua envolvente. Nesse sentido, tiveram-se em consideração três cenários distintos: 10, 20 e 40 VEs presentes no edifício; sob três perspetivas: aquando da determinação do  $IEE_S$ , as cargas provenientes desta cedência de energia contribuem para as cargas do tipo R ou do tipo T e, portanto, não são contabilizadas nesse cálculo; ou, por outro lado, representam cargas do tipo S.

Pretendeu-se, com esta análise, averiguar os limites dos indicadores e da legislação, consoante o tipo de contabilização que se atribui às cargas dos VEs. A situação que permitiu uma maior redução desses indicadores foi o cenário em que se encontram 40 VEs na envolvente do edifício. Para janeiro, considerando que as cargas provenientes da mobilidade elétrica são cargas do tipo R ou do tipo T, obteve-se um  $IEE_S$  de 658 gep/m<sup>2</sup>.semana, face a um valor de 614 gep/m<sup>2</sup>.semana, no caso de contribuírem para as cargas do tipo S. Por outro lado, o  $R_{IEE}$  apresenta um valor de 0,92, no caso de se considerarem as cargas dos VEs como cargas do tipo S ou R e um valor de 0,98, se contribuírem para as cargas do tipo T. Para o mês de julho, obteve-se um  $IEE_S$  de 990 gep/m<sup>2</sup>.semana e de 947 gep/m<sup>2</sup>.semana, respetivamente, para o caso das cargas dos VEs serem cargas do tipo R/T e do tipo S. O  $R_{IEE}$  apresenta um valor de 1,39 se representarem cargas do tipo S ou R e de 1,46, caso representem cargas do tipo T.

Com base nestes resultados, é possível aferir que, se as cargas da mobilidade elétrica representarem cargas do tipo S, se obtêm menores valores de  $IEE_S$ , atingindo-se, no mês de janeiro, o valor imposto pela legislação para a meta NZEB. Importa referir que, para a determinação do  $R_{IEE}$ , é indiferente que as cargas dos VEs representem cargas do tipo R ou S, uma vez que, para o seu cálculo, se subtrai o valor do  $IEE_R$  ao do  $IEE_S$ . Assim sendo, dado que, se estas cargas forem do tipo S, representam uma carga “negativa”, enquanto se forem do tipo R, representam uma carga “positiva”, resultam, em ambos os casos, no mesmo valor do  $R_{IEE}$ . Já no caso de serem consideradas cargas do tipo T, o valor do  $R_{IEE}$  é necessariamente mais elevado, uma vez que estas não contribuem para a sua determinação.

Da análise das emissões de CO<sub>2</sub>, verificou-se que a produção de energia renovável no edifício resultou numa redução de 3,2%, em janeiro, e 5,7%, em julho. A alteração dos *set-points* de temperatura da UTAN para 18 °C, no caso do aquecimento, e para 27 °C, na situação de arrefecimento, permitiu uma diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> em 24,2% e em 21,7%, respetivamente, para janeiro e julho. Por outro lado, a melhoria das envolventes do edifício levou a uma redução de 25,1%, no mês de janeiro, não sendo tão substancial no mês de julho, com uma diminuição de apenas 4,3%. Combinando todas estas medidas com a cedência de energia por parte dos veículos elétricos presentes no edifício, foi possível reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> de um modo mais acentuado. Para o mês de janeiro, obteve-se uma redução de 46,1%, 47,0% e 48,6%, respetivamente, considerando 10, 20 e 40 veículos elétricos na envolvente do edifício.

No caso do mês de julho, as emissões de CO<sub>2</sub> sofreram um decréscimo de 28,8%, 29,6% e 31,2%, respetivamente, para 10, 20 e 40 veículos elétricos na envolvente do edifício. Estes resultados indicam que a combinação de todas estas medidas de eficiência energética representa um passo importante para se atingir a neutralidade carbónica e para serem alcançados os objetivos definidos na legislação para as emissões de GEE, onde se define um objetivo de redução de 45% a 55%, face a 2005, até 2030.

No que diz respeito à análise da fatura energética de cada situação, verificou-se que a aplicação das medidas de racionalização energética consideradas resulta, efetivamente, numa redução considerável da energia requerida à rede elétrica e do custo associado. No primeiro caso de estudo, obteve-se uma poupança de 5%, face à situação inicial, para ambos os meses. Para o segundo caso de estudo, onde se teve em conta a melhor situação (*set-points* de 18 °C e 27 °C para aquecimento e arrefecimento, respetivamente), obteve-se uma redução de 22% e 20% no custo da energia elétrica, em janeiro e julho, respetivamente. A melhoria das envolventes do edifício proporcionou uma poupança de 17%, em janeiro, e de 3%, em julho. Por último, a inclusão da mobilidade elétrica na envolvente do edifício, conciliada com as restantes medidas, permite, na melhor situação (considerando 40 veículos presentes no edifício), uma redução de 45% e 27%, respetivamente, para janeiro e julho.

Com base na análise realizada anteriormente, é possível concluir que nenhuma das medidas de eficiência energética implementadas no edifício, assim como a sua aplicação em simultâneo, é capaz de o tornar num edifício NZEB. Ainda que se tenha verificado a melhoria do desempenho energético do edifício em praticamente todos os casos de estudo, em nenhuma situação se atingiram os valores de IEE<sub>S</sub> e R<sub>IEE</sub> impostos pela legislação para a classificação do edifício como NZEB, à exceção do que se verificou no Caso de Estudo 4, em janeiro, em que se atingiu um IEE<sub>S</sub> abaixo dos 625 gep/m<sup>2</sup>.semana pretendidos. Essa dificuldade em aproximar o edifício desse objetivo deve-se, por um lado, aos valores elevados das suas cargas, nomeadamente, das cargas do tipo S, para as quais contribuem a climatização, a iluminação e os elevadores; e, por outro, ao facto das cargas do tipo R, relativas à produção de energia renovável no edifício, serem muito baixas e não conseguirem suprir as restantes cargas. Esses dois fatores, a par do exigente valor do IEE<sub>S</sub> de referência definido pela legislação, levam a que seja particularmente difícil reduzir o valor do rácio de classe energética (R<sub>IEE</sub>).

No que diz respeito à produção de energia renovável, torna-se claro que o edifício em estudo não possui condições favoráveis ao aproveitamento da energia solar, levando a implementação da tecnologia fotovoltaica a não produzir uma quantidade significativa de energia, que seja capaz de suprir as necessidades do edifício. No caso dos painéis fotovoltaicos (PV), as coberturas do edifício apresentam uma área útil reduzida, não possibilitando a instalação de um grande número de painéis. Relativamente aos módulos BIPV, as limitações de exposição solar do edifício não permitem que a radiação solar chegue a todas as fachadas de forma consistente durante o dia, tendo sido apenas instalados numa fachada. Todos esses fatores levam a que os níveis de energia produzidos pela tecnologia fotovoltaica do edifício sejam manifestamente baixos, face às necessidades energéticas do mesmo, resultando num valor de  $IEE_R$  muito pouco significativo.

Estes resultados levam a concluir que o edifício só teria a capacidade de se aproximar da classificação NZEB, caso se encontrasse em melhores condições de explorar o aproveitamento de energias renováveis. Foi possível validar esse pressuposto com a análise realizada a outros edifícios, em condições diferentes de exposição solar, onde se verificou que a componente renovável assume, de facto, um papel crucial no desempenho energético dos mesmos. Verificou-se que existe uma relação entre a área aproveitada para a instalação de tecnologia fotovoltaica e o valor do  $R_{IEE}$ . Ainda assim, constatou-se que, por melhores que sejam as condições de um edifício no que diz respeito à inclusão das energias renováveis na sua gestão de cargas, nem sempre é suficiente para que este se possa tornar NZEB. Isso prova a limitação existente em termos de medidas a implementar na reabilitação de um edifício para que este possa atingir esse objetivo.

Por outro lado, uma vez que o valor do  $R_{IEE}$  depende também do valor do IEEs e este depende diretamente do consumo associado à climatização, eventualmente seria necessário proceder à substituição dos equipamentos de climatização do edifício, para uns que assegurem maiores níveis de eficiência energética, o que implica um maior nível de investimento.

Deste modo, verifica-se que nem todos os edifícios se encontram em condições favoráveis para ser NZEB, ainda que a aplicação de determinadas medidas possa melhorar substancialmente a sua eficiência energética.

## 5.1. Perspetivas e Trabalho Futuro

Com a cada vez maior integração da mobilidade elétrica nos edifícios e com os VEs a terem uma contribuição ativa na gestão energética dos mesmos, é crucial definir os contornos em que essa relação, que muitas vezes é bidirecional, ocorre e influencia o desempenho energético dos edifícios. No trabalho desenvolvido nesta dissertação, procurou investigar-se os limites dos indicadores de eficiência energética no que diz respeito à mobilidade elétrica e ao seu impacto na classificação energética dos edifícios, tendo-se analisado diferentes cenários e comparado diferentes edifícios, relativos à sua contribuição para esses indicadores. Durante essa análise, verificou-se que essa contribuição não é clara, uma vez que esta solução não é contemplada na legislação em vigor, sendo importante, futuramente, perceber onde se inserem as cargas provenientes dos VEs, ou seja, se representam cargas do tipo S, do tipo R ou do tipo T.

Por outro lado, não foi possível contabilizar o custo associado à energia cedida pelos VEs ao edifício, dado que ainda não existem modelos de monetização associados a essa situação, sendo algo que pode vir a ser considerado no futuro. Assim sendo, torna-se claro que é necessário rever a legislação relativa à inclusão da mobilidade elétrica na gestão de cargas dos edifícios e na sua influência nos indicadores de eficiência energética e na classificação energética dos mesmos.

Além disso, apesar de no presente trabalho se ter analisado a fatura energética resultante da aplicação de cada uma das medidas de eficiência energética, face à situação inicial, num trabalho futuro, seria também interessante perceber o verdadeiro impacto económico da aplicação dessas medidas, através da determinação dos custos de implementação das mesmas.

