



Elaboração de um Plano de Descarbonização de um Edifício de Serviços

ROBERTO CARLOS SOARES RIBEIRO

julho de 2021

ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE DESCARBONIZAÇÃO DE UM EDIFÍCIO DE SERVIÇOS

Roberto Carlos Soares Ribeiro
1180378

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE DESCARBONIZAÇÃO DE UM EDIFÍCIO DE SERVIÇOS

Roberto Carlos Soares Ribeiro
1180378

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

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Orientador

Especialista, Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Doutoramento, José Maria de Paula Pinto Pereira da Cunha

Técnico Superior Principal, Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, por ter proporcionado as melhores condições de estudo e por ter contribuído para o enriquecimento da minha aprendizagem.

À Engenharia Isabel Sarmento pela orientação, incentivo e acompanhamento desde o início da dissertação e por se demonstrar sempre disponível para esclarecer as dúvidas surgidas no seu decorrer, fornecendo sugestões de modo a enriquecê-la.

A toda a Unidade de Energia do Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial pelo empenho, determinação e pelo conhecimento empregue na dissertação. O meu muito obrigado a todos.

A toda a minha família pelo apoio incondicional porque sem eles nada disto seria possível.

À minha namorada pela dedicação, perseverança, carinho e paciência demonstrada ao longo desta caminhada.

Obrigado a todos.

PALAVRAS CHAVE

Descarbonização, Neutralidade Carbónica, Emissão de Dióxido de Carbono, NZEB, Alterações Climáticas, Auditoria Energética em Edifícios, Eficiência Energética

RESUMO

As alterações climáticas são a maior ameaça do planeta nos últimos anos, sendo o seu principal motor os gases de efeito de estufa causados maioritariamente pela emissão de dióxido de carbono para a atmosfera. Com vista na mudança de paradigma relativamente ao futuro sustentável do planeta, tem-se promovido a descarbonização de todos os setores da economia, com grande enfoque no parque edificado uma vez que representa 40% da energia final consumida na União Europeia, sendo responsável por cerca de 36% das emissões carbónicas.

O presente estudo teve por base a elaboração de um plano que visa a descarbonização de um edifício de serviços. Tendo em vista o objetivo, foi realizada uma análise do seu funcionamento normal, com posterior identificação de possíveis alterações que visam a redução das emissões de dióxido de carbono. Para tal, foi realizado um levantamento de forma a recolher o máximo de informação sobre o edifício em estudo, como por exemplo, a caracterização da envolvente, identificação dos equipamentos elétricos e sistema de iluminação instalados, caracterização dos equipamentos de climatização, perfis de utilização, entre outros. Realizaram-se ainda medições elétricas a diversos quadros elétricos do edifício, repartindo-se os consumos pelos diferentes pontos de medição.

Após o levantamento dos dados, estes foram organizados e utilizados para obtenção do modelo de simulação energética do edifício, com recurso ao *software EnergyPlus*. Depois do tratamento dos dados obtidos da simulação, identificaram-se e estudaram-se medidas de melhoria, com foco na redução do consumo elétrico por ser o único vetor energético utilizado. Por fim, realizou-se ainda, um estudo sobre a instalação de um campo fotovoltaico para autoconsumo.

Assim, as medidas preconizadas passam pela substituição da iluminação ineficiente, substituição de equipamentos elétricos com elevado consumo para equipamentos de eficiência mais elevada, substituição da caixilharia dos envidraçados, aplicação de isolamento térmico na cobertura, substituição dos equipamentos de climatização e a instalação de um campo fotovoltaico. As medidas identificadas têm diferentes impactos no que concerne à redução das emissões carbónicas resultando, na globalidade das mesmas, na neutralidade carbónica do edifício.

KEYWORDS

Decarbonisation, Carbon Neutrality, Carbon Dioxide Emission, NZEB, Climate Change, Energy Audit of Buildings, Energy Efficiency

ABSTRACT

Over the last few years, climate change has been the greatest threat to the planet and its main driver are greenhouse gases, which in turn are caused primarily by carbon dioxide emissions into the atmosphere. With the intention of shifting the paradigm of sustainable future for the planet, the decarbonisation of all economic sectors has been promoted, with great focus on the building sector since it represents 40% of the final energy consumed in the European Union and is responsible for around 36% of carbon emissions.

This study consisted of the elaboration of a plan that aims at the decarbonisation of a services building. Having that objective in mind, an analysis of its normal operation was carried out, with a subsequent identification of possible changes to reduce the carbon dioxide emissions. For such, a survey was carried out in order to collect as much information about the aforementioned building as possible, such as, for example, the characterization of environment, the identification of the electrical equipment and lighting system installed, the characterization of the air conditioning equipment, the usage profiles, among others. Electrical measurements were also performed to several electrical panels in the building, dividing the consumption by the different measuring points.

After collecting all the data, it was organised and used to obtain the energy simulation model of the building, which was done using EnergyPlus. Following the processing of the data obtained from the simulation, improvement measures were identified and studied with a focus on the reduction of electricity consumption as it is the only energy vector used. Lastly, a further study on the installation of a photovoltaic field for personal use was also carried out.

Thus, the recommended measures include the replacement of inefficient lighting, the replacement of electrical equipment with high power consumption for equipment with higher efficiency, the replacement of the window frames, the use of thermal insulation on the roof, the replacement of air conditioning equipment and the installation of a photovoltaic field. The measures identified in this study have different impacts on the reduction of carbon emissions, resulting on the whole, in the carbon neutrality of the building.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
CCE	Comunidade de cidadãos para a energia
CER	Comunidade de energia renovável
COP	Coeficiente de Desempenho
CO ₂	Dióxido de carbono
COP21	21ª Conferência das partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
EER	Rácio de Eficiência Energética
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GEE	Gases de efeito de estufa
INEGI	Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NZEBs	<i>Nearly Zero Energy Buildings</i>
PNEC2030	Plano Nacional Energia e Clima 2030
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
RNC2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050
UE	União Europeia
VRF	<i>Variable refrigerant flow</i>

Lista de Unidades

%	Percentagem
°C	Graus celsius
°	Grau (geometria)
kWh	Quilowatt-hora
kW	Quilowatt
m	Metros

mm	Milímetros
$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$	Resistência térmica
ton	Toneladas
$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Condutibilidade térmica
W	Potência
$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	Coefficiente de transmissão térmica

Lista de Símbolos

e	Espessura de um material
€	Símbolo da moeda usada para o Euro
λ	Condutibilidade térmica de um material
$g_{L,vi}$	Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão
g_T	Fator solar do vão com os dispositivos solares móveis 100% ativados
R_{se}	Resistência térmica superficial exterior
R_{si}	Resistência térmica superficial interior
g_{Tvc}	Valores correntes do fator solar de vão envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar
ton	Símbolo de toneladas
U	Coefficiente de transmissão térmica

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA (OUR WORLD IN DATA, N.D.).	27
FIGURA 2 – PREVISÕES PARA O AQUECIMENTO GLOBAL (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2018).	36
FIGURA 3 – ESTRATIFICAÇÃO DOS GEE (EUROPEAN PARLIAMENT, 2018).	37
FIGURA 4 – PERSPETIVA PARA AS EMISSÕES DE CO ₂ (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2018).	37
FIGURA 5 – EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES POR SETOR (GOVERNO PORTUGUÊS - AMBIENTE E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA, 2019).	39
FIGURA 6 – EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA E INTENSIDADE CARBÓNICA NA PRODUÇÃO (GOVERNO PORTUGUÊS - AMBIENTE E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA, 2019).	40
FIGURA 7 – EXEMPLO DE UMA COMUNIDADE ENERGÉTICA (GJORGIEVSK ET AL., 2021).	42
FIGURA 8 – EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA FINAL E DA INTENSIDADE ENERGÉTICA NO SETOR DOS TRANSPORTES (GOVERNO PORTUGUÊS - AMBIENTE E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA, 2019).	44
FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DO SETOR DA INDÚSTRIA (GOVERNO PORTUGUÊS - AMBIENTE E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA, 2019).	45
FIGURA 10 – EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA FINAL E DA INTENSIDADE ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA (GOVERNO PORTUGUÊS - AMBIENTE E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA, 2019).	45
FIGURA 11 – EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DOS SETORES RESIDENCIAL E SERVIÇO E A PERCENTAGEM DE INCORPORAÇÃO DE RENOVÁVEIS NO AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO (GOVERNO PORTUGUÊS - AMBIENTE E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA, 2019).	46
FIGURA 12 – EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA FINAL E DA INTENSIDADE ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS (GOVERNO PORTUGUÊS - AMBIENTE E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA, 2019).	47
FIGURA 13 – LINHA TEMPORAL DAS DIRETIVAS EUROPEIAS PARA EDIFÍCIOS NZEBs (MONZÓN-CHAVARRÍAS ET AL., 2020).	49
FIGURA 14 – EXPLICAÇÃO DE EDIFÍCIOS NZEBs.	50
FIGURA 15 – EXEMPLO DA NOVA ETIQUETA ENERGÉTICA (ADENE, N.D.-A).	52
FIGURA 16 – IMAGENS DO <i>ENERGYPLUS</i> (CRAWLEY ET AL., 2001).	54
FIGURA 17 – MENU DO <i>POLYSUN</i> .	55
FIGURA 18 – TEMPERATURA MÉDIA MENSAL, MÍNIMOS E MÁXIMOS (DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, N.D.-C).	60
FIGURA 19 – DISTRIBUIÇÃO DAS DIFERENTES ÁREAS POR TIPO.	61
FIGURA 20 – COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA U [W/(M ² .°C)] (SANTOS & RODRIGUES, N.D.).	63
FIGURA 21 – EXEMPLO DE UMA PAREDE SIMPLES (SANTOS & MATIAS, 2006).	63
FIGURA 22 – PAREDE SIMPLES COM REVESTIMENTOS ADERENTES EM AMBAS AS FACES (SANTOS & MATIAS, 2006).	64
FIGURA 23 – CONDUTIBILIDADES DE ALGUNS ISOLAMENTOS TÉRMICOS (SANTOS & MATIAS, 2006).	64
FIGURA 24 – TABELA DE COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA (ADENE, N.D.-B).	66
FIGURA 25 – EXEMPLO DE VÃO ENVIDRAÇADO DO EDIFÍCIO.	67

FIGURA 26 – COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DE VÃOS ENVIDRAÇADOS VERTICAIS COM CAIXILHARIA DE MADEIRA (SANTOS & MATIAS, 2006).	68
FIGURA 27 – FATOR SOLAR DO VIDRO PARA UMA INCIDÊNCIA SOLAR NORMAL AO VÃO, $G_{L,VI}$ (O. DO T. E E.-D.-G. DE E. E. G. MINISTÉRIO DO AMBIENTE, 2013).	69
FIGURA 28 – VALORES CORRENTES DO FATOR SOLAR DE VÃO ENVIDRAÇADOS COM VIDRO CORRENTE E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR, G_{TVC} (O. DO T. E E.-D.-G. DE E. E. G. MINISTÉRIO DO AMBIENTE, 2013).	70
FIGURA 29 – FORMULAS PARA DETERMINAR O FATOR SOLAR GLOBAL (O. DO T. E E.-D.-G. DE E. E. G. MINISTÉRIO DO AMBIENTE, 2013).	70
FIGURA 30 – ASPETO DA COBERTURA DO EDIFÍCIO.	73
FIGURA 31 – ENERGIA CONSUMIDA PELO EDIFÍCIO.	76
FIGURA 32 – ENERGIA CONSUMIDA NA CAVE DA PARTE ANTIGA.	77
FIGURA 33 – ENERGIA CONSUMIDA NO RÉS DO CHÃO DA PARTE ANTIGA.	77
FIGURA 34 – ENERGIA CONSUMIDA NO PRIMEIRO ANDAR DA PARTE ANTIGA.	77
FIGURA 35 – ENERGIA CONSUMIDA NA PARTE NOVA DO EDIFÍCIO.	78
FIGURA 36 – ENERGIA CONSUMIDA ACUMULADA NO EDIFÍCIO.	78
FIGURA 37 – CONSUMO DOS DIFERENTES PISOS EM PERCENTAGEM.	79
FIGURA 38 – TEMPERATURA NO INTERIOR DA SALA DE REUNIÕES.	80
FIGURA 39 – INTERFACE PRINCIPAL DO <i>SKETCHUP</i> .	81
FIGURA 40 – <i>PRINT DO SOFTWARE</i> DEMONSTRANDO A FUNÇÃO QUE AUXILIA A CRIAÇÃO DOS ESPAÇOS.	82
FIGURA 41 – MODELO GEOMÉTRICO DO EDIFÍCIO.	82
FIGURA 42 – REPRESENTAÇÃO DE UMA LIMITAÇÃO DE <i>SOFTWARE</i> .	83
FIGURA 43 – DELIMITAÇÃO DA ENVOLVENTE TÉRMICA.	83
FIGURA 44 – INTERFACE DO <i>ENERGYPLUS</i> .	84
FIGURA 45 – DEFINIÇÃO DOS CALENDÁRIOS DE UTILIZAÇÃO.	85
FIGURA 46 – ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.	85
FIGURA 47 – SUPERFÍCIES E ZONAS TÉRMICAS.	86
FIGURA 48 – GANHOS INTERNOS DEVIDO OCUPAÇÃO, ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS.	86
FIGURA 49 – <i>TEMPLATES</i> DOS DIFERENTES SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO.	87
FIGURA 50 – DEFINIÇÃO DOS TERMOSTATOS.	87
FIGURA 51 – INTRODUÇÃO DAS UNIDADES <i>SPLIT</i> .	88
FIGURA 52 – IMAGEM EXPLICATIVA SOBRE A UNIDADE INTERIOR DE UM SISTEMA VRF.	89
FIGURA 53 – IMAGEM EXPLICATIVA SOBRE A UNIDADE EXTERIOR DE UM SISTEMA VRF.	89
FIGURA 54 – AJUSTE NO NÓ DE CADA ESPAÇO RELATIVAMENTE AOS EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO.	90
FIGURA 55 – CONSUMO ELÉTRICO DOS DIFERENTES PISOS EM PERCENTAGEM.	92
FIGURA 56 – DISTRIBUIÇÃO ANUAL DO CONSUMO ELÉTRICO.	92
FIGURA 57 – DISTRIBUIÇÃO MENSAL DO CONSUMO ELÉTRICO.	93
FIGURA 58 – CONSUMO CAVE (PARTE ANTIGA).	94
FIGURA 59 – CONSUMO RÉS DO CHÃO (PARTE ANTIGA).	94
FIGURA 60 – CONSUMO PRIMEIRO ANDAR (PARTE ANTIGA).	94
FIGURA 61 – CONSUMO PARTE NOVA.	94

FIGURA 62 – DEFINIÇÃO DOS DIAS TÍPICOS DE INVERNO E VERÃO.	95
FIGURA 63 – DISPOSIÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES NA COBERTURA (CENÁRIO ATUAL).	102
FIGURA 64 – DISPOSIÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES NA COBERTURA (CENÁRIO DE MELHORIA).	102
FIGURA 65 – CONVENÇÃO UTILIZADA PARA O AZIMUTE.	102
FIGURA 66 – COMPARAÇÃO ENTRE ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA NO CENÁRIO ATUAL.	104
FIGURA 67 – <i>CASH-FLOW</i> ACUMULADO PARA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA NO EDIFÍCIO PARA O CENÁRIO ATUAL.	104
FIGURA 68 – COMPARAÇÃO ENTRE ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA NO CENÁRIO DE MELHORIA.	105
FIGURA 69 – <i>CASH-FLOW</i> ACUMULADO PARA A INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA NO EDIFÍCIO PARA O CENÁRIO DE MELHORIA.	106
FIGURA 70 – CONVENÇÃO UTILIZADA PARA O AZIMUTE – ANEXO.	122
FIGURA 71 – EVOLUÇÃO MENSAL DA RADIAÇÃO GLOBAL, DIRETA E DIFUSA NO LOCAL NO PLANO HORIZONTAL – ANEXO.	123
FIGURA 72 – EVOLUÇÃO MENSAL DA TEMPERATURA NO LOCAL – ANEXO.	123
FIGURA 73 – DURAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DO BRILHO SOLAR.	124

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – CER <i>VERSUS</i> CCE: SÍNTESE DE ASPETOS DIFERENCIADORES (DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, N.D.-B).	43
TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO LOCAL.	59
TABELA 3 – DESCRIÇÃO DOS ESPAÇOS DO EDIFÍCIO.	60
TABELA 4 – CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL DO EDIFÍCIO.	61
TABELA 5 – MATERIAL USADO NO PAVIMENTO TÉRREO (SANTOS & MATIAS, 2006).	64
TABELA 6 – CONSTITUINTES DA LAJE ENTRE PISO DA PARTE ANTIGA (SANTOS & MATIAS, 2006).	65
TABELA 7 – DADOS RECOLHIDOS NO LOCAL SOBRE ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA.	66
TABELA 8 – RESUMO DOS COEFICIENTES DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS.	71
TABELA 9 – COMPARAÇÃO COM OS REQUISITOS REGULAMENTARES.	71
TABELA 10 – LISTA DE EQUIPAMENTOS IDENTIFICADOS.	71
TABELA 11 – POTÊNCIA UNITÁRIA DA ILUMINAÇÃO DO EDIFÍCIO.	72
TABELA 12 – POTÊNCIA TOTAL INSTALADA.	73
TABELA 13 – DADOS TÉCNICOS DAS UNIDADES DO TIPO <i>SPLIT</i> .	73
TABELA 14 – DADOS TÉCNICOS DAS UNIDADES DO TIPO VRF.	74
TABELA 15 – RESUMO DAS MEDIÇÕES EFETUADAS.	78
TABELA 16 – VALORES MEDIDOS DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR PARA OS PERÍODOS DE OCUPAÇÃO.	80
TABELA 17 – VALOR DO ERRO EM DIFERENTES ANÁLISES PARA NOVE DIAS DE FUNCIONAMENTO.	91
TABELA 18 – FATORES DE CONVERSÃO PARA DETERMINAR AS EMISSÕES DE CO ₂ (O. DO T. E E.-D.-G. DE E. E G. MINISTÉRIO DO AMBIENTE, 2013).	97
TABELA 19 – QUADRO RESUMO DO NÚMERO DE LÂMPADAS INSTALADAS.	99
TABELA 20 – MEDIDAS SELECIONADAS PARA O PLANO DE DESCARBONIZAÇÃO DE UM EDIFÍCIO DE SERVIÇOS.	107
TABELA 21 – RESUMO DAS EMISSÕES LIBERTADAS APÓS MEDIDAS DE MELHORIA.	108
TABELA 22 – DADOS DO LOCAL DAS INSTALAÇÕES – ANEXO.	121
TABELA 23 – DADOS CLIMÁTICOS – ANEXO.	122
TABELA 24 – CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS USADOS NA SIMULAÇÃO – ANEXO.	124
TABELA 25 – CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO – ANEXO.	125
TABELA 26 – RESULTADOS ECONÓMICOS DA SIMULAÇÃO (CENÁRIO ATUAL) – ANEXO.	125
TABELA 27 – RESULTADOS ECONÓMICOS DA SIMULAÇÃO (CENÁRIO MELHORIA) – ANEXO.	125