## Referências Bibliográficas

- [1] Eurostat, «Eurostat Database: Environment and Energy», 2021. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.
- [2] PORDATA, «Ambiente, Energia e Território», 2021. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Subtema/Europa/Energia-149>.
- [3] Observatório da Energia, Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e Agência para a Energia (ADENE), «Energia em Números - Edição 2022», 2022.
- [4] Parlamento Europeu e Conselho Europeu, *Diretiva (EU) 2018/2001*. Jornal Oficial da União Europeia, L 328/82. 2018.
- [5] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2010/31/UE*. Jornal Oficial da União Europeia, L 153/13. 2010.
- [6] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2014/94/EU*. Jornal Oficial da União Europeia, L 307/1. 2014.
- [7] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2002/91/CE*. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L 1/65. 2002.
- [8] Comissão Europeia, *Plano de Acção para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial*. 2006.
- [9] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2009/28/CE*. Jornal Oficial da União Europeia, L 140/16. 2009.
- [10] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2012/27/EU*. Jornal Oficial da União Europeia, L 315/1. 2012.
- [11] Parlamento Europeu e do Conselho, *Directiva 2009/125/CE*. Jornal Oficial da União Europeia, L 285/10. 2009.
- [12] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2018/844*. Jornal Oficial da União Europeia, L 156/75. 2018.
- [13] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, *Decreto-Lei nº 40/90*. Diário da República, 1ª Série - Nº 31. 1990.

- [14] Ministério do Equipamento e do Planeamento e da Administração do Território, *Decreto-Lei nº 118/98*. Diário da República, 1ª Série - A - Nº 105. 1998.
- [15] Ministério da Economia e da Inovação, *Decreto-Lei nº 78/2006*. Diário da República, 1ª Série - A - Nº 67. 2006.
- [16] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, *Decreto-Lei nº 79/2006*. Diário da República, 1ª Série - A - Nº 67. 2006.
- [17] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, *Decreto-Lei nº 80/2006*. Diário da República, 1ª Série - A - Nº 67. 2006.
- [18] República Portuguesa, *Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER)*. 2016.
- [19] Ministério da Economia e do Emprego, *Decreto-Lei nº 118/2013*. Diário da República, 1ª Série - Nº 159. 2013.
- [20] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, *Decreto-Lei nº 68-A/2015*. Diário da República, 1ª Série - Nº 84. 2015.
- [21] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, *Decreto-Lei nº 194/2015*. Diário da República, 1ª Série - Nº 179. 2015.
- [22] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, *Decreto-Lei nº 251/2015*. Diário da República, 1ª Série - Nº 231. 2015.
- [23] Ministério da Economia, *Decreto-Lei nº 28/2016*. Diário da República, 1ª Série - Nº 119. 2016.
- [24] Assembleia da República, *Lei nº 52/2018*. Diário da República, 1ª Série - Nº 159. 2018.
- [25] Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, *Portaria nº 349-D/2013*. Diário da República, 1ª Série - Nº 233. 2013.
- [26] Ministério da Economia e do Emprego, *Declaração de Retificação nº 3/2014*. Diário da República, 1ª Série - Nº 22. 2014.
- [27] Ministério do Trabalho, Solidariedade e Segurança Social e Economia, *Portaria nº 17-A/2016*. Diário da República, 1ª Série - Nº 24. 2016.

- [28] Ministério do Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Ambiente e Transição Energética, *Portaria n° 42/2019*. Diário da República, 1ª Série - N° 21. 2019.
- [29] Ministério da Economia e do Emprego, *Portaria n° 349-B/2013*. Diário da República, 1ª Série - N° 232. 2013.
- [30] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, *Portaria n° 379-A/2015*. Diário da República, 1ª Série - N° 207. 2015.
- [31] Ministério da Economia, *Portaria n° 319/2016*. Diário da República, 1ª Série N° 239. 2016.
- [32] Ministério do Ambiente e da Transição Energética, *Portaria n° 98/2019*. Diário da República, 1ª Série - N° 65. 2019.
- [33] Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), «Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios». 2021. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/diretiva-dos-edificios/>.
- [34] República Portuguesa, *Plano Nacional de Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030)*. 2018.
- [35] Presidência do Conselho de Ministros, *Decreto-Lei n° 101-D/2020*. Diário da República, 1ª Série - N° 237. 2020.
- [36] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2019/944/EU*. Jornal Oficial da União Europeia, L 158/125.2018.
- [37] Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, *Decreto-Lei n° 39/2010*. Diário da República, 1ª Série - N° 80. 2010.
- [38] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, *Decreto-Lei n° 90/2014*. Diário da República, 1ª Série - N° 111. 2014.
- [39] Presidência do Conselho de Ministros, Economia e Ambiente, *Portaria n° 220/2016*. Diário da República, 1ª Série - N° 153. 2016.
- [40] Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação, *Portaria n° 138-I/2021*. Diário da República, 1ª Série - N° 126. 2021.

- [41] L. Belussi *et al.*, «A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions», *Journal of Building Engineering*, vol. 25, p. 100772, 2019, doi: 10.1016/j.jobee.2019.100772.
- [42] T. P. Isolani, R. C. Adiconsum, F. C. Ademe, F. P. Escan, A. O. Adiconsum, e I. O. Deco, «Eficiência energética nos edifícios residenciais», 2008.
- [43] Ministério do Ambiente e Ordenamento de Território e Energia, *Despacho n.º 15793/1013*. Diário da República, 2ª Série - N.º 234. 2013.
- [44] N. Garrison, C. Horowitz, C. Ann Lunghino, J. Devine, e D. S. Beckman, «Looking Up: How Green Roofs and Cool Roofs Can Reduce Energy Use, Address Climate Change and Protect Water Resources in Southern California», 2012, doi: 10.1109/TDC.2005.1547154.
- [45] Urban Scape, «Benefits of Green Roofs», 2016. Disponível em : <https://www.urbanscape-architecture.com/do-you-really-know-all-the-benefits-of-green-roofs/>.
- [46] Department of Energy, «Cool Roofs», *Energy Saver*. Disponível em: <https://www.energy.gov/energysaver/cool-roofs>.
- [47] NZEB, «Cool Roofs Properties and Performance». Disponível em: <https://nzebnew.pivotaldesign.biz/knowledge-centre/passive-design/cool-roofs/>.
- [48] M. Palhinha, «Sistemas de Sombreamento em Arquitetura: Proposta de um Novo Método de Conceção e Dimensionamento», Instituto Superior Técnico (IST), 2009.
- [49] L. Coelho, «Ventilação Natural de Edifícios», *Apresentações da U.C. de Ventilação, ISEL*, 2021.
- [50] Silka Group, «Solar Roofs», 2021. Disponível em: <https://www.sika.com/en/construction/roof-systems/solar-roofs.html>.
- [51] O. Planas, «Energia Solar - Painéis Fotovoltaicos de Energia Solar», 2018. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/painel-solar/painel-solar-hibrido>.

- [52] T. Hajibeigy, C. Vaithilingam, e R. Gangasa Walveka, «Proposed Framework of Hybrid Photovoltaic Thermal Systems to Ecotourism in Malaysia», *MATEC Web of Conferences*, vol. 152, p. 04002, 2018, doi: 10.1051/mateconf/20181520400.
- [53] B. P. Jelle e C. Breivik, «State-of-the-art building integrated photovoltaics», *Energy Procedia*, vol. 20, pp. 68-77, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2012.03.009.
- [54] A. Boccalatte, M. Fossa, e C. Ménézo, «Best arrangement of BIPV surfaces for future NZEB districts while considering urban heat island effects and the reduction of reflected radiation from solar façades», *Renewable Energy*, vol. 160, pp. 686-697, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.07.057.
- [55] Department of Energy, «Solar Water Heaters», *Energy Saver*. Disponível em: <https://www.energy.gov/energysaver/solar-water-heaters>.
- [56] A. Buonomano, F. Calise, F. L. Cappiello, A. Palombo, e M. Vicidomini, «Dynamic analysis of the integration of electric vehicles in efficient buildings fed by renewables», *Applied Energy*, vol. 245, pp. 31-50, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.03.206.
- [57] A. Braun e W. Rid, «Energy consumption of an electric and an internal combustion passenger car. A comparative case study from real world data on the Erfurt circuit in Germany», *Transportation Research Procedia*, vol. 27, pp. 468-475, 2017, doi: 10.1016/j.trpro.2017.12.044.
- [58] A. C. Rodrigues Teixeira e J. Ricardo Sodré, «Impacts of replacement of engine powered vehicles by electric vehicles on energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 59, pp. 375-384, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.01.004>.
- [59] H. U. Rehman, J. Diriken, A. Hasan, S. Verbeke, e F. Reda, «Energy and emission implications of electric vehicles integration with nearly and net zero energy buildings», *Energies*, vol. 14, p. 6990, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/en14216990>
- [60] F. Kotarela, A. Kyritsis, N. Papanikolaou, e S. A. Kalogirou, «Enhanced nZEB concept incorporating a sustainable Grid Support Scheme», *Renewable Energy*, vol. 169, pp. 714-725, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.01.050.