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Contextualização	27
1.2	Objetivos	29
1.3	Metodologia	29
1.4	Estrutura do relatório.....	30
1.5	Apresentação da empresa de Acolhimento.....	30
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
2.1	Alterações climáticas.....	35
2.2	Descarbonização da Economia.....	38
2.2.1	Setor eletroprodutor	39
2.2.1.1	Fontes de energia renovável.....	40
2.2.1.2	Comunidades de energia	41
2.2.2	Setor dos transportes	43
2.2.3	Indústria e processos industriais	44
2.2.4	Edifícios – residencial e serviços.....	46
2.3	Enquadramento Legislativo.....	48
2.4	Edifícios NZEBs	50
2.5	Diretiva Europeia Eco <i>Design</i>	51
2.6	Auditoria energética em edifícios	52
2.7	Ferramentas de cálculo.....	53
2.7.1	<i>EnergyPlus</i>	53
2.7.2	<i>Polysun</i>	55

3	DESENVOLVIMENTO	59
3.1	Caracterização geral do edifício	59
3.1.1	Organização funcional	60
3.1.2	Caracterização dimensional do edifício.....	61
3.2	Caracterização térmica da envolvente.....	62
3.2.1	Envolvente opaca	62
3.2.1.1	Paredes exteriores	62
3.2.1.2	Paredes interiores.....	63
3.2.1.3	Pavimento térreo	64
3.2.1.4	Laje entre pisos	65
3.2.1.5	Cobertura	65
3.2.2	Envolvente envidraçada	66
3.2.3	Conclusões sobre a qualidade térmica da envolvente	71
3.3	Equipamentos elétricos.....	71
3.4	Iluminação.....	72
3.5	Sistemas de climatização	73
3.6	Perfis de utilização	75
3.7	Medições	75
3.7.1	Medições elétricas.....	76
3.7.2	Medições de temperatura e humidade relativa.....	79
3.8	Modelo geométrico.....	80
3.9	Modelação da simulação	84
3.10	Resultados da simulação.....	92
3.11	Cálculo de cargas térmicas.....	94
3.12	Identificação de medidas mitigadoras de emissões de CO ₂	96
3.13	Impacto da implementação das medidas mitigadoras	96
3.13.1	Qualidade da envolvente.....	97
3.13.1.1	Aplicação de isolamento térmico na cobertura.....	97
3.13.1.2	Substituição dos vãos envidraçados	98
3.13.2	Substituição da totalidade da iluminação ineficiente por tecnologia LED	99
3.13.3	Substituição de equipamentos elétricos	99
3.13.4	Substituição do sistema de climatização	100
3.13.5	Energia de fonte renovável.....	101
3.13.6	Avaliação do sumidouro carbónico	106

3.14	Resultados Finais.....	106
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	111
4.1	CONCLUSÕES.....	111
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	112
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	115
5.1	BIBLIOGRAFIA.....	115
6	ANEXOS.....	121
6.1	ANEXO1: Estudo do solar fotovoltaico.....	121
6.1.1	Caracterização do recurso solar	121
6.1.2	Dados técnicos	124
6.1.3	Análise económica.....	125
6.1.3.1	Cenário atual.....	125
6.1.3.2	Cenário melhoria	125
6.1.4	Relatórios de simulação	126

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
- 1.4 Estrutura do relatório
- 1.5 Apresentação da empresa de Acolhimento

1 INTRODUÇÃO

O projeto foi elaborado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica no Instituto Superior de Engenharia do Porto, no ramo de energia. O documento resulta da elaboração de um estágio curricular no Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI) na Unidade de Energia, com o objetivo de elaborar um plano de descarbonização de um edifício de serviços.

1.1 Contextualização

Após a revolução industrial, verificou-se um aumento da procura de energia primária, onde se revolucionaram os processos de produção a nível mundial, como demonstrado na Figura 1. Por consequência da exploração de novas fontes para obtenção de energia, houve uma maior queima de combustíveis. Os processos de queima libertam para o meio ambiente gases de efeito de estufa (GEE), nomeadamente o dióxido de carbono (CO_2), que se apresenta como ameaça para a atmosfera.

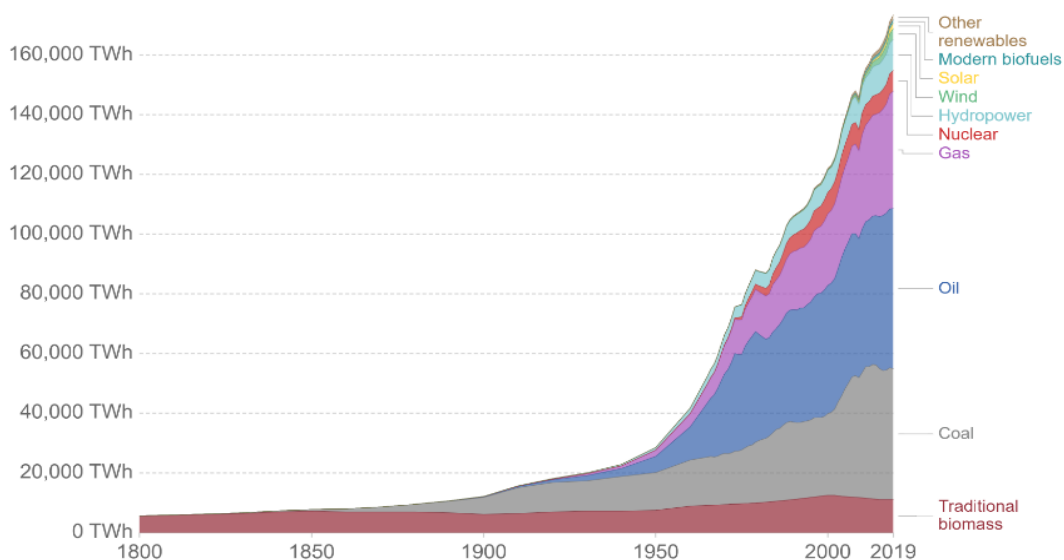


Figura 1 – Consumo de energia primária (Our World in Data, n.d.).

Na Figura 1, é possível observar que grande parte da energia final consumida no mundo é proveniente de carvão, gás e petróleo, sendo a queima daqueles prejudiciais para o ambiente. Com vista a travar o aquecimento global e o aumento das emissões, foi assinado o “Acordo de Paris”, entre vários países, onde foram traçadas metas relacionadas com a descarbonização.

O aumento do consumo de energia a nível mundial é o resultado de um leque de setores da economia, sendo o setor dos edifícios o que se apresenta como o maior consumidor, dado as atuais exigências da sociedade no que toca à melhoria da qualidade de vida. Este setor representa 40% de energia final da União Europeia (UE), já que cerca de 75% dos edifícios são ineficientes do ponto de vista energético (European Commission - Press Commission, 2017). Desta forma, é imperativo intervir neste ramo para um futuro sustentável do planeta implementando medidas que visam a melhoria da eficiência energética dos edifícios.

A UE, em conjunto com entidades públicas e privadas, tem vindo a traçar políticas que apontam para uma melhor eficiência dos edifícios, dentro das quais, a redução dos consumos energéticos e a implementação de fontes de energia renováveis. Tendo como objetivo diminuir a dependência energética europeia dos combustíveis fósseis. Naquela perspetiva, surge o imperativo de garantir que os novos edifícios apresentem necessidades nulas ou quase nulas de energia, *Nearly Zero Energy Buildings* (NZEBS), como descrito na *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), através da Diretiva 2010/31/EU (Europeu, 2010), então revogada pela Diretiva (EU) 2018/844 (Europeu, 2018). Esta última diretiva, revela que existe um empenho elevado em descarbonizar todo o parque imobiliário, uma vez que este é responsável por cerca de 36% de todas as emissões de CO₂. Saliente-se ainda, que o documento refere que 50% da energia final consumida da UE é para fins de aquecimento e arrefecimento, e que, 80% desta é destinada para edifícios, transpondo a importância da implementação de medidas para a descarbonização, não só dos edifícios novos, mas também de todo o parque construído.

Apesar da UE traçar várias metas na redução das emissões carbónicas, cabe a cada país desenvolver os seus planos de modo a descarbonizar os diferentes setores da economia. Em face disto, Portugal estabeleceu metas a curto prazo no Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC2030) e a longo prazo no Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050), tornando-se fundamentais para o objetivo final (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019; Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019).

No decorrer do ano de 2018, Lisboa foi distinguida com o galardão de Capital Verde Europeia 2020. A distinção resulta da avaliação de especialistas internacionais sobre 12 indicadores que visam avaliar a sustentabilidade da cidade, sendo anunciada pelo Comissário Europeu do Ambiente, Assuntos Marítimos e Pesca, Karmenu Vella (European Commission, 2018). Para assinalar a atribuição deste prémio, foram planeadas diversas iniciativas no âmbito da promoção da sustentabilidade ambiental.

Na sequência desta distinção e com a estratégia nacional definida no RNC2050 e no PNEC2030, uma entidade pública pretendeu tornar neutro em carbono o seu complexo (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019; Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019). Assim, o tema proposto para o desenvolvimento deste trabalho foi o da “Elaboração de um plano de descarbonização de um edifício de serviços”, no qual se pretendeu traçar medidas de forma a alcançar a sua neutralidade carbónica.

Este tema permanece em constante mudança e evolução, apresentando-se desafiante, uma vez que as alterações propostas devem ter em conta todas as preocupações ambientais, de modo a garantir um futuro sustentável para o planeta.

1.2 Objetivos

A realização deste trabalho tem como principal objetivo estudar um edifício existente a fim de elaborar um plano com medidas que o torne neutro em emissões carbónicas.

Existem ainda, um conjunto de objetivos específicos resultantes do objetivo geral:

- Estudar e avaliar o comportamento em normal funcionamento de um edifício de serviços com recurso a um *software* de simulação energética dinâmica;
- Identificar e analisar o impacto das medidas de melhoria no comportamento térmico do edifício e, conseqüentemente, na redução das emissões carbónicas;
- Quantificar a redução das emissões de CO₂, de cada alteração proposta, de modo a averiguar se o edifício, na globalidade, passaria a ser considerado neutro em carbono.

1.3 Metodologia

A metodologia abordada para este relatório procura dar resposta aos objetivos descritos no subcapítulo anterior, recorrendo à simulação energética dinâmica através do *software EnergyPlus*, acreditado pela norma ASHRAE 140-2004, da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) cujo objetivo é criar um modelo que reflita o desempenho energético do edifício e, por outro lado, o *software Polysun*, que apresenta como objetivo determinar a quantidade de energia produzida por um campo fotovoltaico.

No que toca à simulação energética, durante a fase inicial do projeto, efetuou-se um levantamento local de todos os parâmetros considerados importantes, como é o caso de dados relativos à geometria, à envolvente, iluminação, ocupação, equipamentos, sistemas de climatização e respetivos perfis de utilização. Neste levantamento, procurou-se reunir o máximo de informação sobre o edifício e o seu modo de funcionamento, a fim de se tratar os dados e, à *posteriori* serem introduzidos no *software* de simulação *EnergyPlus*. Após esta última etapa, foi possível avaliar o comportamento energético do edifício e, ainda, identificar e analisar um conjunto de alterações que visam a melhoria do mesmo.

Em complemento, com vista a reduzir a energia proveniente de combustíveis fósseis, efetuou-se um estudo de viabilidade sobre a instalação de um campo fotovoltaico, com o recurso à ferramenta *Polysun*, obtendo-se a energia elétrica produzida por esse mesmo campo, reduzindo a energia proveniente da rede.

1.4 Estrutura do relatório

O presente relatório é composto por cinco capítulos e um anexo.

No presente capítulo é apresentada a contextualização e a motivação para o desenvolvimento deste tema. Apresentam-se ainda os objetivos e a metodologia utilizada e, por fim, a apresentação da empresa de acolhimento.

No segundo capítulo é apresentada a base teórica sobre a descarbonização dos edifícios. Realiza-se um enquadramento do tema com a apresentação de alguns fenómenos das alterações climáticas, salientando-se o aquecimento global provocado pelas emissões de gases poluentes. Na secção seguinte, será abordado o tema da descarbonização. Ainda dentro deste capítulo serão apresentadas as leis, portarias e despachos considerados relevantes para o tema em questão, enquadrando um conceito que serve como linha orientadora para o desenvolvimento da temática. Serão de igual forma apresentados o conceito de diretiva europeia de *eco design* e de auditoria energética em edifícios. Por fim, são apresentadas as duas ferramentas de cálculo utilizadas para alcançar o objetivo final da dissertação.

No terceiro capítulo é apresentada a caracterização geral e térmica do edifício, conta ainda com a exposição dos equipamentos, da iluminação, dos sistemas de climatização, perfis de utilização e medições de outros parâmetros relevantes. Também é apresentada a modelação geométrica do edifício e respetiva simulação energética acoplada à identificação de medidas mitigadoras de emissões de CO₂ e os seus impactos. No capítulo quatro são apresentadas as conclusões finais de todo o trabalho realizado. Por fim, o capítulo cinco enumera as fontes bibliográficas utilizadas no decorrer do projeto.

1.5 Apresentação da empresa de Acolhimento

O presente projeto foi desenvolvido durante a realização do estágio curricular no INEGI. A instituição foi criada no Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) em 1986, inicialmente sediada na Rua dos Bragas. Atualmente, fica localizada no campus da FEUP e, desta forma, permite ser um elo entre o meio académico e o industrial. Foca-se nas atividades de investigação e desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia e, ainda, em consultoria e serviços, vocacionados para o desenvolvimento da indústria e da economia em geral. Em 2019, ultrapassou um volume de negócios de 11 milhões de euros, possuindo mais de 100 membros associados e mais de 250 colaboradores, incluindo mais de 120 doutorados.

A organização estrutura-se em várias unidades com áreas de atividade diferentes, sendo que a unidade que abraçou este projeto é o Grupo de Energia, que tem como principal objetivo a promoção da sustentabilidade e ecoeficiência no tecido industrial e de serviços, concebendo soluções à medida de cada desafio.

O Grupo de Energia do INEGI tem apoiado o desenvolvimento de soluções para promoção da descarbonização dos diversos setores da economia, com particular

enfoque nos processos produtivos e do ambiente edificado, promovendo também, a implementação de metodologias e tecnologias potenciadoras da transição para uma economia circular.

Apresenta ainda uma importante atividade de Investigação, Inovação e Transferência de Tecnologia. Paralelamente a estas, os serviços de consultoria do Grupo de Energia do INEGI (para os setores industrial e de serviços) têm como principal objetivo promover a sua sustentabilidade e ecoeficiência, através da implementação de conceitos de economia circular, da racionalização dos consumos energéticos, da integração direta de fontes de energias renováveis e da diminuição de desperdícios, valorização energética e recuperação de resíduos.

Neste contexto e no âmbito da temática do presente projeto, a oferta de serviços de consultoria avançada é a seguinte:

- Caracterização e modelação holística de sistemas energéticos:
 - Matrizes energéticas regionais, perspectivas/evolução futura;
 - Necessidades energéticas e procura de energia;
 - Caracterização, tendências, modelação e recomendações de ação;
 - Suficiência energética, utilizador/consumidor como agente ativo.
- Elaboração de Diagnósticos e Auditorias Energéticas;
- Elaboração de planos de ação para a descarbonização do ambiente edificado:
 - Integração de fontes de energias renováveis;
 - Implementação de medidas de eficiência energética.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Alterações climáticas
- 2.2 Descarbonização da Economia
- 2.3 Enquadramento Legislativo
- 2.4 Edifícios NZEBs
- 2.5 Diretiva Europeia *Eco Design*
- 2.6 Auditoria energética em edifícios
- 2.7 Ferramentas de cálculo

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, pretende-se realizar uma revisão bibliográfica de forma a enquadrar os principais temas relacionados com o projeto, nomeadamente demonstrar os avanços sobre a descarbonização e, ainda, encontrar os fundamentos necessários para suportar a Tese/Dissertação.

2.1 Alterações climáticas

As alterações climáticas são uma problemática presente no quotidiano da sociedade, sendo o seu combate crucial para que se possa assegurar um futuro sustentável do planeta.

São várias as mudanças que têm vindo a ocorrer e que justificam uma preocupação crescente, como por exemplo, o aumento dos fenómenos meteorológicos extremos, intensificação de catástrofes naturais e, ainda, a subida da temperatura média terrestre, o que provoca degelo dos glaciares e, conseqüentemente, a elevação do nível das águas do mar, como descrito por (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018). De modo a travar estas alterações, é fundamental que cada setor adote estratégias que visam a sua diminuição.

O aquecimento global é inevitável, mesmo que sejam tomadas medidas drásticas, já que existem efeitos irreversíveis na atmosfera. Ainda assim, devem ser realizados todos os esforços para minimizar o aumento da temperatura média da superfície terrestre. Segundo a European Commission, (n.d.), um aumento de 2°C em relação à temperatura na era pré-industrial, é considerado como o limite acima do qual existe um risco muito elevado de consequências ambientais, à escala mundial. Perante esta situação, na 21ª Conferência das partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (COP21), realizada em Paris no ano de 2015 e com a presença de cerca de 195 países, reconheceu-se a necessidade de manter o aquecimento global abaixo dos 2°C (Parlamento Europeu e BCE, 2016).

Após a COP21, a *Intergovernmental Panel on Climate Change* foi convidada a elaborar um relatório sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Na Figura 2, observa-se a tendência da temperatura média terrestre ao longo dos anos, onde a linha laranja indica o aquecimento global antropogénico e o sombreamento da mesma cor reflete o possível intervalo, a seta tracejada e a barra horizontal laranja mostram respetivamente a estimativa central e o desvio provável de

tempo até que seja atingido 1,5°C, para diferentes cenários de emissões de CO₂ (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018).

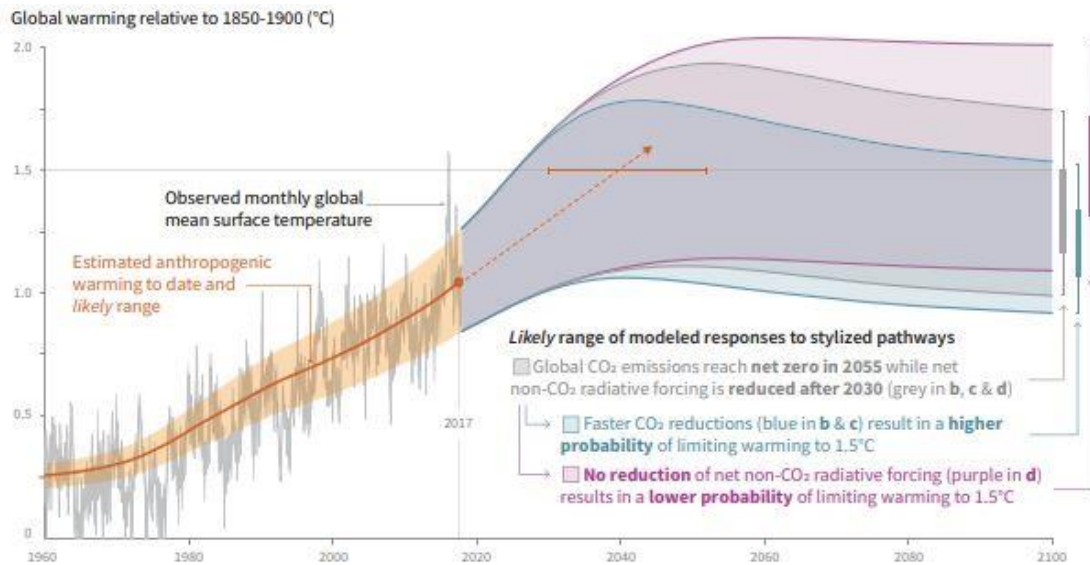


Figura 2 – Previsões para o aquecimento global (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018).

O aquecimento global deve-se à atividade humana, independentemente do setor no qual se enquadra, libertando para o meio ambiente GEE, nomeadamente aquando da queima de combustíveis fósseis para a produção de eletricidade, uso industrial, habitações e transportes. Os GEE já se encontram naturalmente na atmosfera, no entanto a atividade humana tem vindo a intensificar as suas concentrações, como é o caso do CO₂, óxido de nitroso, metano e os gases fluorados.

O CO₂ é o GEE que apresenta maior percentagem (81%) perante os outros gases emitidos para atmosfera, como se verifica na Figura 3. Aquele é responsável por 63% do aumento do aquecimento global e a sua concentração na atmosfera é 40% mais elevada do que no início da era industrial (European Commission, n.d.).

Num contexto de incerteza sobre o futuro do clima, a melhor abordagem é a descarbonização dos setores. Segundo os autores Larsen et al., (2020), Santamouris, (2016) e Zhu et al., (2020), todos chegam à conclusão que futuramente, com o aumento da temperatura terrestre, a procura pelas necessidades de aquecimento irá diminuir enquanto que as necessidades de arrefecimento tenderá a aumentar. Santamouris, (2016) afirma, ainda, que o consumo global de arrefecimento do setor residencial representa quase 4,4% das necessidades de aquecimento e arrefecimento em 2010, prevendo-se que este valor aumente até 35% em 2050 e 61% em 2100.

GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE EU AND THE WORLD

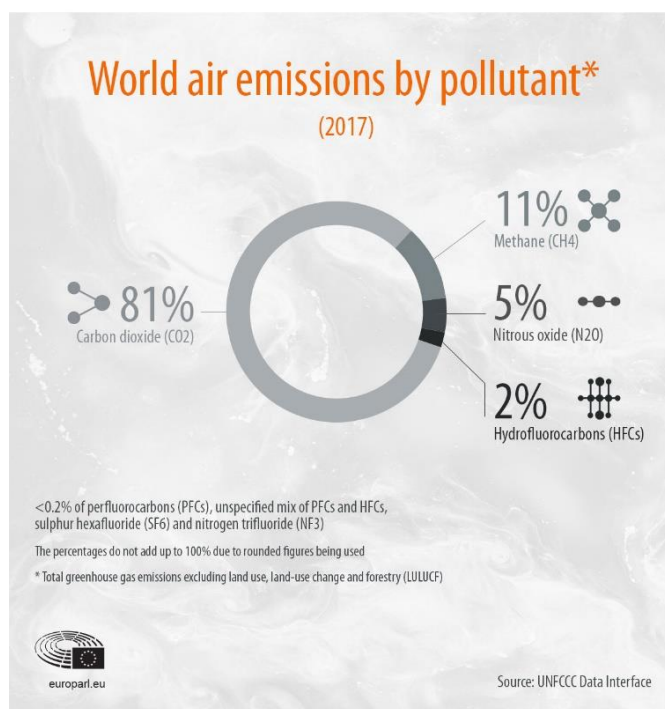


Figura 3 – Estratificação dos GEE (European Parliament, 2018).

Diante desta situação, os esforços das entidades competentes passam por apresentar medidas e metas que devem ser adotadas para que, em 2050, as emissões de CO₂ sejam nulas e, deste modo, tornar a sociedade neutra em carbono, como se observa na Figura 4.

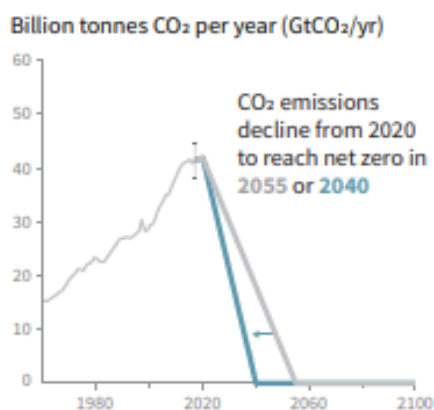


Figura 4 – Perspetiva para as emissões de CO₂ (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018).

Ao longo dos últimos anos, o assunto abordado neste capítulo tem assumido uma dimensão cada vez maior, porque a direção que a humanidade está a conduzir o planeta

é assustadora e todos nós somos responsáveis por esse ato. Este tema já é defendido por diversas instituições e já foram apresentadas várias medidas que visam o bem do ambiente, assim, os atos devem ser repensados e devem ser aplicadas medidas para assegurar a sustentabilidade do planeta para que as gerações futuras possam usufruir de todos os benefícios e suprir as suas necessidades, tal como a sociedade atual.

2.2 Descarbonização da Economia

Ao longo dos anos, o paradigma das alterações climáticas tem sido um dos temas de relevância a nível mundial, com diversos encontros marcados a nível nacional e internacional, sendo estes considerados como o ponto de partida para traçar novos caminhos. É durante estes acontecimentos, que os principais responsáveis pelos países agregam esforços de modo a contrariar todas as previsões das alterações climáticas. Portugal foi um dos vários países que se prontificou a tomar as medidas necessárias àquele embate e, assim, em 2016, anunciou que pretendia alcançar a neutralidade carbónica de toda a economia até 2050, traçando uma visão clara relativamente à descarbonização profunda da economia nacional, em consonância com os esforços em curso a nível internacional.

Do compromisso assumido por Portugal, resultou o RNC2050, que identifica os principais vetores de descarbonização de todos os setores da economia, as opções políticas, medidas e as trajetórias de redução de emissões. Em resultado deste compromisso, é necessário alcançar um balanço neutro entre as emissões de GEE e o sequestro de carbono e, desta forma devem-se reduzir substancialmente as emissões e/ou aumentar os sumidouros de carbono. É essencial reduzir as emissões de GEE entre 85% a 90%, em relação a 2005, e atingir níveis de sequestro de carbono entre 9 a 13 milhões de toneladas de CO₂ (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

Alinhado com os objetivos do RNC2050 e com concretização de políticas e medidas para alcançar as metas estabelecidas para a próxima década, Portugal submeteu à Comissão Europeia, em dezembro de 2019, a versão final do seu PNEC2030 (Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019). Neste âmbito, foram apresentados objetivos e definidas metas para o setor da energia, nomeadamente: atingir uma incorporação de 47% de energia de fontes renováveis no consumo final de energia, atingir pelo menos uma cota de 80% de energias renováveis na produção de eletricidade, reduzir para 65% a dependência energética do exterior e reduzir em 35% o consumo de energia primária (Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019).

O RNC2050 dita que todos os setores da economia portuguesa deverão contribuir para a redução de emissões, aumentando a eficiência e inovação, promovendo melhorias, nomeadamente nos edifícios, na agricultura, na gestão dos resíduos e na indústria, sendo que caberá ao sistema energético o maior contributo, como se observa na Figura 5 (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

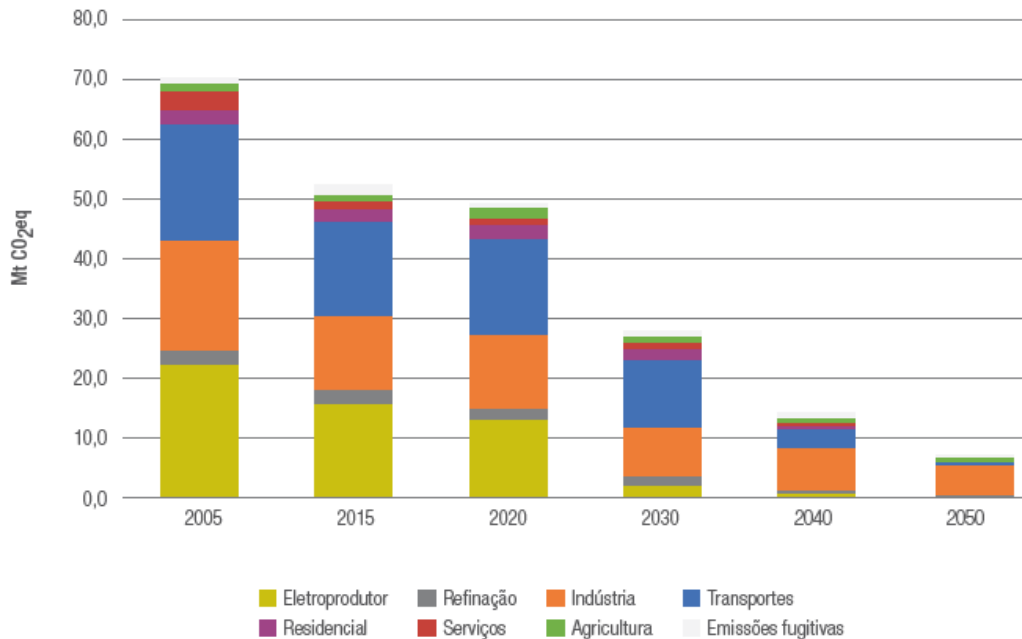


Figura 5 – Evolução das emissões por setor (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

Tal como se depreende da Figura 5, o setor eletroprodutor e o dos transportes apresentam o maior potencial para a redução de emissões, não sendo descartada a redução nos outros setores, como por exemplo, o dos edifícios.

Em seguida, apresentam-se os pontos definidos no RNC2050 para a descarbonização da economia portuguesa (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

2.2.1 Setor eletroprodutor

O setor eletroprodutor português revela-se como um dos principais emissores de GEE, representando cerca de 29% e, como expectável, a descarbonização deste terá um dos maiores impactos na economia. Como consequência da redução de emissões deste setor, e devido à importância do mesmo para outros, a produção de eletricidade terá um contributo indireto para a redução nos restantes, o que o torna preponderante na descarbonização de toda a economia, pelo seu impacto direto e indireto.

Com o objetivo de se atingir a economia neutra em carbono, existe a necessidade de se descontinuar a produção de eletricidade com o recurso a combustíveis fósseis. Em Portugal, com o compromisso assumido no PNEC2030, será abandonada a produção de eletricidade através do carvão até 2030, como se verifica na Figura 6 (Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019). Face às alterações, em Portugal, o conceito de comunidade energética é já uma realidade permitindo a criação de novos agentes no mercado energético. Na Figura 6, observa-se um aumento da capacidade instalada para fontes de energia renovável, até 2050.

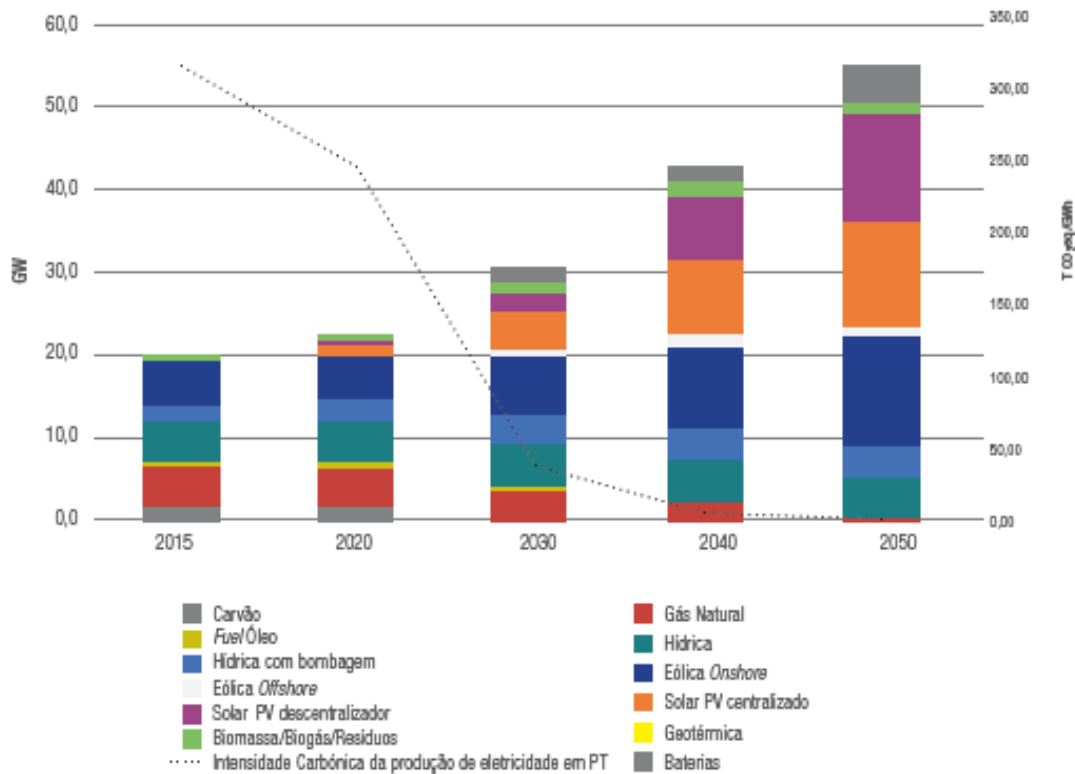


Figura 6 – Evolução da capacidade instalada e intensidade carbónica na produção (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

Os principais motores da descarbonização do setor eletroprodutor são os seguintes:

- Evolução para uma base de produção assente em energia solar, eólica e hídrica;
- Fim da produção de eletricidade a partir de carvão até 2030 e, numa segunda fase, fim da produção de eletricidade a partir de gás natural, após 2040;
- Novas soluções de armazenamento (baterias e hidrogénio);
- Maior inteligência e flexibilidade das redes.

Nos casos apresentados em seguida, é feito um enquadramento de algumas fontes de energia renováveis compatíveis com sistemas de aquecimento e arrefecimento, indispensáveis para a obtenção de neutralidade carbónica, apresentando-se, ainda, um conceito que começa a dar os pequenos passos em Portugal.

2.2.1.1 Fontes de energia renovável

A descarbonização da economia em geral será afetada pelas alterações resultantes do setor eletroprodutor, uma vez, que se prevê a eletrificação de todos os outros setores. No PNEC2030, estima-se que 47% da energia final consumida seja de origem renovável, esperando-se, também, atingir pelo menos 80% de energia renovável no setor eletroprodutor (Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019).

A potência instalada em Portugal de fontes de energia renovável deverá aumentar, como é o caso da energia eólica, solar, hídrica e ainda a biomassa, como demonstrado na Figura 6.

Na sequência do aumento da potência instalada de fontes de energia renovável, os edifícios também terão o seu contributo, uma vez que perspectiva-se a incorporação de energia renováveis no aquecimento e no arrefecimento na ordem dos 66% e 68%, respetivamente (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019). Assim, uma vez que as mudanças climáticas estão a alterar as necessidades de arrefecimento, a visão para 2050 sobre os sistemas de arrefecimento passará pelas seguintes estratégias (Carbon Trust, 2020):

- *Passive cooling* – adotar medidas que reduzam ou evitem a necessidade de arrefecimento mecânico, redução das cargas de refrigeração, *design* inteligente de modo a reduzir os ganhos;
- Equipamentos de alta-eficiência – produção de equipamentos de climatização cada vez mais eficientes de modo a reduzir as emissões de CO₂;
- Utilização de fluidos frigorígenos com baixo potencial de aquecimento global.

A evolução contínua de melhoria nos sistemas de climatização é importante para que se consiga obter o conforto térmico, com menores gastos possíveis. O conforto térmico pode ser definido como o estado de espírito que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente térmico que o rodeia (ASHRAE Standard, 2004). O conforto térmico é subjetivo dependendo de indivíduo para indivíduo, no entanto considera-se um ambiente termicamente confortável aquele que promova a neutralidade térmica a um maior número de pessoas possível para um determinado tipo de atividade.