- [61] D. T. Hoang, P. Wang, D. Niyato, e E. Hossain, «Charging and discharging of plug-in electric vehicles (PEVs) in vehicle-to-grid (V2G) systems: A cyber insurance-based model», *IEEE Access*, vol. 5, pp. 732-754, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2649042.
- [62] C. Roselli e M. Sasso, «Integration between electric vehicle charging and PV system to increase self-consumption of an office application», *Energy Conversion and Management*, vol. 130, pp. 130-140, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.10.040>.
- [63] Nuvve Holding Corp, «PARKER Project successfully proves commercial advantages of V2G», *Electric Vehicle News*, 2018. Disponível em: <https://nuvve.com/parker-project-results/>.
- [64] O. Pasichnyi, F. Levihn, H. Shahrokni, J. Wallin, e O. Kordas, «Data-driven strategic planning of building energy retrofitting: The case of Stockholm», *Journal of Cleaner Production*, vol. 233, pp. 546-560, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.373.
- [65] J. P. González e C. Yousif, «Prioritising energy efficiency measures to achieve a zero net-energy hotel on the island of Gozo in the central Mediterranean», *Energy Procedia*, vol. 83, pp. 50-59, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.195.
- [66] P. M. Congedo, C. Baglivo, D. D'Agostino, e I. Zacà, «Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates», *Energy*, vol. 91, pp. 967–982, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.08.078.
- [67] M. J. Mesquita, «Reabilitação energética de um edifício de serviços: convergência para NZEB», ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2016.
- [68] Google, «Google Maps», 2022. Disponível em: [google.com/maps/](https://www.google.com/maps/).
- [69] Carrier, «Hourly Analysis Program (HAP)». 2022.
- [70] «SunCalc», 2022. Disponível em: [www.suncalc.org](http://www.suncalc.org).
- [71] Google, «Google Earth», 2022. Disponível em: [google.com/earth/](https://www.google.com/earth/).
- [72] E. Comission, «Photovoltaic Geographical Information System», 2022. Disponível em: <https://re.jrc.ec.europa.eu/>.

- [73] Observatório da Energia. Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). Agência para a Energia (ADENE), «Manual SCE - Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios», *Adene*, 2021. Disponível em: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2021/07/Manual-SCE.pdf>.
- [74] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - ERSE, *Diretiva nº 16/2018*. Diário da República, 2ª Série - Nº 240. 2018.
- [75] European Environment Agency, «Greenhouse gas emission intensity of electricity generation», 2021. Disponível em: [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-10#tab-googlechartid\\_googlechartid\\_googlechartid\\_googlechartid\\_chart\\_11111](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-10#tab-googlechartid_googlechartid_googlechartid_googlechartid_chart_11111).
- [76] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - ERSE, *Diretiva nº 17/2022*. Diário da República, 2ª Série - Nº 129. 2022.
- [77] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - ERSE, *Diretiva nº 3/2022*. Diário da República, 2ª Série - Nº 5. 2022.
- [78] Ministério da Economia e da Inovação, *Decreto-Lei nº 225/2007*. Diário da República, 1ª Série - Nº 105. 2007.
- [79] Trina Solar, «The TALLMAX - Framed 144 Half-Cell Multi-Busbar Module», 2021. Disponível em: <https://www.trinasolar.com/pt>.
- [80] Solar Innova, «Catálogo Módulos FV BIPV Vidro/Vidro», 2022. Disponível em: <http://www.solarinnova.net>.
- [81] Laboratório Nacional de Engenharia Civil, *Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-Dias*. 1995.
- [82] Carrier, «HDPsyChart 7.5.8». 2022.
- [83] «O Clima de Portugal - Fascículo XIII - Normais Climatológicas do Continente, Açores e Madeira entre 1931-1960».
- [84] Lei EN 15251:2008, *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*, 2008.

- [85] C. Pina dos Santos e L. Matias, «Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos dos Edifícios», *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, 2006.
- [86] Lei EN 13779:2007», *Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*, 2007.
- [87] Saint-Gobain, «Vidro COOL-LITE SKN 144 II». 2014. Disponível em: <https://pt.saint-gobain-building-glass.com/pt-pt/sgg-cool-lite-skn-144-ii>
- [88] Saint-Gobain, «Sistema Weber.Therm Classic». 2016. Disponível em: <https://construir.saint-gobain.pt/Sistemas/fachadas/sistema-webertherm-classic>
- [89] C. Guille e G. Gross, «A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation», *Energy Policy*, vol. 37, pp. 4379-4390, 2009, doi: 10.1016/j.enpol.2009.05.053.
- [90] G. de Oliveira Martins, «Gestão de Micro Redes de Energia Elétrica em Edifícios de Serviços», ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2022.

## **Anexos**

## **Anexo 1: Condições exteriores de projeto Lisboa**

Quadro I.A - 1 (cont.)

TEMPERATURAS EXTERIORES DE PROJECTO DE INVERNO  
(PROBABILIDADES ACUMULADAS DE OCORRÊNCIA DE 1, 2.5, 5 e 10%)

REGIÃO	NUMERO DE ORDEM	LOCAL	PROB.(%)			
			1.0	2.5	5.0	10.0
CONTINENTE	30	MONTEMUR-O-VELHO	-1.6	-0.1	1.5	3.5
	31	FUNDAO	-2.5	-1.2	0.1	1.7
	32	ZEBREIRA	-1.9	-0.4	1.4	3.0
	33	CASTELO BRANCO	0.1	1.4	2.7	4.0
	34	MARINHA GRANDE	-1.9	-0.8	0.6	2.2
	35	ALCOBACA	-1.9	-0.2	1.4	3.3
	36	TANCOS/BASE AEREA	-1.8	-0.5	0.8	2.6
	37	ALVEGA	-3.0	-1.4	0.1	2.0
	38	MARVÃO	-1.7	-0.2	0.9	2.3
	39	CABO CARVOEIRO	4.6	6.0	7.1	8.4
	40	RIO MAIOR	-2.7	-1.3	0.1	2.2
	41	PORTALEGRE	0.2	1.5	2.8	4.3
	42	SANTAREM	-0.2	1.2	2.6	4.3
	43	FONTE BOA	1.1	2.4	3.6	5.2
	44	OTA/BASE AEREA	0.3	1.7	3.0	4.8
	45	BENAVILA	0.0	1.3	2.5	4.2
	46	DOIS PORTOS	0.5	2.0	3.4	5.0
	47	SALVATERRA DE MAGOS	-1.8	-0.5	0.9	3.0
	48	MORA	-0.8	0.6	1.9	3.6
	49	ELVAS	-1.6	-0.2	1.1	3.0
	50	SINTRA/GRANJA	-0.3	1.1	2.5	4.4
	51	CABO DA ROCA	4.9	6.1	7.1	8.5
	52	LISBOA/PORTELA	3.2	4.4	5.4	6.6
	53	LISBOA/GEDF ISICO	4.3	5.5	6.4	7.6
	54	PEGOES	-0.2	1.1	2.5	4.1
	55	EVORA	1.2	2.7	3.9	5.2
	56	SETUBAL	-0.3	1.1	2.4	4.3
	57	EVORA/CUKRAIS	-1.7	-0.2	1.1	2.7
58	SETUBAL/SETENAVE	2.0	3.1	4.5	6.1	

Quadro II.A - 1 (cont.)

TEMPERATURAS EXTERIORES DE PROJECTO DE VERÃO  
(PROBABILIDADES ACUMULADAS DE OCORRÊNCIA DE 90, 95, 97.5 e 99%)  
E AMPLITUDE TÉRMICA DIÁRIA DO MÊS MAIS QUENTE

RECÍPIO	NUM. DE ORDEM	LOCAL	T TERM. SECO				TW TERM. MOLHADO COINCIDENTE COM T				TW TERM. MOLHADO				AMPLITUDE TÉRMICA DIÁRIA
			99%	97.5%	95%	90%	99%	97.5%	95%	90%	99%	97.5%	95%	90%	
CONTINENTE	30	MONTEMOR-O-VELHO	32.3	30.0	27.7	25.5	22.0	21.1	20.2	19.6	22.9	21.8	21.0	20.1	10.5
	31	FUNDAD	34.8	33.5	32.1	30.1	20.5	19.9	19.6	18.9	22.3	21.1	20.1	19.2	15.0
	32	ZEBREIRA	36.4	34.9	33.5	31.7	19.8	19.5	19.2	18.6	21.3	20.6	20.0	19.1	14.8
	33	CASTELO BRANCO	36.2	34.9	33.6	31.7	21.5	21.1	20.7	19.9	24.1	22.3	21.3	20.3	14.1
	34	MAKINHA GRANDE	31.5	28.7	26.2	24.3	20.3	19.6	19.4	19.0	21.7	20.8	20.2	19.4	10.5
	35	ALCOBACA	33.1	30.5	28.0	25.5	21.5	20.6	19.9	19.2	22.2	21.3	20.5	19.7	11.8
	36	TANCUS/B. AEREA	36.1	34.2	32.4	30.2	21.9	21.3	20.9	20.1	22.7	21.9	21.3	20.5	15.1
	37	ALVEGA	36.9	35.0	33.3	31.2	23.2	22.2	21.8	21.0	24.4	23.4	22.6	21.7	17.1
	38	MARVAO	31.8	30.4	29.2	27.4	18.5	18.2	17.9	17.3	20.9	19.7	18.9	18.0	10.1
	39	CABO CARVOEIRO	23.9	22.2	21.4	20.6	18.8	18.5	18.5	18.0	19.8	19.3	18.8	18.4	4.1
	40	RIO MAIOR	34.5	32.3	30.0	27.6	22.1	21.5	20.7	20.0	23.1	22.2	21.5	20.6	13.2
	41	PORTALEGRE	33.6	32.2	30.7	29.1	18.4	17.8	17.4	17.1	19.5	19.1	18.5	17.8	13.5
	42	SANTAREM	35.6	33.6	31.9	29.7	21.9	21.3	20.8	20.1	22.8	22.0	21.4	20.6	15.5
	43	FONTE BJA	35.7	33.6	31.8	29.4	22.6	21.9	21.3	20.5	24.0	22.7	21.8	20.8	14.3
	44	UTA/BASE AEREA	34.8	32.8	30.9	28.6	22.1	21.2	20.6	19.9	22.7	21.9	21.2	20.4	11.9
	45	BENAVILA	37.0	35.3	33.7	31.6	22.6	21.9	21.3	20.5	23.7	22.7	21.9	20.9	16.5
	46	DOIS PURTOS	32.8	30.7	28.5	26.0	21.6	20.8	20.2	19.8	22.6	21.6	20.8	19.9	11.3
	47	SALVATERRA DE MAGOS	34.0	32.2	30.3	28.2	22.7	21.8	21.3	20.4	24.1	22.7	21.9	21.0	13.9
	48	MDRA	36.3	34.4	32.8	30.8	22.5	21.8	21.2	20.5	23.8	22.8	22.0	21.0	15.9
	49	ELVAS	37.0	35.7	34.3	32.4	21.8	21.7	21.1	20.4	23.5	22.5	21.8	20.8	17.2
	50	SINTRA/GRANJA	31.6	29.3	25.9	24.7	20.5	19.6	19.3	18.8	21.4	20.6	20.0	19.3	9.9
	51	CABO DA Roca	27.6	25.1	23.1	21.4	19.4	18.7	18.1	17.9	20.6	19.5	19.0	18.4	5.9
	52	LISBOA/PORTELA	33.3	31.4	29.4	27.0	22.2	21.2	20.4	19.6	23.0	22.0	21.0	20.0	11.2
	53	LISBOA/GEOFISICO	32.9	31.2	29.7	27.8	20.8	20.3	19.9	19.5	21.9	21.2	20.6	19.9	10.5
	54	PEGDES	35.5	33.7	32.0	29.8	22.0	21.4	21.0	20.4	23.1	22.3	21.6	20.9	16.1
	55	EVORA	35.4	33.7	32.0	30.2	19.9	19.3	19.1	18.6	21.0	20.3	19.8	19.0	13.8
	56	SETUBAL	34.4	32.5	30.9	28.8	21.8	21.3	20.7	20.1	23.8	22.2	21.4	20.6	13.4
	57	EVORA/CJKRAIS	36.9	35.2	33.7	31.7	22.5	21.9	21.3	20.4	24.1	22.9	22.0	20.9	17.6
	58	SETUBAL/SETENAVE	34.0	32.1	30.4	28.3	21.8	21.3	20.7	19.9	23.1	22.0	21.3	20.5	12.2