O RNC2050 e o PNEC2030 apontam para a crescente utilização de equipamentos de climatização neutros, como é o caso de bombas de calor, caldeiras e recuperadores de calor a biomassa, calor através do solar térmico, calor por cogeração e gases renováveis (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019; Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019).

2.2.1.2 Comunidades de energia

A descarbonização da economia em geral promove algumas alterações no setor eletroprodutor e, de forma a transitar para um sistema energético mais sustentável, o aumento de fontes de energia renovável torna-se imprescindível.

Segundo Gjorgievsk et al., (2021), se os interesses e objetivos forem semelhantes, podem agrupar-se e formar comunidades energéticas. As comunidades energéticas permitem aos consumidores conjugar os seus objetivos económicos, ambientais e sociais individuais e coletivos, contribuindo, ao mesmo tempo, para a descarbonização do sistema energético. Na UE existem mais de 3 500 comunidade energéticas, existindo muitas outras em várias partes do mundo, como Estados Unidos e Nova Zelândia. Na Figura 7, encontra-se representado um exemplo de uma comunidade energética.

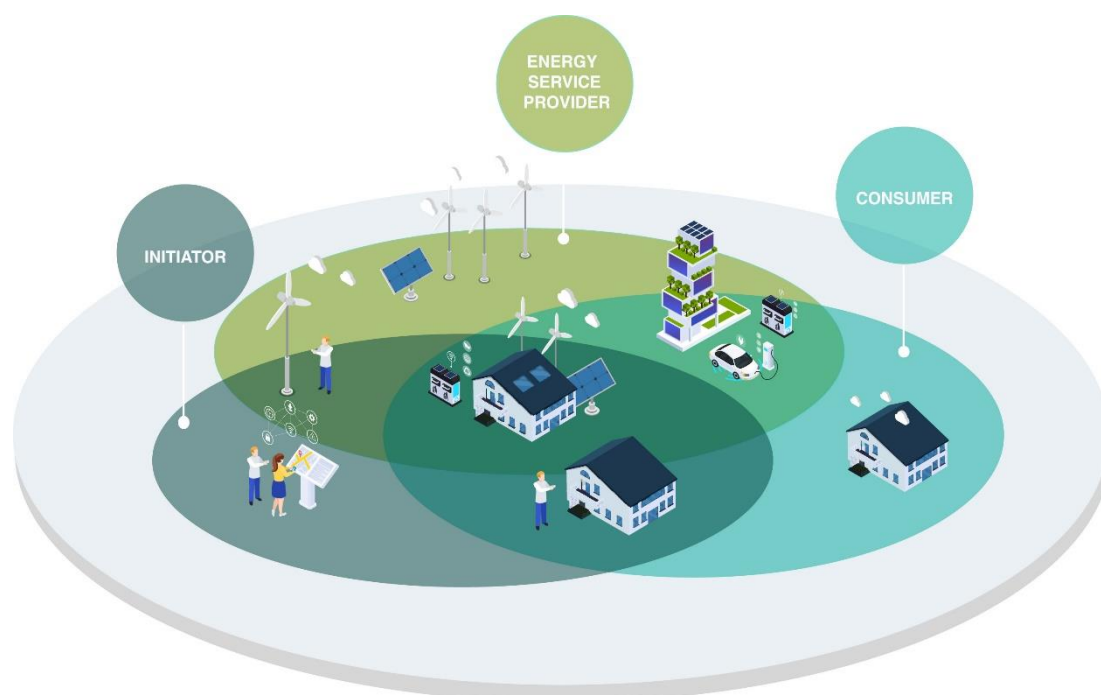


Figura 7 – Exemplo de uma comunidade energética (Gjorgievsk et al., 2021).

Num enquadramento europeu, existem duas abordagens às comunidades de energia entendidas como entidades juridicamente reconhecidas (Direção Geral de Energia e Geologia, n.d.-b):

- Comunidade de energia renovável (CER);
- Comunidade de cidadãos para a energia (CCE).

Na abordagem CER, o enquadramento legislativo é feito através da Diretiva UE 2018/2001, relativa à promoção de energia de fontes renováveis. A definição encontra-se no artigo 2 da mesma diretiva e baseia-se numa participação aberta e voluntária, sendo a comunidade autónoma e controlada por acionistas ou membros que estão localizados na proximidade dos projetos de energia renovável - os quais são propriedade dessa entidade jurídica e por esta desenvolvidos. Os seus acionistas ou membros são pessoas singulares, pequenas e médias empresas ou autoridades locais, incluindo Municípios. O objetivo principal é propiciar aos acionistas, membros ou às localidades onde operam benefícios ambientais, económicos e sociais, em vez de lucros financeiros. A regulamentação está presente no artigo 16 da diretiva.

Relativamente à CCE, esta está legislada pela Diretiva UE 2019/944, que estabelece as regras para o mercado interno da eletricidade. A definição consta no artigo 2 e baseia-se numa participação aberta e voluntária, que seja efetivamente controlada pelos seus membros ou pelos titulares de participações sociais, que são pessoas singulares, autoridades locais, incluindo municípios ou pequenas empresas. O principal objetivo é proporcionar benefícios ambientais, económicos ou sociais aos seus membros, titulares de participações sociais ou às zonas locais onde operam e não gerar lucros financeiros. Pode participar em atividades de produção, inclusive de energia de fontes renováveis, de distribuição, de comercialização, de consumo, de agregação, de armazenamento de energia, de prestação de serviços de eficiência energética, ou de

serviços de carregamento para veículos elétricos ou prestar outros serviços energéticos aos seus membros ou aos titulares de participações sociais.

Na Tabela 1, encontram-se resumidas algumas diferenças entre as abordagens.

Tabela 1 – CER versus CCE: síntese de aspetos diferenciadores (Direção Geral de Energia e Geologia, n.d.-b).

CER	CCE
Adesão limitada e Governança específica	Governança específica, mas adesão ilimitada
Proximidade à produção de energia renovável	Sem limitação geográfica
Todas as fontes de energia renovável	Apenas considera eletricidade
100% energia renovável	Tecnologicamente neutra

No que concerne à legislação portuguesa, o Decreto-Lei n.º 162/2019 de 25 de outubro, aprova o regime jurídico aplicável ao autoconsumo de energia renovável, transpondo parcialmente a Diretiva 2018/2001 (República Portuguesa, 2019). Este Decreto-Lei visa as alterações necessárias ao Decreto-Lei n.º 153/2014, que se encontra atualmente em vigor para a atividade de produção descentralizada de energia elétrica. Com o Decreto-Lei n.º 162/2019, define-se CER como uma pessoa coletiva, com base numa adesão aberta e voluntária dos seus membros. Assim, permite-se aos consumidores organizarem-se entre si para a produção de energia, a partir de fontes renováveis, e, mais tarde, o consumo da mesma energia, com a possibilidade de vender o excedente. Em termos de conclusão, considera-se esta nova realidade uma medida para a descarbonização, uma vez que, de forma gradual, se está a aumentar a capacidade de produção de energia com o recurso a fontes de energia renovável.

2.2.2 Setor dos transportes

O setor dos transportes é mais um setor com peso significativo, tornando-o um dos principais emissores a nível nacional, representando cerca de 25% das emissões, como é possível apurar na Figura 5. Este, divide-se em transportes rodoviários, ferroviários, marítimos e aviação, no qual o primeiro representa 96% das emissões dos transportes e as restantes representam apenas 4%. Mais ainda se acrescenta que, 60% de todas as emissões com origem transportes rodoviários deve-se ao uso automóvel.

Na Figura 8, observa-se a evolução do consumo de energia final para este setor. Como se pode constatar, a tendência ao longo dos próximos anos passa pelo abandono dos combustíveis fósseis e aparecimento de fontes amigas do ambiente. Em resultado, com a transição de veículos com motores a combustão para veículos elétricos, espera-se que se consiga atingir um peso de 70% de energia proveniente da eletricidade face ao consumo total dos transportes em 2050. Ambiciona-se, ainda, a incorporação de fontes renováveis neste setor superior a 35% em 2030, a 60% em 2040, e a 90% até 2050.

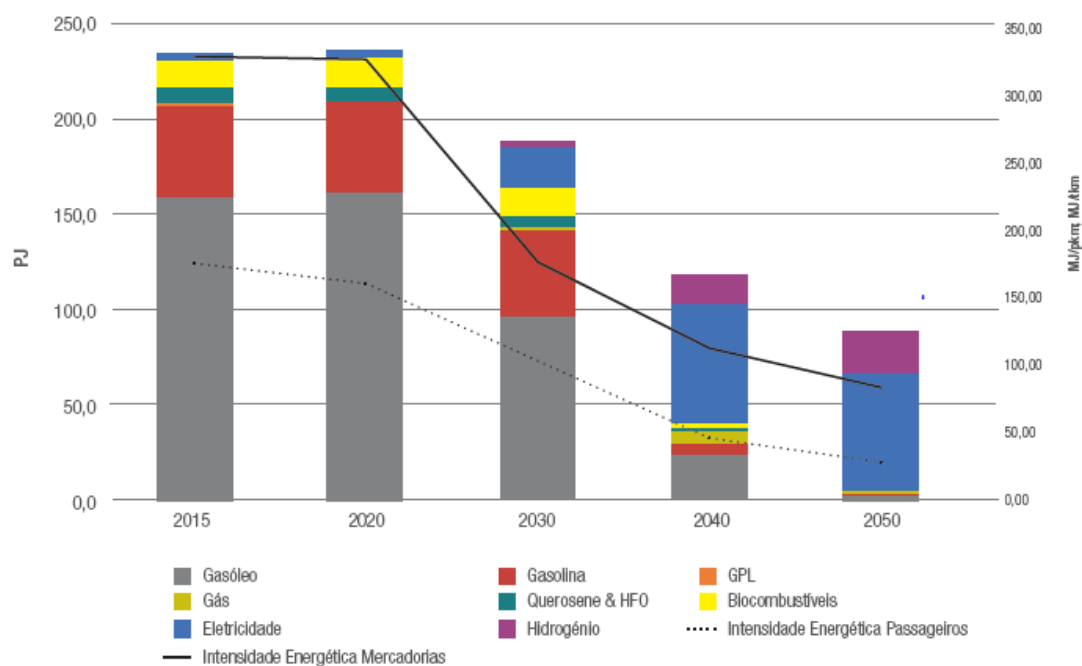


Figura 8 – Evolução do consumo de energia final e da intensidade energética no setor dos transportes (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

Os principais agentes da descarbonização do setor transportes são os seguintes:

- Mais eficiência e reforço dos sistemas de transporte público;
- Mobilidade ativa e suave;
- Maior eficiência, associada à mobilidade partilhada e aos veículos autónomos;
- Eletrificação;
- Biocombustíveis e hidrogénio.

2.2.3 Indústria e processos industriais

O setor da indústria abrange um leque diversificado de atividades, como é o caso da cerâmica, a produção de cimento e cal, ferro e aço, pasta e papel, indústria química e a refinação. O facto deste setor possuir uma diversidade elevada, faz com que os desafios sejam maiores em comparação com outros, uma vez que as opções tecnológicas para a redução das emissões ainda são limitadas.

No caso da indústria, esta é influenciada por várias tendências e dinâmicas do mercado, ou seja, ao alterarem-se os padrões de consumo da sociedade afeta-se diretamente a indústria, como por exemplo, a redução de combustíveis nos transportes irá influenciar positivamente este setor. Em 2015, a indústria representava cerca de 19% das emissões a nível nacional, sendo que 62% destas estavam associadas à queima de combustíveis fósseis e 38% a emissões de processos. Como consequência da descarbonização da economia e apesar destes entraves, a indústria nacional também será objeto de grandes transformações, sendo expectável uma redução das suas emissões até perto dos 70% face a 2015.

Na Figura 9, observa-se a evolução das emissões libertadas por cada atividade do setor industrial. A indústria mineral é a que apresenta maior mudança no que toca à emissão de CO₂, contudo continuará a ser grande responsável pelas emissões.

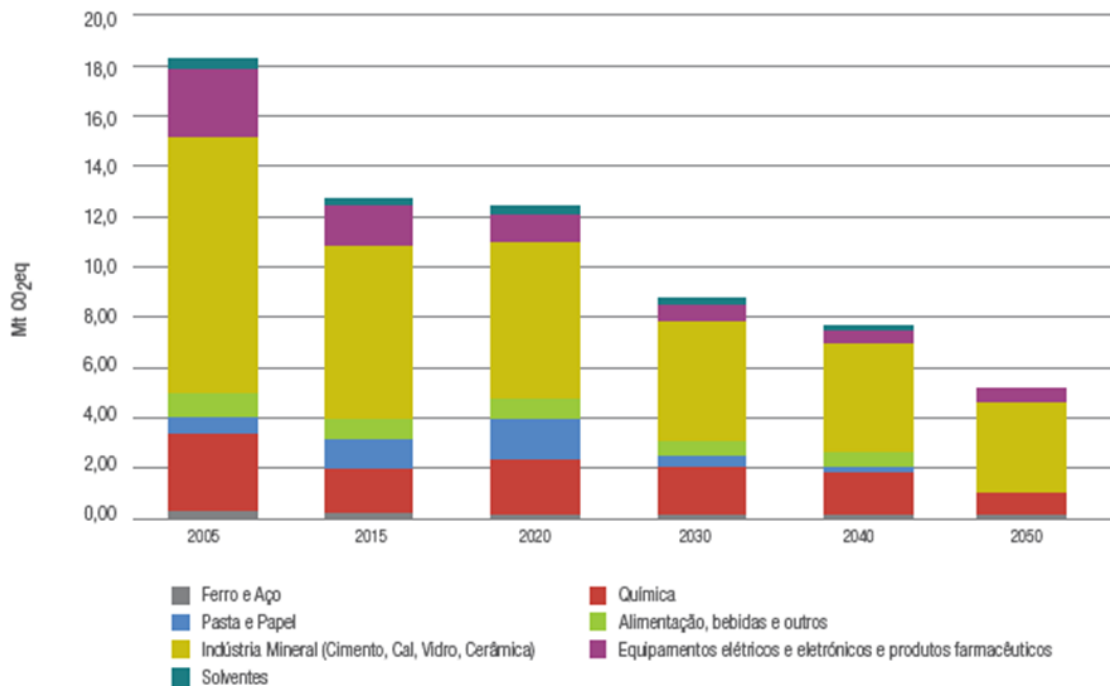


Figura 9 – Evolução das emissões do setor da indústria (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

A Figura 10, apresenta a evolução do consumo de energia final e a intensidade energética da indústria em que a tendência é de redução entre 52% e 64% para a intensidade.

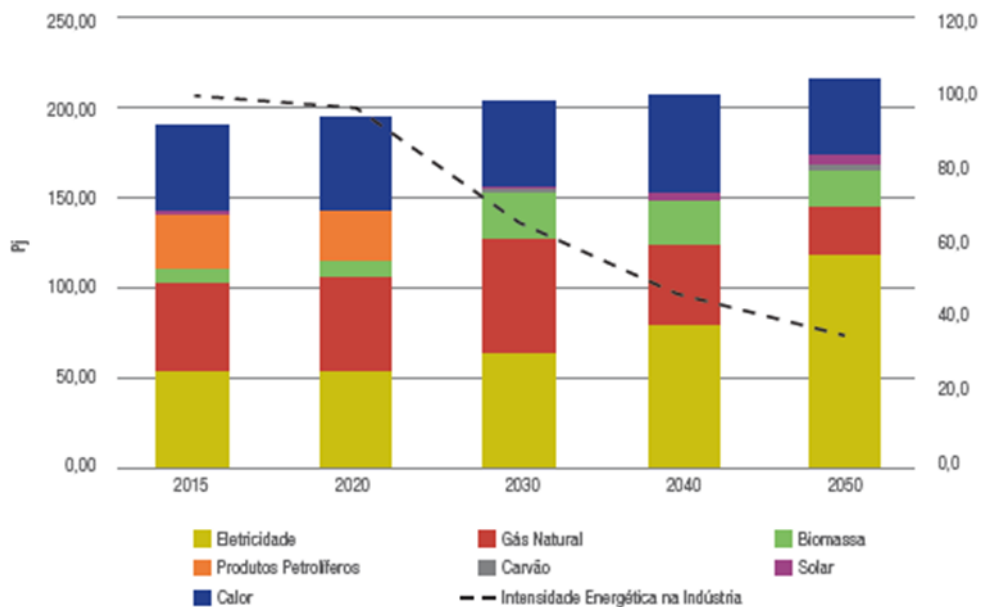


Figura 10 – Evolução do consumo de energia final e da intensidade energética na indústria (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

Neste caso, os principais motores para a descarbonização do setor da indústria são os seguintes:

- Eficiência energética e de recursos;
- Eletrificação;
- Solar térmico e biomassa;
- Inovação e novos modelos de negócio (ex: biorefinarias);
- Simbioses industriais e reaproveitamento de recursos.

2.2.4 Edifícios – residencial e serviços

Os edifícios, em comparação com as outras atividades apresentadas, podem não ser atrativos a mudanças uma vez que representam apenas 5% das emissões nacionais de GEE. No entanto, os edifícios, que incluem os setores residenciais e o de serviços, são grandes consumidores de energia, sendo atualmente responsáveis por cerca de 30% do consumo de energia.

O aumento da temperatura média terrestre levará a um aumento expectável da procura de equipamentos de arrefecimento, como já corroborado por Larsen et al., (2020), Santamouris, (2016) e Zhu et al., (2020), demonstrando assim um elevado potencial para a redução das emissões. As estimativas apontam que em 2050 existirá uma redução no setor residencial de 96% a 97% e de 100% no setor de serviços, em comparação a 2005, passando pela incorporação de energias renováveis para o conforto térmico, aquecimento e arrefecimento, a ser de 66% e 68%, como se observa na Figura 11.

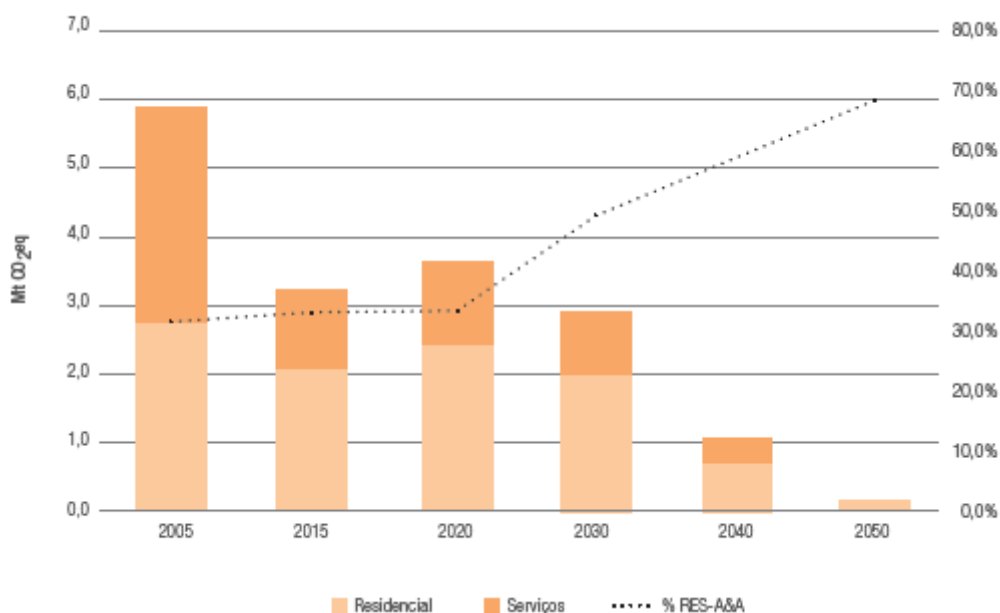


Figura 11 – Evolução das emissões dos setores residencial e serviço e a percentagem de incorporação de renováveis no aquecimento e arrefecimento (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

Nos edifícios residenciais supõe-se que exista uma reformulação de modo a aumentar o conforto térmico para aquecimento e para arrefecimento. Esta mudança pode ser implementada com uso de algumas alternativas, como é o caso da aplicação de materiais isolantes aquando da construção ou reabilitação e o uso de equipamentos

cada vez mais eficientes. Existe um empenho na reabilitação dos edifícios para que se consiga melhorar a sua eficiência energética, através da implementação de medidas que melhorem o conforto térmico, utilização de materiais de baixo carbono e o recurso a fontes de energia renovável, de modo a melhorar o desempenho energético.

A aplicação de isolamento numa habitação é apresentada como medida de aumento do conforto térmico, estimando-se uma redução do consumo energia para aquecimento de 26% em 2040 e de 50% em 2050.

Nos edifícios de serviços também se prevê a descarbonização por completo do setor com a eletrificação do mesmo, acompanhada por sistemas de climatização que não libertem emissões de CO₂.

Na Figura 12, observa-se a tendência para os próximos anos da proveniência de energia para os edifícios, com a eletricidade a ser a maior fonte de energia.

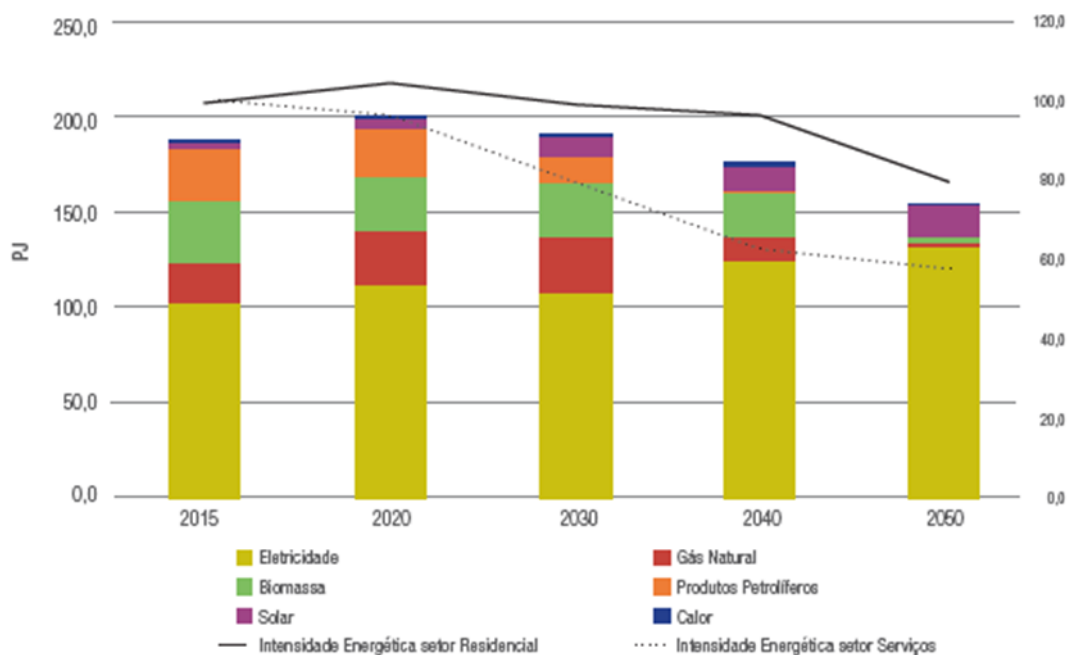


Figura 12 – Evolução do consumo de energia final e da intensidade energética nos edifícios (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019).

A preocupação com a descarbonização deste setor faz com que novos conceitos sejam apresentados, como é o caso dos NZEBs. Neste caso, o conceito começa a ter a devida relevância, uma vez que as necessidades energéticas são nulas ou praticamente nulas, sendo que a energia é colmatada com o recurso a fontes de energia renovável (Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019).

Os principais vetores para o setor dos edifícios residenciais e de serviços são os seguintes:

- Eficiência energética;
- Eletrificação;
- Isolamento e reabilitação;
- Solar térmico e bombas de calor.

Neste contexto, de modo a cumprir com as obrigações do “Acordo de Paris”, e no enquadramento do que é preconizado no RNC2050 e no PNEC2030, é necessário tomar medidas por forma a que:

- Todos os novos edifícios possuam neutralidade carbónica em 2030;
- A totalidade dos edifícios deverá possuir neutralidade carbónica em 2050.

Resumidamente, as metas delineadas são muito exigentes. No RNC2050, estimam-se reduções de emissões no setor residencial de 96% e 97% e de 100% no setor dos serviços (Governo Português - Ambiente e Transição Energética, 2019). Para isto, é necessário assegurar que o parque edificado possua uma elevada eficiência energética, assim como garantir que as estratégias de renovação, a longo prazo, proporcionem os avanços necessários para a transformação dos edifícios existentes em edifícios quase energia-zero, intensificando a descarbonização através de um aumento da quantidade de edifícios reabilitados (Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019).

Neste contexto, para levar a cabo o processo de descarbonização de edifícios, existem três abordagens possíveis para resolução do mesmo problema (Carruthers & Casavant, 2013):

- Neutralidade carbónica no funcionamento do edifício: considera-se apenas as emissões que resultam dos consumos energéticos do edifício (abordagem mais próxima da legislação portuguesa);
- Neutralidade carbónica no funcionamento do edifício e associado aos seus materiais de construção: esta abordagem é idêntica à anterior acrescentado ainda a pegada carbónica dos materiais utilizados na construção do edifício;
- Neutralidade carbónica no funcionamento do edifício e associado aos seus materiais de construção e ocupantes: além das considerações da abordagem anterior, esta inclui as emissões provenientes da pegada carbónica dos seus utilizadores inclusive as emissões relativas aos seus meios de transporte.

A presente elaboração de um plano de descarbonização terá em conta apenas as emissões indiretas decorrentes do funcionamento, excluindo o ciclo de vida dos seus materiais construtivos e ainda a pegada carbónica da frota de veículos associada ao funcionamento do edifício.

2.3 Enquadramento Legislativo

No presente subcapítulo é retratado o panorama português, no que toca à legislação relativa à descarbonização do setor dos edifícios.

Em Portugal, no setor dos edifícios, existe um caminho que tem vindo a ser percorrido para reduzir significativamente o peso energético. Em 1990, foi publicado o primeiro regulamento referente ao comportamento dos edifícios. No Decreto-Lei n.º 40/90 são definidos os parâmetros térmicos que apontam para a melhoria do setor, assim era necessário que todos cumprissem com os requisitos regulamentares (Ministério das Obras Públicas, 1990).

No decorrer do ano de 2006 e com a primeira EPBD denominada na Diretiva 2002/91/CE (Europeu, 2003), foi publicado o Decreto-Lei n.º 80/2006, cujo o principal intuito era

transpor a diretiva para a legislação portuguesa. Mais tarde, com a atualização da EPBD 2010 (Europeu, 2010), surge um novo Decreto-Lei n.º 118/2013 (Diário da República, 2013) que substitui o anterior. Este aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Em 2018, a UE anuncia uma nova Diretiva 2018/444 (Europeu, 2018), revogando a EPBD 2002 e 2010, sendo esta transcrita para a legislação portuguesa, através do Decreto-Lei n.º 101-D/2020 (Ambiente e Ação Climática & Presidência do Conselho de Ministros, 2020) que estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifício. No Decreto-Lei n.º 118/2013 (Diário da República, 2013), o artigo 16º da secção III referente à “Organização e funcionamento” do capítulo II “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios”, apresenta a caracterização de “Edifícios com necessidades quase nulas de energia”, assentando na definição de NZEBs, embora não seja intitulado como tal, já que, Portugal não introduziu este conceito na regulamentação portuguesa. No decorrer dos últimos anos, verificou-se a necessidade de alterar algumas partes da legislação, o que se observa com a publicação de Despachos e Portarias. A Portaria n.º 349-D/2013 (Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, 2013) aprovada no Decreto-Lei n.º 118/2013 (Diário da República, 2013), visa definir os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grandes intervenções e dos edifícios existentes. A Portaria anterior foi atualizada pela Portaria n.º 17-A/2016 (Ministério do Trabalho, 2016). Recentemente houve uma segunda alteração à Portaria n.º 349-D/2013, através da Portaria n.º 42/2019 e, como tal, procede à pormenorização do conceito de edifício NZEBs. A Figura 13, mostra a linha temporal de diretivas europeias e a relação com os regulamentos em Portugal e Espanha.

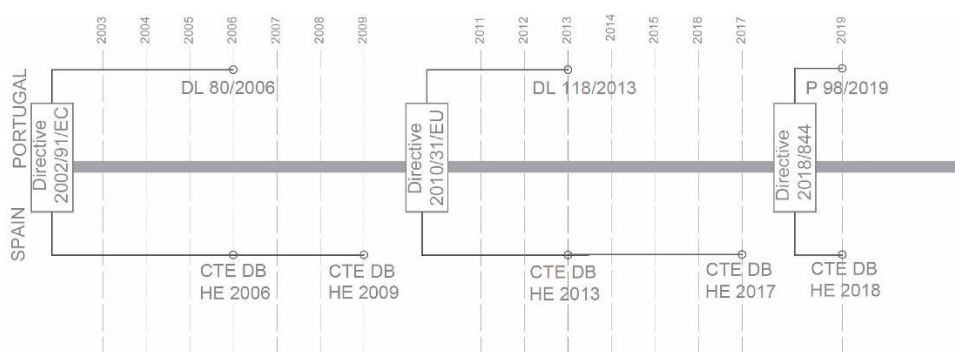


Figura 13 – Linha temporal das diretivas europeias para edifícios NZEBs (Monzón-Chavarrías et al., 2020).

Após o pequeno enquadramento legislativo, foi necessário estudar a legislação apresentada em seguida, para desenvolver o tema escolhido:

- Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto;
- Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro;

- Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013 – estabelece os fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais de energia primária;
- Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013 – estabelece as regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existente;
- Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 – procede à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados;
- Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 – publicação dos parâmetros térmicos para o cálculo dos valores que integram o presente despacho;
- Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de fevereiro – procedeu à primeira alteração da Portaria n.º 349-D/2013;
- Portaria n.º 42/2019, de 30 de janeiro – procedeu à segunda alteração da Portaria n.º 349-D/2013;
- Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.

2.4 Edifícios NZEBs

Os edifícios têm impacto no meio ambiente. Segundo a European Commission - Press Commission, (2017) apresenta que 40% da energia final consumida na UE deve-se ao setor dos edifícios demonstrando a necessidade de intervir no parque edificado. De forma a reverter este cenário, a UE teve a preocupação de promover a redução destes impactos. Neste sentido, foram publicadas diretivas na qual os estados-membros transpõem para a sua legislação.

Relativamente a Portugal, o conceito NZEBs, dita que os edifícios devem ter necessidades nulas ou quase nulas de energia, sendo que a energia proveniente para estes deve ser através de fontes de energia renovável. Na Figura 14, encontra-se a explicação gráfica deste conceito, onde se verifica que os edifícios NZEBs são aqueles se encontram sobre a linha tracejada, pois o seu consumo de energia é igual à produção de energia proveniente de fontes renováveis, resultando num balanço energético nulo.

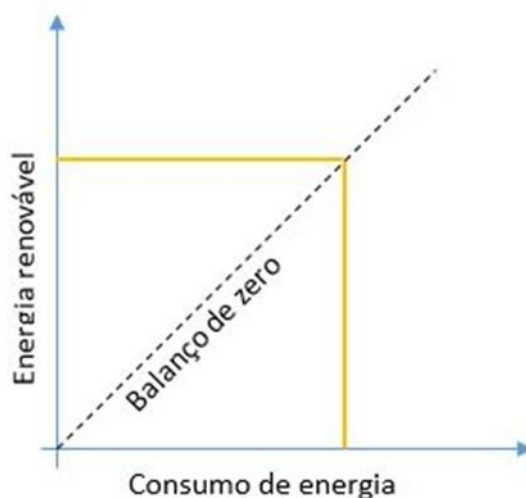


Figura 14 – Explicação de edifícios NZEBs.

No caso dos edifícios de comércio e serviços, a Portaria n.º 42/2019, define os valores máximos de indicador de eficiência energética e do rácio de classe energética (Trabalho, 2019).

Segundo os autores D'Agostino & Mazzarella, (2019) e Monzón-Chavarrías et al., (2020), o setor dos edifícios é importante para mitigar as alterações climáticas. Neste último estudo, estima-se que em Portugal a renovação do parque imobiliário da tipologia apresentada reduz as emissões de CO₂ em cerca de 80% a 96%.

2.5 Diretiva Europeia *Eco Design*

A sociedade atual registou um crescimento em termos de população, traduzindo-se num aumento da procura de energia, sendo, no geral, a maior parte obtida através de combustíveis fósseis, como é o caso do carvão, gás ou do petróleo. É necessário que este aumento de procura de energia seja colmatado, sendo a maneira mais fácil para dar resposta através destes combustíveis fósseis, dada a imprevisibilidade de produção de energia através de fontes renováveis, como a eólica e solar, em alguns locais.

A utilização de energias não renováveis leva à libertação de CO₂ para a atmosfera prejudicando o aquecimento global devido ao efeito de estufa. Todos, como seres conscientes devemos adotar comportamentos que reduzam o consumo destes recursos, preservando o planeta e garantindo um futuro sustentável. Deste modo, a Diretiva 2009/125/CE aprovou a criação de um quadro para definir os requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia. A diretiva pretende estabelecer uma elevada proteção ao meio ambiente, através da redução do potencial impacto ambiental dos produtos relacionados com o consumo de energia. Desta forma, desde a conceção à utilização do equipamento, o mesmo deverá ter o menor impacto ambiental sendo beneficiado por isso, quando comparado a outro (Parlamento Europeu & Conselho da União Europeia, 2009).

A criação de uma etiqueta energética passou a informar o consumidor final acerca do desempenho energético do equipamento elétrico. Inicialmente foi concebida com uma escala energética compreendida entre A e G, mas face à evolução tecnologia foram introduzidas novas classes A+, A++ e A+++ , para dar resposta a produtos mais eficientes. No entanto, este acréscimo inviabilizou a perceção para que o consumidor entenda as diferenças entre os produtos de classe A para os demais. Desta forma foi introduzida uma nova etiqueta energética regressando à escala dividida de A a G, como se observa na Figura 15 (ADENE, n.d.-a).

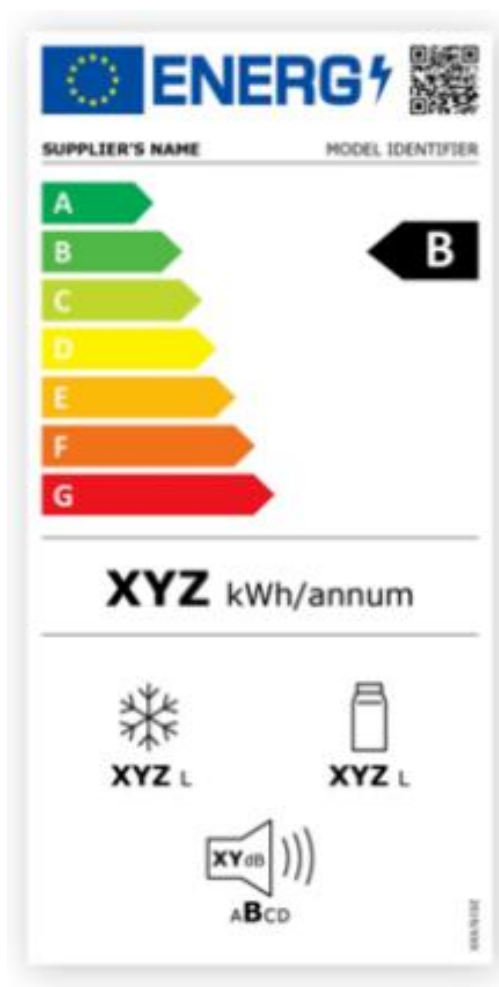


Figura 15 – Exemplo da nova etiqueta energética (ADENE, n.d.-a).