## **Anexo 2: Normais climatéricas Lisboa**

$\phi = 38^{\circ}42'N$ ;  $\lambda = 9^{\circ}11'W$ ;  $g = 9,8005 m/s^2$ ;  $\Delta G = 0$ ;  $H_0 = 50$ ;  $H_1 = \dots$ ;  $H_2 = \dots$ ;  $h_1 = 1,5 m$ ;  $h_2 = 6,0 m$ ;  $h_3 = 6,0 m$ ;  $h_4 = \dots$

Pressão atmosférica P (mb)		Temperatura do ar								Mês
		$\bar{T}$ (°C)					T (°C)			
Nº local	Red. ao nível do mar	9 h	18 h	Mensal	Max	Min	Max	Min		
-	-	10,3	11,9	11,0	14,9	7,1	21,0	- 1,0	Janeiro	
-	-	10,9	12,9	11,7	15,8	7,6	25,0	- 2,8	Fevereiro	
-	-	12,7	13,4	13,1	17,6	8,5	29,4	0,0	Março	
-	-	14,8	15,4	14,9	19,9	9,8	31,0	1,1	Abril	
-	-	17,5	17,6	17,1	22,6	11,6	35,6	1,8	Maior	
-	-	20,0	20,4	19,7	25,4	14,0	36,8	8,0	Junho	
-	-	21,9	23,4	21,9	28,1	15,8	39,5	10,0	Julho	
-	-	21,9	23,3	22,3	28,5	16,1	38,0	10,6	Agosto	
-	-	20,6	22,0	20,9	26,7	15,1	37,5	9,5	Setembro	
-	-	17,7	18,4	18,1	22,7	13,2	33,5	6,0	Outubro	
-	-	13,5	14,9	14,1	18,3	9,9	29,2	2,0	Novembro	
-	-	10,8	12,6	11,5	15,4	7,6	21,2	0,0	Dezembro	
-	-	16,1	17,2	16,4	21,3	11,4	39,5	- 2,8	Ano	

Humidade relativa do ar $\bar{U}$ (%)			Nebulosidade N (0-10)			Insolação I		Precipitação R (mm)		Evaporação (mm)	Mês
9 h	18 h	Mensal	9 h	18 h	Total (h)	Percent. (%)	Total	Max (diária)			
87	81	81	6	6	131,2	44	111,8	64,0	58,1	Janerio	
84	77	77	6	6	148,1	50	99,1	54,4	64,9	Fevereiro	
82	73	73	6	5	184,5	50	97,8	72,6	81,6	Março	
76	69	69	5	5	235,5	60	51,6	49,4	98,7	Abril	
73	67	67	5	4	287,0	66	41,3	36,4	125,3	Maior	
71	65	65	4	3	299,8	69	21,4	48,4	143,2	Junho	
69	61	61	3	2	350,3	80	2,8	19,4	178,0	Julho	
69	60	60	3	1	332,6	80	5,2	21,2	181,4	Agosto	
74	66	66	4	3	248,7	68	29,5	51,0	140,6	Setembro	
78	72	72	5	4	199,1	58	75,5	74,6	103,4	Outubro	
81	74	74	5	4	156,4	52	94,8	112,5	76,1	Novembro	
84	77	77	6	5	137,9	48	100,0	68,0	63,3	Dezembro	
77	70	70	5	4	2711,1	60	730,8	112,5	1314,6	Ano	

**Anexo 3: Irradiação diária Lisboa no meses de janeiro e de julho (*Photovoltaic Geographical Information System*)**

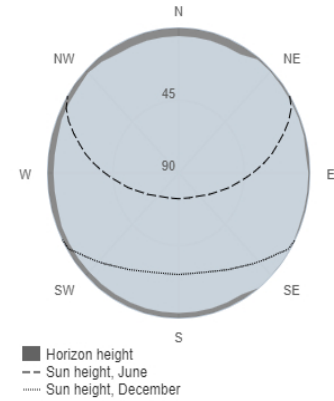
# Daily irradiance data

## PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

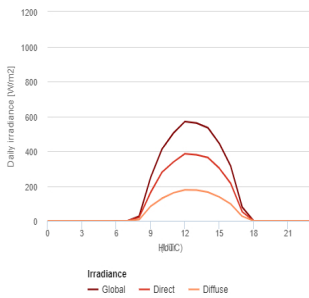
### Provided inputs

Latitude/Longitude: 38.726,-9.149  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH2  
 Month: January

### Outline of horizon at chosen location:



### Daily average irradiance on fixed plane with slope 35° and azimuth 0°

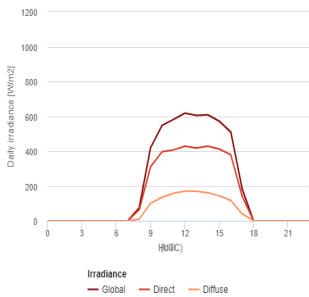


#### Irradiance on a fixed plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
G(j)	0	0	0	0	0	0	0	0	26	249	412	504	570	561	534	444	314	79	0	0	0	0	0	0
Gb(i)	0	0	0	0	0	0	0	0	19	163	279	338	385	379	364	302	214	52	0	0	0	0	0	0
Gd(i)	0	0	0	0	0	0	0	0	7	83	129	161	178	176	164	137	97	26	0	0	0	0	0	0

G(j): Global irradiance on a fixed plane [W/m2].  
 Gb(i): Direct irradiance on a fixed plane [W/m2].  
 Gd(i): Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m2].

### Daily average irradiance on sun-tracking plane

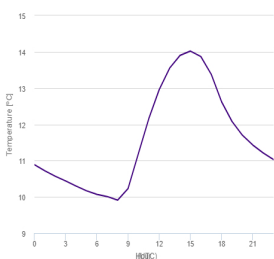


#### Irradiance on sun-tracking plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
G(n)	0	0	0	0	0	0	0	0	74	420	547	582	617	605	608	572	510	182	0	0	0	0	0	0
Gb(n)	0	0	0	0	0	0	0	0	63	310	396	407	428	418	428	412	380	140	0	0	0	0	0	0
Gd(n)	0	0	0	0	0	0	0	0	10	100	135	158	171	169	161	143	118	39	0	0	0	0	0	0

G(n): Global irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m2].  
 Gb(n): Direct normal irradiance [W/m2].  
 Gd(n): Diffuse irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m2].

### Daily average temperature



#### Daily average temperature

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
T2m	10.89	10.72	10.57	10.44	10.3	10.17	10.07	10.01	9.91	10.23	11.2	12.16	12.96	13.55	13.9	14.02	13.87	13.38	12.62	12.08	11.7	11.43	11.21	11.03

T2m: Daily average temperature [°C].

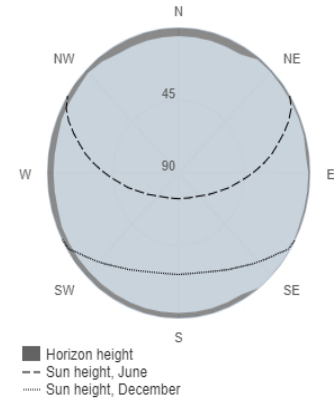
# Daily irradiance data

## PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

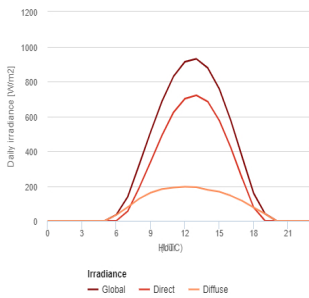
### Provided inputs

Latitude/Longitude: 38.726,-9.149  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH2  
 Month: July

### Outline of horizon at chosen location:



### Daily average irradiance on fixed plane with slope 35° and azimuth 0°

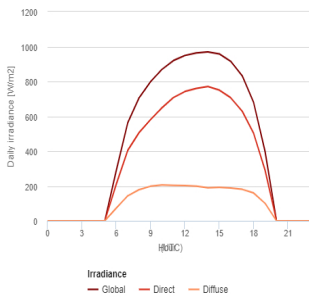


#### Irradiance on a fixed plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
<b>G(j)</b>	0	0	0	0	0	0	35	138	322	510	686	829	913	930	877	757	577	367	158	41	0	0	0	0
<b>Gb(i)</b>	0	0	0	0	0	0	0	55	189	339	491	623	701	720	683	575	421	243	77	0	0	0	0	0
<b>Gd(i)</b>	0	0	0	0	0	0	34	78	126	161	182	191	196	193	178	167	144	115	76	40	0	0	0	0

G(j): Global irradiance on a fixed plane [W/m2].  
 Gb(i): Direct irradiance on a fixed plane [W/m2].  
 Gd(i): Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m2].