2.6 Auditoria energética em edifícios

A auditoria energética surge como ferramenta fundamental para que o gestor de energia consiga desagregar os consumos energéticos, bem como a eficiência energética dos equipamentos elétricos que possui. No processo de auditoria, existe uma sequência de procedimentos que devem ser seguidos para que daí resulte eficazmente a avaliação. Estes vão desde análise das faturas energéticas do ano que antecede a auditoria, verificação física dos equipamentos e sistemas produção de energia elétrica e térmica, avaliação das condições de funcionamento, até a uma fase final na qual é possível apresentar medidas que visam a redução dos consumos de energia. A auditoria energética tem vários objetivos, entre os quais (Direção Geral de Energia e Geologia, n.d.-a):

- Especificar as formas de energia utilizadas;
- Examinar o modo como a energia é utilizada e os respetivos custos;
- Estabelece a estrutura do consumo de energia;
- Identificar as possibilidades de melhoria dos rendimentos energéticos;
- Propor a substituição de equipamentos por outros mais eficientes.

O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, que visa promover a melhoria energética dos edifícios (Diário da República, 2013). Na certificação de um edifício, existe uma avaliação energética detalhada, na qual se pretende identificar quais são os vetores energéticos, caracterizando os seus consumos. Existe uma caracterização dos sistemas técnicos e equipamentos elétricos, apurando os seus perfis de utilização, e uma simulação dinâmica do edifício para se obter o comportamento do mesmo. Deste processo, resulta um certificado, válido por 8 anos, no qual é apresentada a eficiência energética do edifício através de uma escala exemplificada no subcapítulo anterior.

2.7 Ferramentas de cálculo

No presente subcapítulo, apresentam-se as ferramentas usadas para estudar e analisar as alterações consideradas num edifício. No caso do *EnergyPlus*, este é um programa que permite analisar o comportamento de um edifício mediante algumas condições assumidas. O *Polysun* é um *software* que permite determinar a produção elétrica de um campo fotovoltaico. Apresentam-se, de seguida, as duas ferramentas listadas anteriormente.

2.7.1 *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é um *software* de análise e de simulação energética em edifícios, vocacionado para retratar o comportamento e funcionamento do mesmo com diversos sistemas, como por exemplo, sistemas de aquecimento e arrefecimento, iluminação, ocupação, entre outros. Esta ferramenta surgiu a partir de dois programas desenvolvidos nos Estados Unidos da América, o *BLAST* e o *DOE-2*, apoiados pelo departamento de Defesa e pelo departamento de Energia, respetivamente. A principal diferença entre os dois encontra-se no método de cálculo do valor das cargas energéticas. Em 1995, foi cortado o orçamento para o desenvolvimento do programa *BLAST* devido às restrições orçamentais, aproveitando a oportunidade para juntar as duas equipas e desenvolver um novo programa baseado nos recursos e capacidades mais eficazes. O *EnergyPlus* teve a sua primeira versão em 2001 e, atualmente, conta com atualizações constantes. O programa foi escrito em *Fortran 90*, não possuindo nenhuma interface de trabalho integrada até ao momento, como se visualiza na Figura 16 (Crawley et al., 2001).

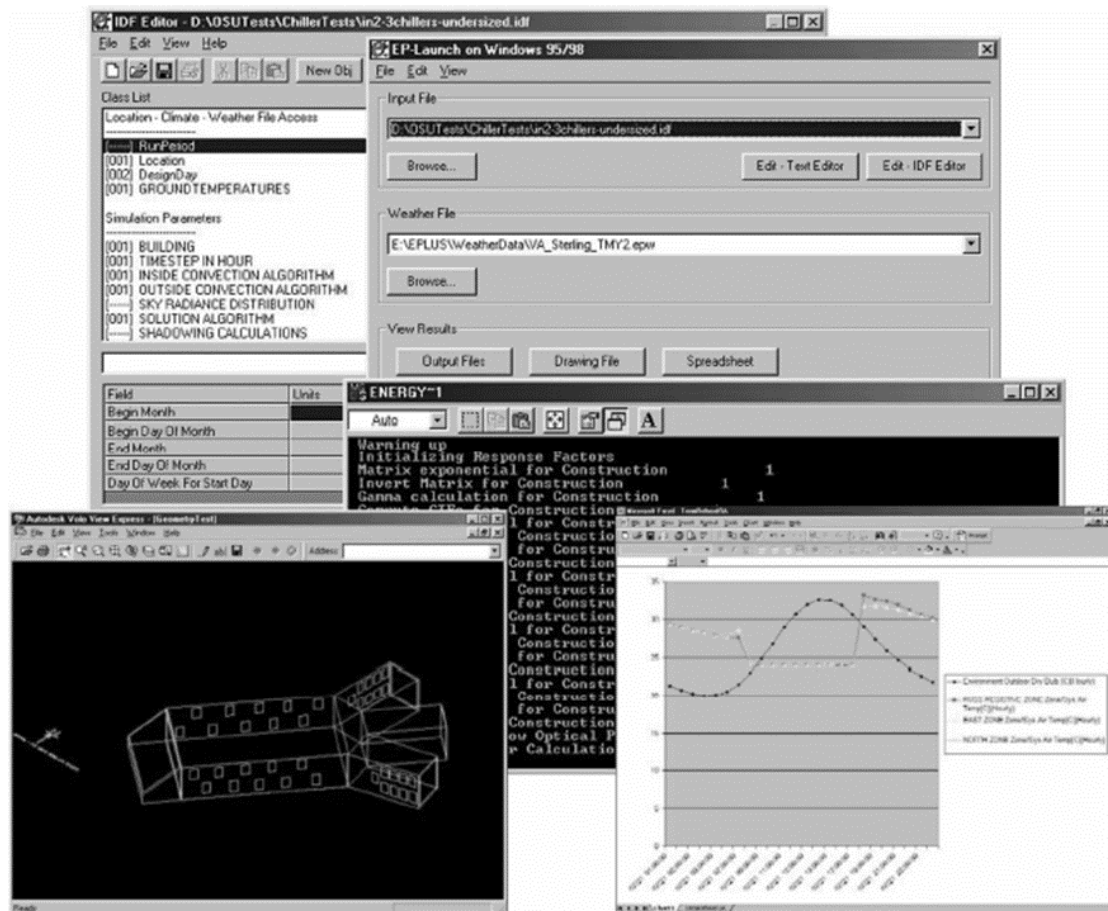


Figura 16 – Imagens do *EnergyPlus* (Crawley et al., 2001).

O *EnergyPlus* é um programa de simulação energética de edifícios que apresenta algumas capacidades notáveis, tais como (Energy's, n.d.):

- Cálculo de soluções simultâneas integradas, onde a resposta do edifício e os sistemas primários e secundários são interligados;
- Solução baseada no equilíbrio térmico de efeitos convectivos e radiantes que produzem temperaturas de superfície confortáveis e cálculos de condensação;
- Intervalos de tempo definidos pelo utilizador para a interação entre zonas térmicas e o ambiente e ainda intervalos de tempo automáticos para a interação entre as zonas térmicas e sistemas;
- Criação de modelo de transferência de calor e massa que contabiliza o movimento do ar entre zonas;
- Cálculo de balanços de energia através de modelos avançados de envidraçados, considerando todas as características;
- Basta gama de configurações para sistemas de aquecimento e arrefecimento configuráveis, permitindo ao utilizador conciliar a simulação com vários sistemas.

2.7.2 Polysun

O *Polysun* é uma ferramenta que permite fazer a simulação de sistemas fotovoltaicos, solar térmico e geotérmico. Foi desenvolvido em 1992, pelo *Institute for Solar Technology* da Universidade de Ciências Aplicadas de *Rapperswil* (Suíça). Este *software* permite fazer a análise e otimização de sistemas de aquecimento solar ativo e passivo. A introdução de vários parâmetros é feita através de uma interface, como demonstra a Figura 17, sendo muito intuitiva e de fácil adaptação. Além de ser um *software* com um visual simplista, outra vantagem é o facto de possuir uma extensa biblioteca de componentes e dados meteorológicos, permitindo ainda, a introdução de novos dados. Os resultados possíveis de saída são vários como é o caso da fração solar, valores energéticos, temperaturas, entre outros (Witzig et al., 2010).

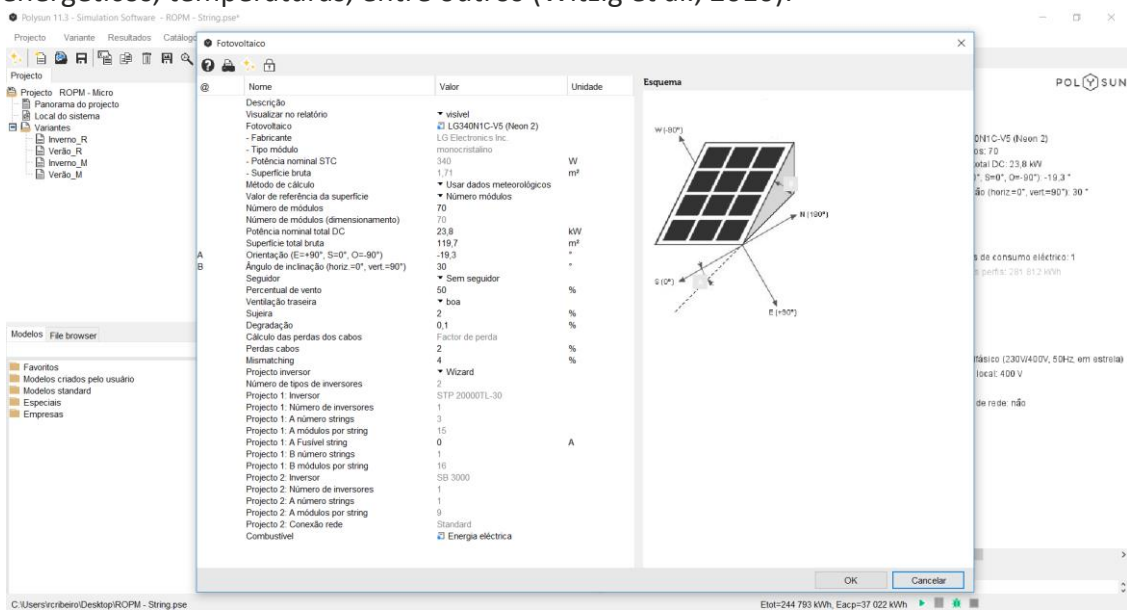


Figura 17 – Menu do *Polysun*.

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Caracterização geral do edifício
- 3.2 Caracterização térmica da envolvente
- 3.3 Equipamentos elétricos
- 3.4 Iluminação
- 3.5 Sistemas de climatização
- 3.6 Perfis de utilização
- 3.7 Medições
- 3.8 Modelo geométrico
- 3.9 Modelação da simulação
- 3.10 Resultados da simulação
- 3.11 Cálculo de cargas térmicas
- 3.12 Identificação de medidas mitigadoras de emissões de CO₂
- 3.13 Impacto da implementação das medidas mitigadoras
- 3.14 Resultados Finais

3 DESENVOLVIMENTO

O presente capítulo pretende demonstrar todos os procedimentos e decisões adotadas na elaboração de um plano de descarbonização para um edifício de serviços, permitindo que o mesmo alcance a neutralidade carbónica. Na fase inicial do projeto efetuaram-se levantamentos de forma a identificar equipamentos elétricos, identificar equipamentos de climatização, averiguar as soluções construtivas empregues no edifício, entre outras informações necessárias, tais como, perfis de ocupação para caracterizar da melhor forma o funcionamento do edifício na simulação dinâmica.

No presente estudo, por questões de confidencialidade, não se expõem imagens nem as plantas do edifício.

3.1 Caracterização geral do edifício

O edifício alvo de estudo insere-se num grande complexo, onde se inclui um parque arborizado. Este fica localizado na freguesia Estrela do concelho de Lisboa, pertencente à zona do centro histórico da capital. O ano de construção é desconhecido, mas presumivelmente enquadrável no final do século XIX e início do século XX. A ausência de elementos de projeto e/ou telas finais dificulta o processo de caracterização em concreto da sua envolvente. O edifício é composto por gabinetes, salas de reuniões e outros espaços similares, possuindo uma área útil de 810 m², enquadrando-se na tipologia de um edifício de comércio e serviços.

Os dados climáticos adotados para a simulação foram obtidos com o recurso a um *software* disponibilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia, o qual permite preparar os ficheiros climáticos usados para simulação (Direção Geral de Energia e Geologia, n.d.-c).

Na Tabela 2, encontra-se a caracterização do local na qual o edifício se insere. Na Figura 18, encontra-se representada a temperatura média mensal exterior e ainda a gama de temperaturas para o respetivo mês.

Tabela 2 – Caracterização climática do local.

Zona climática	I1 – V3
Altitude	55 m
Número de graus-dia	979
Duração da estação de aquecimento	5,1 meses
Temperatura média da estação de aquecimento	11,0°C
Temperatura média da estação de arrefecimento	22,2°C

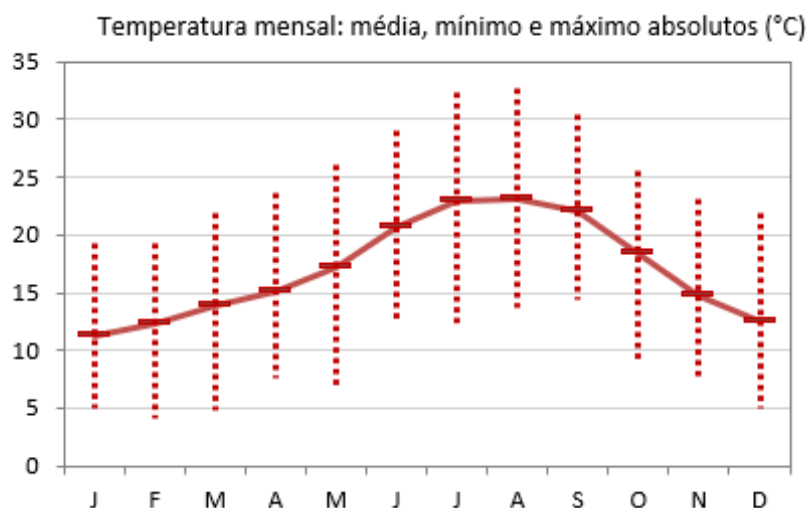


Figura 18 – Temperatura média mensal, mínimos e máximos (Direção Geral de Energia e Geologia, n.d.-c).

3.1.1 Organização funcional

O edifício divide-se em três pisos, sendo constituído por um piso enterrado, um piso térreo e um piso superior. Na Tabela 3 encontram-se sintetizados os espaços presentes no edifício e a área. No caso do pé direito, o valor medido aquando do levantamento foi de 2,70 m para todos os compartimentos, contudo ainda acresce a espessura do teto falso.

Tabela 3 – Descrição dos espaços do edifício.

Organização funcional do edifício		
Piso	Espaço	Área [m ²]
Cave	Instalações sanitárias	17,84
	REGI	9,88
	Sala de imprensa	72,27
	Sala de jornalistas	29,51
	Sala de reuniões	93,51
Rés do chão	Copa	2,32
	Gabinetes	41,88
	Instalações sanitárias	19,03
	Receção	90,89
	Sala de espera	14,42
	Sala de estar	14,89
	Sala de reuniões	17,79
Primeiro piso	Copa	8,67
	Gabinetes	207,47
	Instalações sanitárias	13,77
	Sala de espera	11,55
Outros		143,93
Total		809,62

Na Figura 19, encontra-se a desagregação por área para cada tipo de espaços identificados, sendo de salientar que a tipologia que apresenta maior percentagem em termos de área são os gabinetes. Em segundo, encontram-se tipificados “outros” nos quais estão incluídos os corredores, escadas, salas de arrumos e ainda uma sala onde contempla um multibanco.

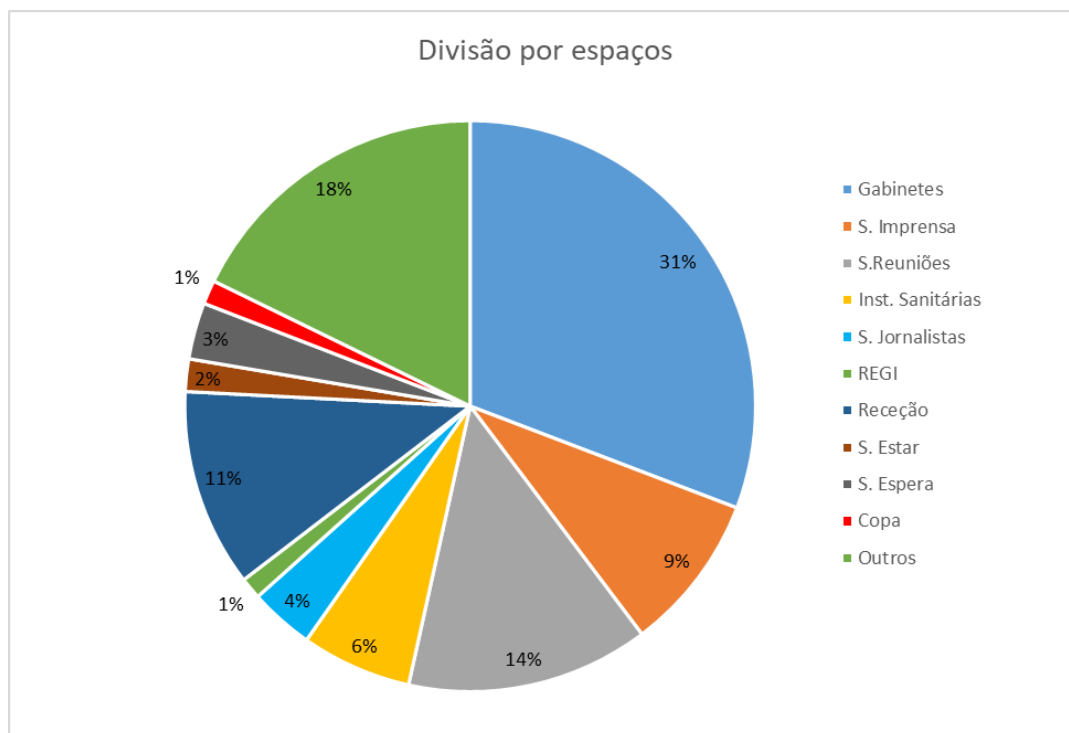


Figura 19 – Distribuição das diferentes áreas por tipo.