### Daily average irradiance on sun-tracking plane

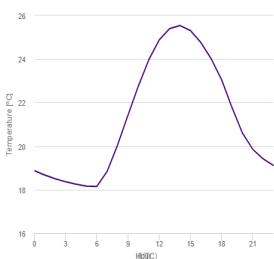


#### Irradiance on sun-tracking plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
<b>G(n)</b>	0	0	0	0	0	0	288	562	706	798	869	920	949	964	969	958	915	832	679	398	0	0	0	0
<b>Gb(n)</b>	0	0	0	0	0	0	210	404	508	581	649	708	742	760	771	751	706	629	502	290	0	0	0	0
<b>Gd(n)</b>	0	0	0	0	0	0	72	143	179	198	206	203	202	199	189	192	188	181	160	100	0	0	0	0

G(n): Global irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m2].  
 Gb(n): Direct normal irradiance [W/m2].  
 Gd(n): Diffuse irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m2].

### Daily average temperature



#### Daily average temperature

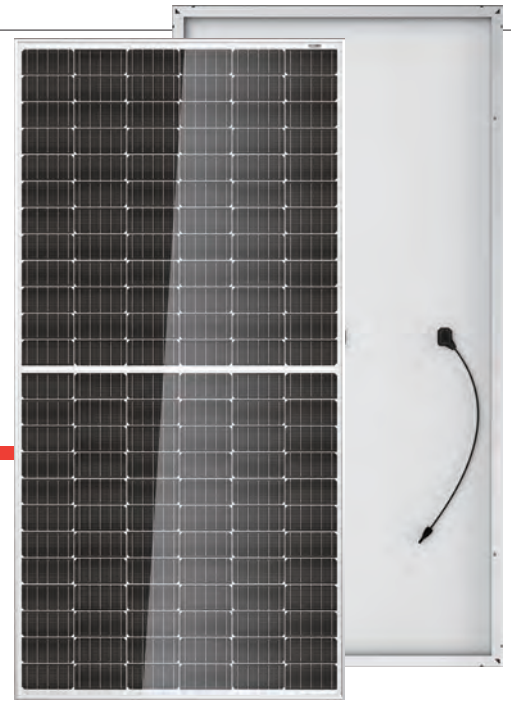
Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
<b>T2m</b>	18.87	18.67	18.5	18.36	18.25	18.16	18.15	18.85	20.06	21.43	22.77	23.97	24.88	25.4	25.54	25.31	24.76	24.01	23.05	21.77	20.6	19.85	19.41	19.11

T2m: Daily average temperature [°C].

**Anexo 4: Características Painéis Fotovoltaicos TALLMAX  
Framed 144 (Trina Solar)**

# THE TALLMAX<sup>M</sup>

## FRAMED 144 HALF-CELL MODULE



**144-Cell**  
MONOCRYSTALLINE MODULE

**380-410W**  
POWER OUTPUT RANGE

**20.4%**  
MAXIMUM EFFICIENCY

**0~+5W**  
POSITIVE POWER TOLERANCE

PRODUCTS	COLOR OF FRAME	POWER RANGE
TSM-DE15H(II)	Silver	380-410W



### High power output

- Reduce BOS cost with high power bin and 1500V system voltage
- New cell string layout and split J-box location reduces the energy loss caused by inter-row shading
- Lower resistance of half-cut cells ensures higher power



### High energy generation, low LCOE

- Excellent 3rd party validated IAM and low light performance with cell process and module material optimization
- Integrated LRF(Light Redirecting Film) to enhance power
- Low P<sub>max</sub> temp coefficient (-0.36%) increases energy production
- Better anti-shading performance and lower operating temperature



### Certified to perform in highly challenging environments

- High PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to salt, acid, sand, and ammonia
- Certified to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load



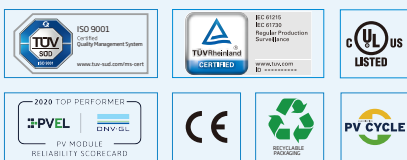
### Easy to install, wide application

- Frame design enables compatibility with standard installation methods
- Deployable for ground mounted and rooftop projects
- Safe and easy to transport, handle, and install

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading total solution provider for solar energy. With local presence around the globe, Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and deliver our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable brand. Trina Solar now distributes its PV products to over 100 countries all over the world. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaborations with installers, developers, distributors and other partners in driving smart energy together.

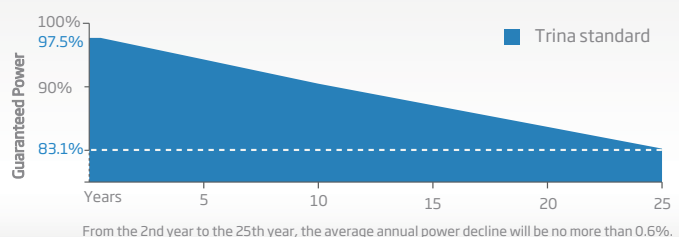
### Comprehensive Products and System Certificates

UL 61730  
IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716  
ISO 9001: Quality Management System  
ISO 14001: Environmental Management System  
ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification  
OHSAS 18001: Occupation Health and Safety Management System

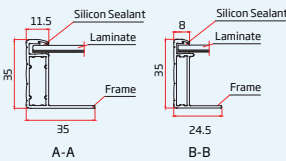
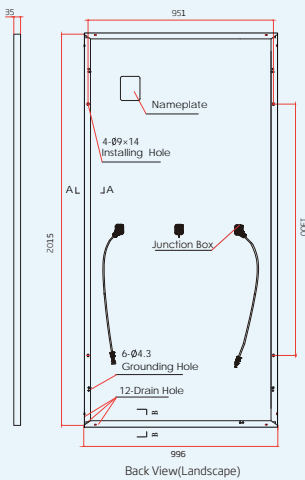
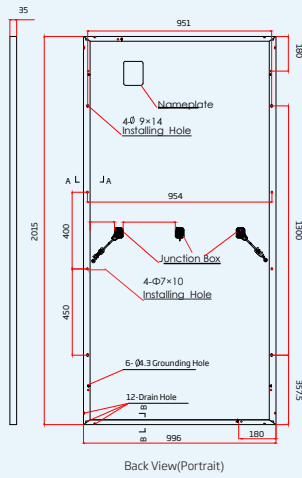


### PERFORMANCE WARRANTY

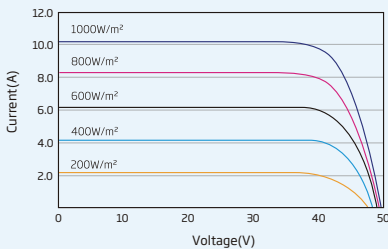
12 Year Product Warranty · 25 Year Power Warranty



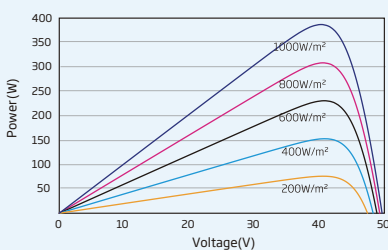
### DIMENSIONS OF PV MODULE (mm)



### I-V CURVES OF PV MODULE(390W)



### P-V CURVES OF PV MODULE(390W)



### ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts-P <sub>MAX</sub> (Wp)*	380	385	390	395	400	405	410
Power Output Tolerance-P <sub>MAX</sub> (W)	0 ~ +5						
Maximum Power Voltage-V <sub>MPP</sub> (V)	39.6	40.1	40.5	40.8	41.1	41.4	41.7
Maximum Power Current-I <sub>MPP</sub> (A)	9.59	9.61	9.64	9.69	9.74	9.79	9.84
Open Circuit Voltage-V <sub>OC</sub> (V)	48.1	48.5	49.7	50.1	50.4	50.8	51.2
Short Circuit Current-I <sub>SC</sub> (A)	9.99	10.03	10.08	10.13	10.18	10.23	10.29
Module Efficiency η <sub>m</sub> (%)	18.9	19.2	19.4	19.7	19.9	20.2	20.4

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.  
\*Measurement tolerance: ±3%.

### ELECTRICAL DATA (NMOT)

Maximum Power-P <sub>MAX</sub> (Wp)	287	291	296	299	303	307	311
Maximum Power Voltage-V <sub>MPP</sub> (V)	37.6	37.9	38.6	38.9	39.1	39.4	39.7
Maximum Power Current-I <sub>MPP</sub> (A)	7.64	7.68	7.66	7.70	7.74	7.78	7.82
Open Circuit Voltage-V <sub>OC</sub> (V)	45.4	45.8	46.9	47.3	47.6	47.9	48.3
Short Circuit Current-I <sub>SC</sub> (A)	8.05	8.08	8.12	8.16	8.20	8.24	8.29

NMOT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

### MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline PERC
Cell Orientation	144 cells (6 × 24)
Module Dimensions	2015 × 996 × 35 mm (79.33 × 39.21 × 1.38 inches)
Weight	22.0kg ( 48.5lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Fire Type	Type 1 or 2
Connector	Trina TS4/MC4-Evo2
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ) Portrait: N 140mm/P 285mm (5.51/11.22 inches) Landscape: N 1400 mm /P 1400 mm (55.12/55.12 inches)

### TEMPERATURE RATINGS

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41°C (±3°C)
Temperature Coefficient of P <sub>MAX</sub>	- 0.36%/°C
Temperature Coefficient of V <sub>OC</sub>	- 0.26%/°C
Temperature Coefficient of I <sub>SC</sub>	0.04%/°C

### MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC) 1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	20A

(Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

### WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty

25 year Power Warranty

(Please refer to product warranty for details)

### PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 30 pieces

Modules per 40' container: 660 pieces

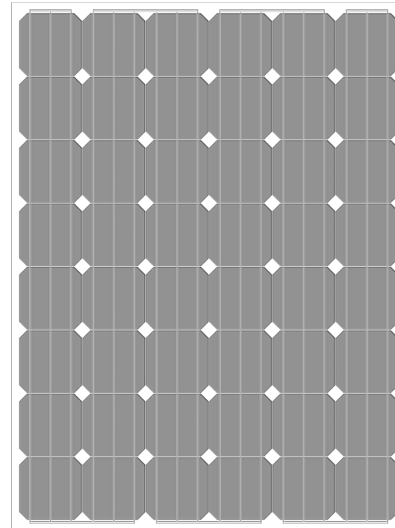
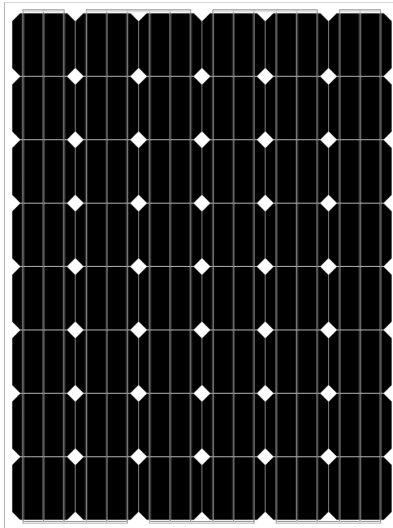
Pallet dimensions (L x W x H): 2055 x 1120 x 1154 mm

Pallet weight: 701kg (1,546lb)

**Anexo 5: Características Módulos BIPV BIPV-GG-M156-72  
(Solar Innova)**



## SI-ESF-M-BIPV-GG-M156-48



### CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (STC)

	Wp	205	210	215	220	225
<b>Potência máxima (Pmpp)</b>	Wp	205	210	215	220	225
<b>Tolerância</b>	Wp	0 ~ + 5				
<b>Tensão de potência máxima (Vmpp)</b>	Volts	23,9	24,2	24,4	24,6	24,8
<b>Corrente de potência máxima (Impp)</b>	Ampères	8,57	8,69	8,81	8,94	9,06
<b>Tensão de circuito aberto (Voc)</b>	Volts	30,5	30,7	30,9	31,1	31,4
<b>Corrente de curto-circuito (Isc)</b>	Ampères	9,27	9,34	9,41	9,48	9,55
<b>Tensão máxima do sistema (Vsyst)</b>	Volts	600 (UL) / 1.500 (IEC)				
<b>Díodos (By-pass)</b>	Quantidade	6				
<b>Máximo fusíveis em série</b>	Ampères	15				
<b>Eficiência (ηm)</b>	%	15,6	15,9	16,3	16,7	17,1
<b>Factor de Forma</b>	%	≥ 73				

### CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

<b>Tamanho</b>	Altura	1.316 mm	51,81 polegadas
	Largura	976 mm	38,42 polegadas
	Espessura	25 mm	0,98 polegadas
<b>Peso</b>	Neto	18 kg	39,68 libras
<b>Estrato anterior</b>	Material	Vidro temperado e texturado de alta transmissividade	
	Espessura	2,5 ± 0,2 mm.	0,09 polegadas
<b>Células</b>	Tipo	Monocristalinas	
	Quantidade	6 x 8 unidades	
	Tamanho	156 x 156 mm	6 polegadas
Conexão em série	Quantidade	48 unidades	
Conexão em paralelo	Quantidade	1 unidade	
<b>Encapsulante</b>	Material	EVA	
	Espessura	0,50 ± 0,03 mm	0,020 ± 0,0012 polegadas
<b>Parte posterior</b>	Material	Vidro temperado	
	Espessura	2,5 ± 0,2 mm	0,098 ± 0,008 polegadas
<b>Caixa de junção</b>	Material	PVC	
	Proteção	IP67	
	Isolamento	Contra a humidade e intempéries	
<b>Cabos</b>	Tipo	Simétrico de comprimento	
	Comprimento	900 mm	35,4 polegadas
	Seção de cobre	4 mm	0,006 polegadas <sup>2</sup>
	Características	Baixa resistência de contato Perdas mínimas para a queda de tensão	
<b>Conectores</b>	Material	PVC	
	Tipo	MC4	
	Proteção	IP67	

**Anexo 6: Características do vidro COOL-LITE SKN 144 II  
(Saint-Gobain)**

# SGG COOL-LITE® SKN 144 II

Vidro que combina segurança contra acidentes oferecendo ótimos níveis de controlo solar e isolamento térmico.

## Aplicações

SGG COOL-LITE SKN 144 II é um vidro de controlo solar e isolamento térmico, concebido para ser temperado, apto para edifícios residenciais e de serviços.

Graças às propriedades únicas desta capa, é especialmente adequado para aplicações que requeiram vidro temperado ou termoendurecido.

## Descrição

SGG COOL-LITE SKN 144 II é um vidro de controlo solar com uma capa de elevado rendimento. A capa deposita-se sobre um substrato de vidro de grande qualidade SGG PLANICLEAR por pulverização catódica sob vácuo.

Este vidro forma parte da família de produtos denominados "a temperar", com grandes prestações de controlo solar e isolamento térmico, criados pela Saint-Gobain Glass.

Para garantir as suas ótimas prestações de controlo solar e isolamento térmico, SGG COOL-LITE SKN 144 II deve ser temperado ou termoendurecido antes de ser montado em vidro duplo SGG CLIMALIT® PLUS. A capa deve-se posicionar sempre em face 2 e para o interior da câmara.

## Benefícios

- SGG COOL-LITE SKN 144 II foi projetado para oferecer excecionais prestações de controlo solar e isolamento térmico:
  - Reduzidíssimo fator solar  $g = 0,23$ .
  - Um ótimo valor  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (6mm (capa) - 16mm Argón 90% -6mm)
  - Aspeto neutro tanto em transmissão como em reflexão exterior.
  - Elevados níveis de transmissão luminosa, que permite desfrutar da luz natural.
- SGG COOL-LITE SKN 144 II proporciona a poupança energética e a proteção do meio ambiente ao reduzir o consumo do ar condicionado e aquecimento. Este vidro é perfeito para grandes áreas envidraçadas em que se requer um controlo solar excepcional. Nas estações mais frias reduzem-se consideravelmente as perdas excessivas de energia (centros comerciais, edifícios de serviços, hospitais, colégios, etc.)
- SGG COOL-LITE SKN 144 II deve ser temperado ou termoendurecido quando aplicado em vidro laminado SGG STADIP devido à elevada absorção da capa. Assim se garante os requisitos de segurança (ferimentos por corte e rotura por choque térmico).
- SGG COOL-LITE SKN 144 II está disponível em chapa PLF, 6000mm x 3210mm, espessuras 6, 8 e 10mm (12mm sob pedido). Também está disponível em DLF sob pedido.

## Prestações

Vidro Duplo SGG CLIMALIT® PLUS com SGG COOL-LITE SKN 144 II. Cálculos realizados com o software Calumen

Exterior	SGG COOL-LITE SKN 144 II	
Interior	SGG PLANICLEAR	
Composição	(mm)	6 (16) 6
Factores Luminosos		
TL	%	41
RLe	%	20
RLi	%	15
UV TUV	%	17
Factores Energéticos		
Te	%	20
REe	%	31
AE1	%	48
Factor Solar		0,23
Coef. de Sombra		0,26
Coeficiente U (W/m <sup>2</sup> K)		
Argon 90%		1,1

SGG COOL-LITE SKN 144 II cumpre com todos requisitos Classe C das normas europeias EN 1096 -1 e -2.



Saint-Gobain Glass Portugal, Vidro Plano S.A.  
EN 10 – apartado 1713  
2691-652 Santa Iria de Azóia  
Tel: +351 219 534 600  
www.saint-gobain-glass.com  
Mkt.sgpp@saint-gobain.com  
www.climalit.pt

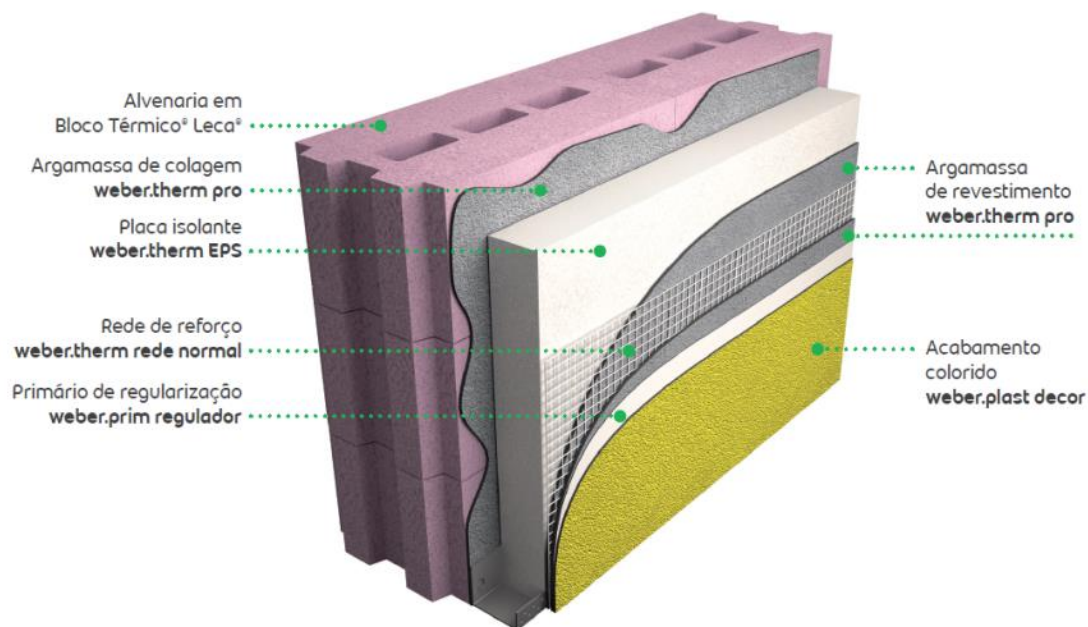


Distribuidor

SGG CLIMALIT® PLUS, SGG PLANITHERM®, SGG COOL-LITE®, SGG STADIP®, SGG STADIP PROTECT®, SGG STADIP SILENCE®, SGG BIOCLEAR® são marcas registadas pela Saint-Gobain.