3.1.2 Caracterização dimensional do edifício

No presente ponto pretende-se caracterizar sumariamente a envolvente térmica do edifício. Na Tabela 4, apresentam-se as áreas correspondentes a cada elemento pela respetiva orientação:

Tabela 4 – Caracterização dimensional do edifício.

Levantamento dimensional [m ²]						
		Norte	Este	Sul	Oeste	Horizontal
Envolvente opaca	Parede exterior	168,10	175,80	150,24	168,58	
	Pavimento					665,14
	Pavimento térreo					378,60
	Cobertura					360,01
Envolvente envidraçada		8,04	29,77	25,90	36,99	18,58

Em conclusão, através da análise da Tabela 4 verifica-se que o edifício apresenta uma distribuição equivalente pelas diferentes orientações.

3.2 Caracterização térmica da envolvente

A envolvente térmica toma um peso significativo no comportamento térmico de um edifício uma vez que é através da mesma que se dão as trocas de calor com o meio ambiente.

O edifício alvo do estudo não possui qualquer memória descritiva sobre a constituição da envolvente térmica e o ano de construção também é desconhecido, o que se revelou, por vezes, limitante para a definição da envolvente. De forma a auxiliar a obtenção destes dados, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) disponibiliza dois livros úteis para a caracterização da envolvente. O primeiro da série ITE 50 intitulado de “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios” (Santos & Matias, 2006) e o segundo da série ITE 54 com o título de “Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios” (Santos & Rodrigues, n.d.) serão uma ajuda crucial uma vez que os mesmos apresentam diferentes soluções construtivas correntes.

Durante o levantamento realizado constatou-se uma diferença de cotas de pavimento e nas espessuras das paredes o que leva a concluir que existiu uma ampliação do edifício, devido a esse facto, considerou-se uma caracterização da envolvente opaca em duas partes, a parte antiga e parte nova. Desse modo, nos pontos seguintes pretende-se definir os pormenores construtivos para cada uma destas partes usadas na simulação.

3.2.1 Envolvente opaca

Neste ponto serão apresentadas as diferentes soluções construtivas assumidas para a envolvente térmica. Para caracterizar os diferentes coeficientes de transmissão térmica, é necessário ter em atenção as resistências térmicas superficiais uma vez que será o *software* a assumir o valor.

3.2.1.1 Paredes exteriores

A falta de informação da envolvente conduziu à caracterização da mesma através da localização do edifício. Por esse motivo, considerou-se ser constituído por pedra calcária uma vez que é predominante no meio onde se enquadra (Santos & Rodrigues, n.d.). Com o recurso ao livro da série ITE 54 do LNEC, analisaram-se todos os tipos de construção de modo a escolher o que melhor se adequa com a presente situação. O livro apresenta a solução de parede simples de alvenaria ordinária como uma tipologia de construção de edifícios entre os anos 1755 a 1940 que, presumivelmente, é o tipo de construção presente no edifício. Na Figura 20, apresentam-se os valores do coeficiente de transmissão térmica para as paredes exteriores.

PAREDES EXTERIORES ($R_{se} + R_{si} = 0,17 [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$)

Tipo de elemento	Espessura da alvenaria [m]			
	0,30	0,60	0,90	1,20
pedra de calcário	2,3	1,6	1,3	1,1

Figura 20 – Coeficiente de transmissão térmica U [W/(m².°C)] (Santos & Rodrigues, n.d.).

Os valores apresentados na Figura 20 contabilizam as resistências térmicas superficiais, dessa forma, houve a necessidade de as descontar porque o *software* de simulação entra em linha de conta com as mesmas, evitando serem contabilizadas duas vezes.

3.2.1.2 Paredes interiores

No caso das paredes interiores, identificaram-se três tipos apresentando espessuras diferentes e a terceira apresentava adicionalmente um isolamento acústico de cortiça. As três paredes encontram-se descritas nos pontos abaixo:

- Parede interior de 0,2 m;
- Parede interior de 1,2 m;
- Parede Interior com isolamento de cortiça (REGI).

A primeira tipologia de paredes, face às evidências no local considerou-se como sendo uma parede simples, como esquematizado na Figura 21, provavelmente, constituída por tijolo cerâmico furado totalizando uma espessura de 0,20 m. Como se observa na Figura 22, o valor de coeficiente de transmissão térmica correspondente é de 1,3 W/(m².°C), consultado no livro da série ITE 50 do LNEC. Da mesma maneira que acontece no anterior também é necessário ter em atenção as resistências térmicas superficiais.

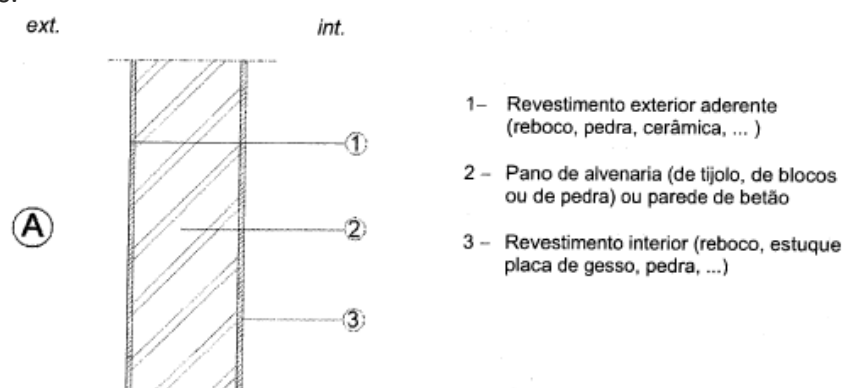


Figura 21 – Exemplo de uma parede simples (Santos & Matias, 2006).

Pano de alvenaria				Parede de betão
tijolo furado	blocos de betão normal	blocos de betão leve	pedra	
Espessura da alvenaria [m]				
0,20 a 0,24	0,20 a 0,30	0,20 a 0,30	0,40 a 0,60	0,10 a 0,20
1,3	1,9	1,3	2,9	3,6

Figura 22 – Parede simples com revestimentos aderentes em ambas as faces (Santos & Matias, 2006).

A segunda tipologia de parede interior encontrada resulta de uma ampliação ao edifício, na qual aparenta ter-se mantido as paredes existentes e apenas se criaram aberturas de modo a obter um elo de ligação entre ambos. Assim sendo, a parede interior apresenta uma constituição semelhante a uma parede exterior de 1,20 m. Em resultado, o coeficiente de transmissão térmica para este segundo caso foi de $0,97 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

A última tipologia de parede interior identificada é um caso particular e está afeta a uma sala onde é necessário garantir um bom isolamento acústico. Para tal, foi adicionado aglomerado de cortiça a uma parede interior de 0,2 m. As propriedades do aglomerado encontram-se na Figura 23.

Material	Massa volúmica aparente seca, ρ [kg/m ³]	Condutibilidade térmica, valor de cálculo, λ [W/(m · °C)]
ISOLANTES TÉRMICOS		
<i>lã mineral (MW)</i>		
lã de rocha	20 – 35	0,045
	35 – 100	0,040
	100 – 180	0,042
lã de vidro	8 – 15	0,045
	15 – 100	0,040
aglomerado de cortiça expandida (ICB)	90 – 140	0,045

Figura 23 – Condutibilidades de alguns isolamentos térmicos (Santos & Matias, 2006).

O valor de coeficiente de transmissão térmica para o último caso foi de $0,51 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

3.2.1.3 Pavimento térreo

No caso do pavimento térreo, tal como nos anteriores, a falta de informação tornou-se um obstáculo na determinação do tipo de materiais usados na construção. O material que se assumiu para o pavimento térreo foi apenas uma laje de betão com uma espessura de 0,25 m.

As características do material usado para se inserir na simulação encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Material usado no pavimento térreo (Santos & Matias, 2006).

Material	e [m]	λ [W/(m · °C)]
Laje de betão	0,25	2

Em conclusão, o coeficiente de transmissão térmica foi de 3,78 W/(m².°C).

3.2.1.4 Laje entre pisos

Os materiais assumidos para a laje entre pisos apresentam-se na Tabela 6. As placas de gesso cartonado correspondem ao teto falso, o espaço de ar não ventilado ao ar estagnado entre as placas e a laje e, por fim, uma laje de betão.

Tabela 6 – Constituintes da laje entre piso da parte antiga (Santos & Matias, 2006).

Material	e [m]	λ [W/(m.°C)]	Resistência térmica [(m ² .°C)/W]
Placa de gesso cartonado	0,018	0,25	0,072
Espaço de ar não ventilado	-	-	0,18
Laje de betão	0,25	2	0,125

A solução apresentada na Tabela 6 resulta num coeficiente de transmissão térmico de 1,94 W/(m².°C).

No edifício existe a particularidade de uma diferença de cotas de pavimento que resulta da ampliação do edifício. A parte ampliada apresenta uma espessura de teto falso superior a 0,30 m sendo necessário criar um novo compartimento para que o comportamento do ar nesse local seja simulado. Desta situação, resulta a caracterização do piso do novo compartimento como uma placa de gesso cartonado e o teto como uma laje de betão. O coeficiente transmissão térmica para as placas de gesso cartonado foi de 4,72 W/(m².°C) e 3,77 W/(m².°C) para a laje de betão.

Existe apenas um ponto importante de salientar relativamente à laje sobre a REGI, da mesma forma que nas paredes, o teto sobre a sala apresenta o aglomerado de cortiça com características apresentadas na Figura 23.

3.2.1.5 Cobertura

Na cobertura, o coeficiente de transmissão térmica assumido foi obtido por um documento realizado pela Agência para a Energia, mais conhecida por ADENE, na qual é possível usar os valores da Figura 24 para a coberturas quando desconhecida a sua constituição.

SOLUÇÃO	
Pavimentos (fluxo descendente)	
Pavimento Leve ⁽¹⁾	2,20
Pavimento Pesado ⁽²⁾	3,10
Coberturas (fluxo ascendente)	
Cobertura Leve Inclinada ⁽³⁾	3,80
Cobertura Pesada Inclinada ⁽²⁾	3,40
Cobertura Pesada Horizontal ⁽²⁾	2,60
⁽¹⁾ Pavimento de madeira do tipo barrotes e soalho sem tecto interior	
⁽²⁾ Betão	
⁽³⁾ Cobertura de madeira fortemente ventilada	

Figura 24 – Tabela de coeficientes de transmissão térmica (ADENE, n.d.-b).

No caso do edifício o coeficiente de transmissão térmica utilizado foi de 2,60 W/(m².°C).

3.2.2 Envolvente envidraçada

No caso da envolvente envidraçada o levantamento permitiu recolher dados como o tipo de caixilharia, vidro, a espessura do vidro e, quando o caso, proteções solares interiores ou exteriores.

Na Tabela 7, espaço a espaço, apresentam-se os envidraçados e características dos vidros. A primeira coluna refere-se ao local onde existe o envidraçado, a segunda identifica a tipologia do vidro como sendo simples ou duplo. Na terceira coluna enumeram-se as proteções interiores, na quarta apresentam-se as espessuras do vidro e ainda a espessura da caixa de ar, no caso de se tratar de um vidro duplo. Por fim, na última coluna caracteriza-se a orientação do vão envidraçado.

Tabela 7 – Dados recolhidos no local sobre envolvente envidraçada.

Zona	Tipo de vidro	Proteções	Espessura de vidro [mm]	Orientação
Piso -1				
Sala de reuniões	Simplex	-	4	N
Piso 0				
Sala de espera	Simplex	-	4	O
Sala de reuniões	Duplo	Listas Verticais	4-8-4	S/O
Sala de arrumos	Duplo	Listas Verticais	4-8-4	S
Sala de pessoal auxiliar	Duplo	Tela perfurada	4-8-4	S

Gabinete	Duplo	Tela perfurada	4-8-4	S
Sala de estar	Duplo	Tela perfurada	4-8-4	E
Gabinete	Duplo	Tela perfurada	4-8-4	E/S
Piso 1				
Gabinete	Duplo	Cortina	4-8-4	O
Gabinete	Duplo	Cortina	4-8-4	O
Gabinete	Duplo	Tela perfurada	4-8-4	O
Gabinete	Duplo	Tela perfurada	4-8-4	O
Sala de espera	Duplo	-	4-8-4	N
Gabinete	Duplo	Tela perfurada	4-8-4	N/E
Gabinete	Duplo	Cortina	4-8-4	E
Gabinete	Duplo	Cortina	4-8-4	E
Gabinete	Duplo	Cortina	4-8-4	E
Gabinete	Duplo	Cortina	4-8-4	S
Gabinete	Duplo	Cortina	4-8-4	S
Gabinete	Duplo	Cortina	4-8-4	S/O
Escadas (Claraboia)	Duplo	-	-	-

O tipo de caixilharia usada nos envidraçados é de madeira como exemplificado na Figura 25. Os envidraçados do edifício não apresentam qualquer tipo de proteções nem sombreamento exterior.



Figura 25 – Exemplo de vão envidraçado do edifício.

Na ausência de informação específica, para caracterização térmica dos vãos envidraçados foi considerada a publicação do LNEC da serie ITE 50 (Figura 26). Os

coeficientes de transmissão térmica escolhidos para os vidros foram de 5,1 W/(m².°C) e 3,3 W/(m².°C) para o vão simples e duplo, respetivamente.

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	U _w ⁽¹⁾ [W/(m ² .°C)]	U _{wdn} ⁽²⁾ [W/(m ² .°C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
						Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	—	5,1	4,3	3,9	3,4
	2 (vidro duplo)		6	3,3	2,9	2,8	2,5
			16 16 low e ⁽³⁾	2,8 2,6	2,5 2,4	2,4 2,3	2,2 2,0
Duplo ⁽⁴⁾ (2 janelas)	1 (vidro simples) em cada janela		50 a 100 mm (distância entre janelas)	2,5	2,3	2,2	2,0

Figura 26 – Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais com caixilharia de madeira (Santos & Matias, 2006).

Para os demais parâmetros de caracterização, tais como, o fator solar do vidro para incidência normal e outro referente aos dispositivos de proteção, foi considerado os valores que constam no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 (O. do T. e E.-D.-G. de E. E. G. Ministério do Ambiente, 2013).

Na Figura 27, encontram-se os valores do fator solar do vidro para uma incidência normal ao vão sendo que no caso de estudo, face à falta de informação, optou-se por escolher o fator de 0,88, que corresponde a um vidro simples incolor de 4 mm e no caso do vidro duplo o valor escolhido foi de 0,78, o qual representa um vidro incolor de 4 a 8 mm + 4 mm.

Composição do vidro		$g_{L,vi}$
Vidro Simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
Vidro Duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm	0,78
	Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm	0,75
	Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm	0,60
	Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,55
	Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm	0,50
	Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm	0,45
	Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,52
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,40
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,35
	Tijolo de Vidro	0,57
	Fosco	(1)

(1) – Nas situações de vidro fosco, podem ser utilizados valores de fator solar correspondes às soluções de vidro incolor de igual composição.

Figura 27 – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{L,vi}$ (O. do T. e E.-D.-G. de E. E. G. Ministério do Ambiente, 2013).

A Figura 28, apresenta os valores correntes do fator solar de vão envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar.

Tipo de Proteção		g_{Tvc}					
		Vidro Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
Proteções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

Figura 28 – Valores correntes do fator solar de vão envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc} (O. do T. e E.-D.-G. de E. E. G. Ministério do Ambiente, 2013).

Uma vez que os fatores não caracterizam um vidro corrente foi necessário fazer essa alteração, para isso utilizou-se as fórmulas da Figura 29.

a) para vidro simples

$$g_T = g_{L,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.85}$$

b) para vidro duplo

$$g_T = g_{L,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.75}$$

Figura 29 – Formulas para determinar o fator solar global (O. do T. e E.-D.-G. de E. E. G. Ministério do Ambiente, 2013).

A informação necessária para caracterizar os vão envidraçados foi apresentada anteriormente, mas de modo a condensar toda a informação apresenta-se a Tabela 8.

Tabela 8 – Resumo dos coeficientes dos vãos envidraçados.

Designação	U [W/(m ² .°C)]	g _{L,vi}	g _{Tvc}	g _T
Vidro 1 (S. Reunião)	5,1	0,88	-	0,88
Vidro 2 (Listas Verticais)	3,3	0,78	0,47	0,4888
Vidro 3 (Tela Perfurada)	3,3	0,78	0,38	0,3952
Vidro 4 (Cortina)	3,3	0,78	0,39	0,4056
Vidro 5 (S. Espera p1)	3,3	0,78	-	0,78
Vidro 6 (Claraboia)	3,7	0,78	-	0,78

3.2.3 Conclusões sobre a qualidade térmica da envolvente

Na Tabela 9, efetua-se a comparação entre os valores assumidos e os regulamentares para a envolvente térmica.

Tabela 9 – Comparação com os requisitos regulamentares.

Requisitos regulamentares			
	U [W/(m ² .°C)]	U _{máx} [W/(m ² .°C)]	Conformidade
Parede Exterior	2,3	0,7	Não cumpre
	1,6		
	1,3		
	1,1		
Cobertura	2,6	0,5	Não cumpre
Vão envidraçados	5,1	4,3	Não cumpre
	3,7		Cumpre
	3,3		Cumpre

Por análise da Tabela 9, verifica-se que a envolvente opaca não cumpre com os requisitos regulamentares, permitindo margem para melhorias. No que concerne aos envidraçados, na sua maioria encontram-se dentro dos valores regulamentares.

3.3 Equipamentos elétricos

Os equipamentos elétricos identificados aquando do levantamento apresentam-se sintetizados na Tabela 10 assim como, as respetivas potências elétricas.

Tabela 10 – Lista de equipamentos identificados.

Equipamento elétrico	Potência elétrica [W]
Antena de telecomunicações	2000
Bastidor	250
Box	30
Colunas	20

Computador	200
Detetor de metais	30
Frigorífico	100
Impressora	700
Jarro elétrico	1000
Máquina de água	640
Máquina de café	1500
Micro-ondas	1000
Monitor	100
Multibanco	600
Projeter	200
Raio-x (Rapiscan)	920
Televisão	100
Torradeira	850

3.4 Iluminação

A diversidade de espaços do edifício leva a que existam necessidades diferentes de iluminação, assim os grandes grupos de iluminação encontram-se resumidos na Tabela 11.