**Anexo 7: Características do Sistema weber.therm classic  
(Saint-Gobain)**

## 2. COMPONENTES PRINCIPAIS DO SISTEMA **weber.therm classic**



## 3. CONDIÇÕES GERAIS PARA APLICAÇÃO DO SISTEMA **weber.therm classic**

- Não aplicar o sistema em fachadas com inclinação inferior a 45°.
- Não aplicar as argamassas com temperaturas atmosféricas inferiores a 5°C e superiores a 30°C.
- Evitar a aplicação em situação de vento forte.
- Não aplicar as argamassas na eventualidade de poderem apanhar chuva enquanto não estiverem secas.
- Evitar a aplicação dos materiais sob a incidência direta dos raios solares.
- Não iniciar a aplicação do sistema sobre suportes em que não tenha decorrido pelo menos um mês sobre a sua execução (alvenarias, betão, reboco), para que se encontrem em condições de estabilidade e secagem adequadas.
- As placas isolantes são fixadas ao respetivo suporte por colagem com a(s) argamassa(s) especificadas e fixação mecânica adicional com buchas específicas.
- Os limites inferiores do sistema, quando expostos ao exterior, deverão ser realizados utilizando perfis adequados em alumínio ou PVC que promovam a proteção mecânica relativamente a agressões externas (ver 5.2).
- As esquinas do sistema deverão ser reforçadas com perfis adequados em PVC perfurado incorporando rede de fibra de vidro com proteção antialcalina (ver 5.5).
- Prever a utilização de elementos arquitetónicos (rufos, beirados, peitoris, etc.) de desenho adequado, que rematem e protejam superiormente o sistema contra infiltrações de água da chuva e que dificultem a sua ocorrência direta sobre as superfícies da fachada, de modo a diminuir a acumulação indesejada de detritos e sujidades.
- Respeitar as juntas estruturais existentes na fachada, interrompendo o sistema, e proceder ao seu remate utilizando o perfil de remate adequado (ver 5.5).
- Realizar os remates do sistema contra elementos rígidos (peitoris, caixilharias, paredes, elementos estruturais, etc.) através da introdução de juntas no encontro com as placas isolantes, preenchidas com material deformável e impermeável do tipo mastique.

## 6. CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES

### 6.1. Placas de isolamento

<b>weber.therm EPS (poliestireno expandido moldado)</b>				
<b>Marcação CE (EPS - EN 13163 - T1-L1-W1-S1-P3- DS(N)5-BS150-CS(10)100)</b>				
Produto classificado de acordo com a norma EN 13163, disponível em placas planas de 1,0 x 0,5 m, sem encaixe, com espessuras de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 40 mm (15 unidades por embalagem)</li> <li>• 50 mm (12 unidades por embalagem)</li> <li>• 60 mm (10 unidades por embalagem)</li> <li>• 70 mm ( 8 unidades por embalagem)</li> <li>• 80 mm ( 7 unidades por embalagem)</li> </ul> O fornecimento de espessuras diferentes deverá ser analisado a pedido.				
Propriedades	Norma	Unidade	EPS 100	EPS 150
Massa volúmica ( $\pm 10\%$ )		kg/m <sup>3</sup>	20	25
Condutibilidade Térmica	EN 12667	W/m°C	0,036	0,034
Resistência à compressão (def. 10%)	EN 826	kPa	100	150
Resistência à flexão	EN 12089	kPa	150	200
Absorção de água por imersão	EN 12087	% Vol.	< 2	< 2
Resistência à difusão do vapor de água	EN 12086	$\mu$	30-70	30-70
Classe de reação ao fogo	EN 13501-1		E	E
Coefficiente de dilatação térmica linear		°C <sup>-1</sup>	5-7x10 <sup>-5</sup>	5-7x10 <sup>-5</sup>

### 6.2. Redes de reforço

<b>REDES DE FIBRA DE VIDRO</b>			
Redes constituídas por fios de fibra de vidro com dupla torção, sujeitos a uma indução de resina que as protege do ataque dos alcalis dos materiais cimentícios. Conferem resistência e estabilidade ao revestimento, evitando o aparecimento de fissuras decorrentes das variações de temperatura ou do movimento das placas de material de isolamento.			
A rede contribui ainda para melhorar a resistência ao choque do revestimento em que está incorporada.			
Características	weber.therm rede normal 50 m2	weber.therm rede normal 55 m2	weber.therm rede reforçada
Dimensões dos rolos	1 x 50 m	1,1 x 50 m	1 x 25 m
Dimensões da abertura de malha (mm)	3,7 x 4,3 ( $\pm 10\%$ )	3,5 x 3,8	6 x 6
Peso total do tecido (g/m <sup>2</sup> )	160 ( $\pm 5\%$ )	160 (mínimo)	330 (mínimo)
Resistência à tração standard (teia/trama; N/5 cm)	1830/1510 ( $\pm 6\%$ )	2200/2200	4000/4500
Alongamento à rotura (%)	2,9	3,8	4,5
Alongamento à rotura após envelhecimento (%)	1,8	3,5	3,5
Espessura (mm)	0,49	0,52	0,9
Resistência química	Boa aos alcalis	Boa aos alcalis	Boa aos alcalis

# Apêndices

## **Apêndice 1: Cálculo dos coeficientes U das envolventes**

Parede Exterior Geral						
Elemento de Camada	e (m)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	mti (kg/m <sup>3</sup> )	mt (kg/m <sup>2</sup> )
Resistência Interior	-	-	0,130	<b>1,15</b>	-	174
Reboco Tradicional	0,010	1,80	0,006		2000	
Alvenaria de Tijolo Cerâmico	0,110	-	0,270		1400	
Caixa de Ar	0,010	-	0,150		1	
Alvenaria de Tijolo Cerâmico	0,110	-	0,270		1400	
Reboco Tradicional	0,010	1,80	0,006		2000	
Resistência Exterior	-	-	0,040		-	

Espessura Total **0,250** m

Parede Interior						
Elemento de Camada	e (m)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	mti (kg/m <sup>3</sup> )	mt (kg/m <sup>2</sup> )
Resistência Interior	-	-	0,130	<b>1,44</b>	-	286
Reboco Tradicional	0,005	1,80	0,003		2000	
Alvenaria de Tijolo Cerâmico	0,190	-	0,520		1400	
Reboco Tradicional	0,005	1,80	0,003		2000	
Resistência Interior	-	-	0,040		-	

Espessura Total **0,200** m

Cobertura Exterior						
Elemento de Camada	e (m)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	mti (kg/m <sup>3</sup> )	mt (kg/m <sup>2</sup> )
Resistência Interior	-	-	0,100	<b>1,73</b>	-	237
Estuque Tradicional	0,010	0,57	0,018		1150	
Laje em Betão Armado	0,150	2,00	0,075		1500	
Caixa de Ar	0,010	-	0,150		1	
Tela de Impermeabilização em Betume	0,005	0,23	0,022		1050	
Tela de Feltro Geotêxtil Sintético	0,005	0,05	0,100		120	
Laje em Betão Armado	0,150	2,00	0,075		1500	
Resistência Exterior	-	-	0,040		-	

Espessura Total **0,330** m

Cobertura Interior						
Elemento de Camada	e (m)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	mti (kg/m <sup>3</sup> )	mt (kg/m <sup>2</sup> )
Resistência Interior	-	-	0,100	<b>1,70</b>	-	237
Estuque Tradicional	0,010	0,57	0,018		1150	
Laje em Betão Armado	0,150	2,00	0,075		1500	
Caixa de Ar	0,015	-	0,160		1	
Tela de Impermeabilização em Betume	0,005	0,23	0,022		1050	
Tela de Feltro Geotêxtil Sintético	0,005	0,05	0,100		120	
Laje em Betão Armado	0,150	2,00	0,075		1500	
Resistência Exterior	-	-	0,040		-	

Espessura Total **0,335** m

Parede Exterior Geral (com aplicação do sistema ETICS)						
Elemento de Camada	e (m)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	mti (kg/m <sup>3</sup> )	mt (kg/m <sup>2</sup> )
Resistência Interior	-	-	0,130	<b>0,50</b>	-	349
Reboco Tradicional	0,010	1,80	0,006		2000	
Alvenaria de Tijolo Cerâmico	0,110	-	0,270		1400	
Caixa de Ar	0,010	-	0,150		1	
Alvenaria de Tijolo Cerâmico	0,110	-	0,270		1400	
Reboco Tradicional	0,010	1,80	0,006		2000	
EPS	0,04	0,036	1,111		20	
Resistência Exterior	-	-	0,040		-	

Espessura Total **0,290** m

## **Apêndice 2: Determinação da potência horária produzida pela tecnologia fotovoltaica do edifício da EDP**

PV EDP - janeiro						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2,01	19,7	0	66	0
1	0			0		
2	0			0		
3	0			0		
4	0			0		
5	0			0		
6	0			0		
7	0			0		
8	19			7,5		
9	163			64,4		
10	279			110,3		
11	338			133,6		
12	385			152,2		
13	379			149,8		
14	364			143,9		
15	302			119,4		
16	214			84,6		
17	52			20,6		
18	0			0		
19	0			0		
20	0			0		
21	0			0		
22	0			0		
23	0			0		

PV EDP - julho						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2,01	19,7	0	66	0
1	0			0		
2	0			0		
3	0			0		
4	0			0		
5	0			0		
6	0			0		
7	55			21,7		
8	189			74,7		
9	339			134,0		
10	491			194,1		
11	623			246,3		
12	701			277,2		
13	720			284,7		
14	683			270,0		
15	575			227,3		
16	421			166,4		
17	243			96,1		
18	77			30,4		
19	0			0		
20	0			0		
21	0			0		
22	0			0		
23	0			0		

BIPV EDP (fachadas) - janeiro						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2	18	0	102	0
1	0			0		
2	0			0		
3	0			0		
4	0			0		
5	0			0		
6	0			0,0		
7	0			0,0		
8	7			2,2		
9	83			26,2		
10	129			40,7		
11	161			50,8		
12	178			56,1		
13	176			55,5		
14	164			51,7		
15	137			43,2		
16	97			30,6		
17	26			8,2		
18	0			0,0		
19	0			0,0		
20	0			0		
21	0			0		
22	0			0		
23	0			0		

BIPV EDP (fachadas) - julho						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2	18	0	102	0
1	0			0		
2	0			0		
3	0			0		
4	0			0		
5	0			0		
6	34			10,7		
7	78			24,6		
8	126			39,7		
9	161			50,8		
10	182			57,4		
11	191			60,2		
12	196			61,8		
13	193			60,9		
14	178			56,1		
15	167			52,7		
16	144			45,4		
17	115			36,3		
18	76			24,0		
19	40			12,6		
20	0			0		
21	0			0		
22	0			0		
23	0			0		

### **Apêndice 3: Determinação da potência horária produzida pela tecnologia fotovoltaica do edifício Atrium Saldanha**

PV Saldanha - janeiro						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2,01	19,7	0	190	0
1	0			0		0
2	0			0		0
3	0			0		0
4	0			0		0
5	0			0		0
6	0			0		0
7	0			0,0		0,0
8	0			0,0		0,0
9	19			7,5		1,4
10	163			64,4		12,2
11	279			110,3		21,0
12	338			133,6		25,4
13	385			152,2		<b>28,9</b>
14	379			149,8		28,5
15	364			143,9		27,3
16	302			119,4		22,7
17	214			84,6		16,1
18	65			25,7		4,9
19	0			0		0
20	0			0		0
21	0			0		0
22	0			0		0
23	0			0		0

PV Saldanha - julho						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2,01	19,7	0	190	0
1	0			0		0
2	0			0		0
3	0			0		0
4	0			0		0
5	0			0		0
6	0			0		0
7	55			21,7		4,1
8	189			74,7		14,2
9	339			134,0		25,5
10	491			194,1		36,9
11	623			246,3		46,8
12	701			277,2		52,7
13	720			284,7		<b>54,1</b>
14	683			270,0		51,3
15	576			227,7		43,3
16	421			166,4		31,6
17	244			96,5		18,3
18	77			30,4		5,8
19	0			0		0
20	0			0		0
21	0			0		0
22	0			0		0
23	0			0		0

BIPV Saldanha (fachadas) - janeiro						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	1,75	18	0	2262	0
1	0			0		0
2	0			0		0
3	0			0		0
4	0			0		0
5	0			0		0
6	0			0,0		0
7	0			0,0		0,0
8	0			0,0		0,0
9	7			2,2		5,0
10	83			26,2		59,2
11	129			40,7		92,0
12	161			50,8		114,9
13	178			56,1		<b>127,0</b>
14	176			55,5		125,6
15	164			51,7		117,0
16	137			43,2		97,7
17	97			30,6		69,2
18	28			8,8		20,0
19	0			0,0		0
20	0			0		0
21	0			0		0
22	0			0		0
23	0			0		0

BIPV Saldanha (fachadas) - julho						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	1,75	18	0	2262	0
1	0			0		0
2	0			0		0
3	0			0		0
4	0			0		0
5	0			0		0
6	34			10,7		24
7	78			24,6		55,6
8	126			39,7		89,9
9	161			50,8		114,9
10	182			57,4		129,8
11	191			60,2		136,3
12	196			61,8		<b>139,8</b>
13	193			60,9		137,7
14	178			56,1		127,0
15	167			52,7		119,1
16	144			45,4		102,7
17	115			36,3		82,0
18	76			24,0		54,2
19	40			12,6		29
20	0			0		0
21	0			0		0
22	0			0		0
23	0			0		0

BIPV Saldanha (claraboia) - janeiro						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	1,75	18	0	0	0
1	0			0		
2	0			0		
3	0			0		
4	0			0		
5	0			0		
6	0			0		
7	0			0,0		
8	0			0,0		
9	19			6,0		
10	163			51,4		
11	279			88,0		
12	338			106,6		
13	385			121,4		
14	379			119,5		
15	364			114,8		
16	302			95,2		
17	214			67,5		
18	65			20,5		
19	0			0		
20	0			0		
21	0			0		
22	0			0		
23	0			0		

BIPV Saldanha (claraboia) - julho						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	1,75	18	0	402	0
1	0			0		
2	0			0		
3	0			0		
4	0			0		
5	0			0		
6	0			0		
7	55			17,3		
8	189			59,6		
9	339			106,9		
10	491			154,9		
11	623			196,5		
12	701			221,1		
13	720			227,1		
14	683			215,4		
15	576			181,7		
16	421			132,8		
17	244			77,0		
18	77			24,3		
19	0			0		
20	0			0		
21	0			0		
22	0			0		
23	0			0		

## **Apêndice 4: Determinação da potência horária produzida pela tecnologia fotovoltaica do edifício Duque D'Ávila**

PV Duque D'Ávila - janeiro						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2,01	19,7	0	142	0
1	0			0		0
2	0			0		0
3	0			0		0
4	0			0		0
5	0			0		0
6	0			0		0
7	0			0		0
8	19			7,5		1,1
9	163			64,4		9,2
10	279			110,3		15,7
11	338			133,6		19,0
12	385			152,2		<b>21,6</b>
13	379			149,8		21,3
14	364			143,9		20,4
15	302			119,4		17,0
16	214			84,6		12,0
17	64			25,3		3,6
18	0			0		0
19	0			0		0
20	0			0		0
21	0			0		0
22	0			0		0
23	0			0		0

PV Duque D'Ávila - julho						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2,01	19,7	0	142	0
1	0			0		0
2	0			0		0
3	0			0		0
4	0			0		0
5	0			0		0
6	0			0		0
7	55			21,7		3,1
8	189			74,7		10,6
9	339			134,0		19,0
10	491			194,1		27,6
11	623			246,3		35,0
12	701			277,2		39,4
13	720			284,7		<b>40,4</b>
14	683			270,0		38,3
15	575			227,3		32,3
16	421			166,4		23,6
17	244			96,5		13,7
18	77			30,4		4,3
19	0			0		0
20	0			0		0
21	0			0		0
22	0			0		0
23	0			0		0

BIPV Duque D'Ávila (fachadas) - janeiro						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2	18	0	680	0
1	0			0		
2	0			0		
3	0			0		
4	0			0		
5	0			0		
6	0			0,0		
7	0			0,0		
8	7			2,2		
9	83			26,2		
10	129			40,7		
11	161			50,8		
12	178			56,1		
13	176			55,5		
14	164			51,7		
15	137			43,2		
16	97			30,6		
17	28			8,8		
18	0			0,0		
19	0			0,0		
20	0			0		
21	0			0		
22	0			0		
23	0			0		

BIPV Duque D'Ávila (fachadas) - julho						
Horas	Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)	Potência (W)	Nº de painéis	Potência total (kW)
0	0	2	18	0	680	0
1	0			0		
2	0			0		
3	0			0		
4	0			0		
5	0			0		
6	34			10,7		
7	78			24,6		
8	126			39,7		
9	161			50,8		
10	182			57,4		
11	191			60,2		
12	196			61,8		
13	193			60,9		
14	178			56,1		
15	167			52,7		
16	144			45,4		
17	115			36,3		
18	76			24,0		
19	40			12,6		
20	0			0		
21	0			0		
22	0			0		
23	0			0		

## **Apêndice 5: Ciclo diário de energia elétrica para os meses de janeiro e julho**

		Janeiro					
Horas		6h00 – 7h00	7h00 – 9h30	9h30 – 12h00	12h00 – 18h30	18h30 – 20h00	
Período		Vazio	Cheias	Ponta	Cheias	Ponta	
€/dia		0,1067	0,1321	0,1433	0,1321	0,1433	Total (€)
Situação Inicial	kWh	139,33	522,93	409,51	864,52	207,41	-
	Custo	14,87	69,08	58,68	114,20	29,72	286,55
1	kWh	139,33	518,75	380,62	795,24	207,41	-
	Custo	14,87	68,53	54,54	105,05	29,72	272,71
2	kWh	102,329	423,63	324,21	672,27	156,36	-
	Custo	10,92	55,96	46,46	88,81	22,41	224,55
3	kWh	97,63	409,58	334,26	752,77	172,76	-
	Custo	10,42	54,11	47,90	99,44	24,76	236,62
4	kWh	66,53	286,70	149,47	534,34	132,71	-
	Custo	7,10	37,87	21,42	70,59	19,02	155,99

		Julho				
Horas		6h00 – 7h00	7h00 – 9h15	9h15 – 12h15	12h15 – 20h	
Período		Vazio	Cheias	Ponta	Cheias	
€/dia		0,1032	0,1244	0,1296	0,1244	Total
Situação Inicial	kWh	50,33	558,10	935,03	2784,35	-
	Custo	5,19	69,43	121,18	346,37	542,17
1	kWh	49,23	541,66	877,29	2665,58	-
	Custo	5,08	67,38	113,70	331,60	517,76
2	kWh	50,33	434,32	752,71	2247,75	-
	Custo	5,19	54,03	97,55	279,62	436,39
3	kWh	50,33	577,45	925,61	2631,93	-
	Custo	5,19	71,83	119,96	327,41	524,40
4	kWh	49,23	424,76	617,69	2048,78	-
	Custo	5,08	52,02	80,05	254,87	392,84