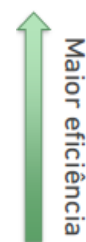
Tabela 11 – Potência unitária da iluminação do edifício.

Tipo de iluminação	Potência Unitária [W]
CDL	18
DULUX	9
	22
Halogéneo	35
LED	7
	17
	18
PLC	13
	26
PLL	18
	55
Projetores LED	105
TLD	18
	36
	58

A Tabela 12, apresenta a potência total instalada distribuída pelas diferentes tecnologias.

Tabela 12 – Potência total instalada.

Tecnologia	Potência instalada [W]	%
LED	269	1
Fluorescente compacta	1 336	7
PLC	2 992	16
Fluorescente tubular	12 327	65
Halogéneo	2 065	11



3.5 Sistemas de climatização

No que respeita à climatização, foram encontradas muitas unidades do tipo *splits* e ainda alguns sistemas do tipo *Variable refrigerant flow* (VRF) na cobertura do edifício. No caso das unidades do tipo *split*, estas estão conectadas apenas a uma unidade interior, resultando assim uma divisão em duas partes:

- Unidade exterior: encontra-se o compressor, a válvula de expansão e condensador/evaporador dependendo do ciclo;
- Unidade interior: encontra-se o ventilador e o condensador/evaporador consoante o ciclo.

O sistema VRF permite ter várias unidades interiores ligadas à mesma máquina exterior. Na Figura 30, demonstra-se o aspeto de uma parte da cobertura do edifício na qual se constata a presença de várias unidades exteriores de climatização.



Figura 30 – Aspeto da cobertura do edifício.

Na Tabela 13, encontram-se alguns dados técnicos dos equipamentos de climatização do tipo *split* identificados neste edifício.

Tabela 13 – Dados técnicos das unidades do tipo *split*.

Unidades *Split*

Marca	SANYO	LG	SANYO
Modelo	SAP-FT186QHS5	V12AH (AV-H126EL0)	SAP-C128EHA
Quantidade	1	1	3
Pot. Aquecimento [kW]	6,05	3,80	4,1
Pot. Arrefecimento [kW]	5,00	3,52	3,4
Coeficiente de Desempenho (COP)	2,89	2,53	2,99
Rácio de Eficiência Energética (EER)	2,44	2,71	2,68
Fluido	R22	R410A	R22
Ano	2000	-	2000

Unidades Split

Marca	DAIKIN	Mitsubishi	LG
Modelo	RXS25L3V1B	MUFZ-KJ35VE	AUUH126C
Quantidade	3	1	2
Pot. Aquecimento [kW]	4,00	4,30	3,96
Pot. Arrefecimento [kW]	3,50	3,50	3,52
COP	4,76	3,91	2,64
EER	3,89	3,72	2,15
Fluido	R410A	R410A	R410A
Ano	2018	2018	-

Unidades Split

Marca	SANYO	GATSU	HITACHI
Modelo	SAP-C126QH5	GIA-FO-12L01-R32	RAC-50FPA
Quantidade	1	1	1
Pot. Aquecimento [kW]	4,00	3,80	6
Pot. Arrefecimento [kW]	3,45	3,52	5
COP	3,01	3,96	3,61
EER	2,67	3,52	3,31
Fluido	R22	R32	R410A
Ano	1997	2019	-

A Tabela 14, demonstra os dados técnicos das unidades do tipo VRF, que foram usados para a simulação.

Tabela 14 – Dados técnicos das unidades do tipo VRF.

Unidades VRF

Marca	HITACHI	HITACHI	HITACHI
Modelo	RAS-5HQE5	RAS-5HQE5	RAS-?HQE?
Espaços Servidos	REGI / Sala Imprensa	S. Jornalistas/S. Imprensa	Sala Jornalistas
Pot. Aquecimento [kW]	14,40	14,40	10,10
Pot. Arrefecimento [kW]	12,80	12,80	9,41
COP	2,97	2,97	2,97
EER	2,68	2,68	2,68
Fluido	R22	R22	R22

Unidades VRF

Marca	DAIKIN	HITACHI	HITACHI
Modelo	RXYSQ8TMY1B	RAS-10FS2	RAS-8FS2
Espaços Servidos	Sala Imprensa	Receção e Gabinetes	Sala Reuniões
Pot. Aquecimento [kW]	25,00	32,55	26,05
Pot. Arrefecimento [kW]	22,40	29,05	23,25
COP	4,2	3,39	3,26
EER	3,30	2,74	2,74
Fluido	R410A	R22	R22

3.6 Perfis de utilização

Os perfis de utilização pretendem representar o funcionamento do edifício, assim aquando do levantamento pretendeu-se adquirir o máximo de informação para esboçar de forma mais realista o seu funcionamento. No caso em concreto, traçaram-se os seguintes perfis:

- Gabinetes: 5 dias/semana das 9:00 horas às 18:00 horas;
- Receção: 7 dias/semana durante 24 horas, sendo que no período noturno e ao fim de semana apenas existe o segurança.
- Sala de imprensa, jornalista e de reuniões: nestes casos como a utilização dos espaços é esporádica, considerou-se apenas uma utilização por semana.

Esta informação poderá ser mais tarde confirmada recorrendo às medições elétricas.

3.7 Medições

No presente subcapítulo expõe-se as medições elétricas efetuadas aos quadros elétricos do edifício, bem como as medições de temperatura e humidade relativa realizadas em determinadas salas.

3.7.1 Medições elétricas

As medições elétricas revelam-se fundamentais para caracterizar melhor o edifício, uma vez que se consegue desagregar os consumos em diversos pontos. A ampliação do edifício apresentada anteriormente torna-se mais uma vez explícita porque a repartição que se encontrou nos quadros elétricos demonstra essa divisão. Isto é, a desagregação dos quadros elétricos encontra-se da seguinte forma:

- Parte Antiga:
 - Piso -1 – Cave;
 - Piso 0 – Rés do chão;
 - Piso 1 – Primeiro andar.
- Parte Nova – contempla os 3 pisos.

Assim, as medições elétricas realizaram-se nos pontos anteriores permitindo efetuar a desagregação do consumo e avaliar possíveis fontes de excesso de consumo.

A primeira medição realizada permitiu estabelecer o consumo total do edifício, como se demonstra na Figura 31.

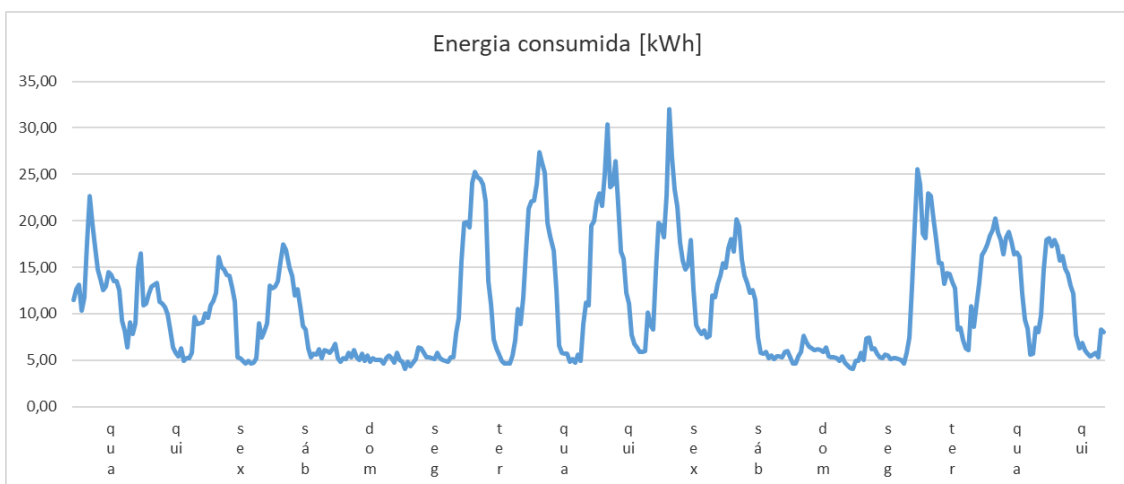


Figura 31 – Energia consumida pelo edifício.

As medições elétricas referentes à parte antiga encontram-se representadas nas Figura 32, Figura 33 e Figura 34. Estas, além de demonstrarem o perfil de consumo, permitem quantificar a energia consumida por piso durante o período de medições. Foram realizadas medições curta duração (cerca de duas semanas), o que permitiu ter apenas uma noção da tendência de consumo energético. Daqui resultou uma pequena “fotografia” dos consumos, o que pode não ser representativo do resto do ano.

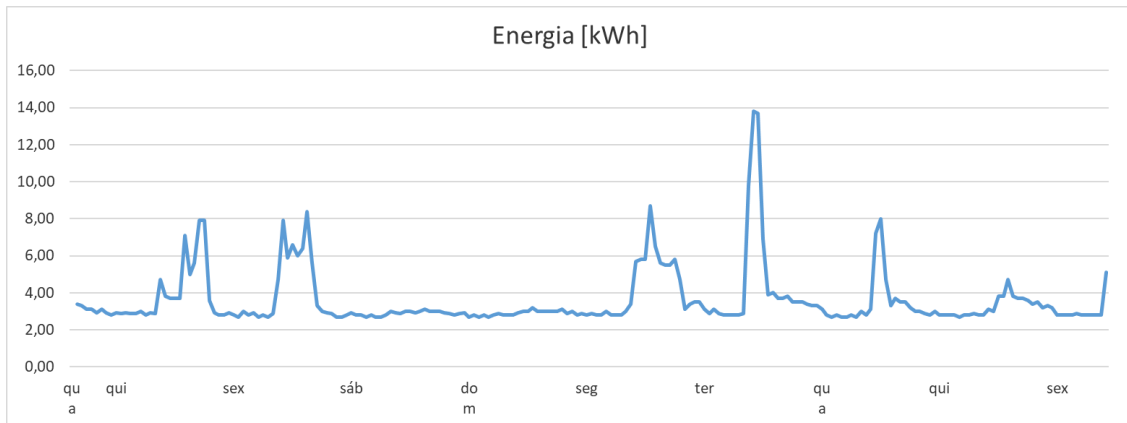


Figura 32 – Energia consumida na cave da parte antiga.

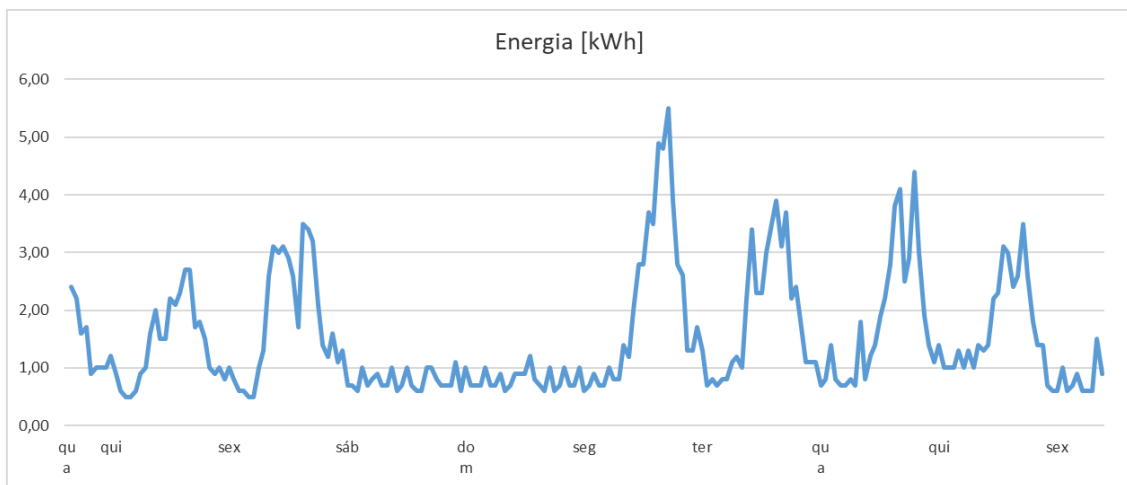


Figura 33 – Energia consumida no rés do chão da parte antiga.

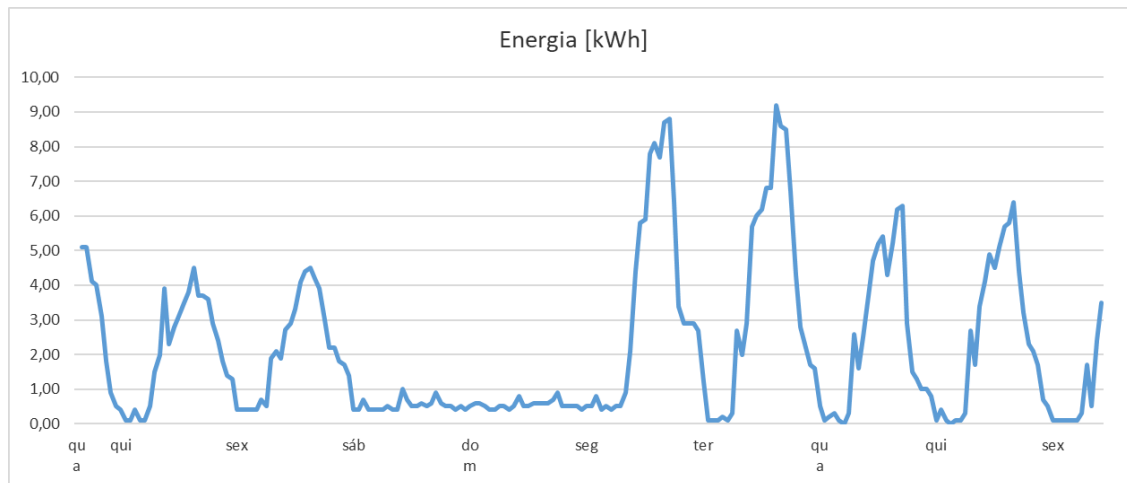


Figura 34 – Energia consumida no primeiro andar da parte antiga.

A Figura 35, representa a energia consumida pela parte nova no período de medições.

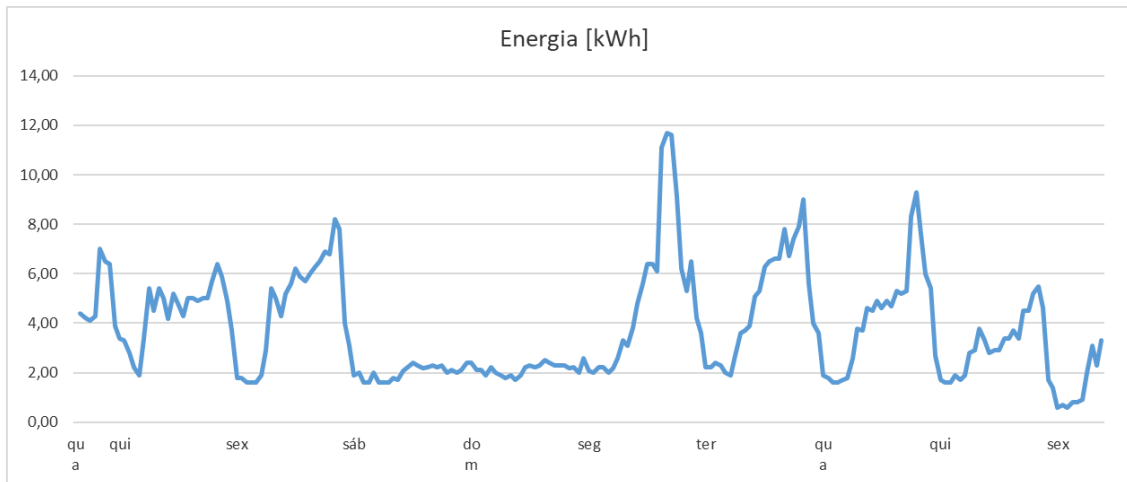


Figura 35 – Energia consumida na parte nova do edifício.

A Figura 36, demonstra a energia consumida nos diferentes pisos de forma acumulada.

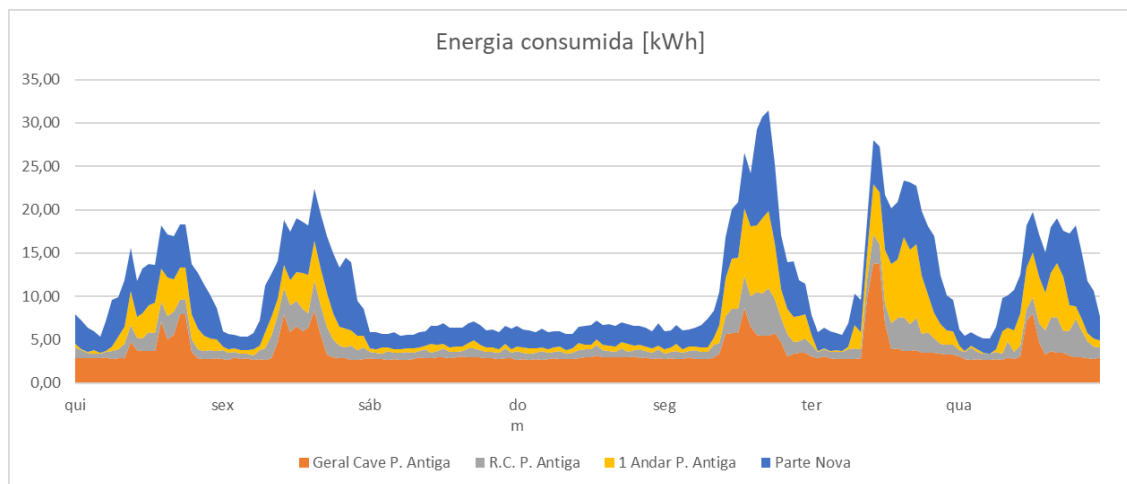


Figura 36 – Energia consumida acumulada no edifício.

Na Tabela 15, encontram-se os valores de consumo e o respetivo peso relativo dos quadros elétricos medidos.

Tabela 15 – Resumo das medições efetuadas.

Quadro resumo das medições elétricas			
Consumo dos Quadros Elétricos [kWh]		Consumo Global [kWh]	Peso Relativo [%]
Parte antiga	Cave	713	32,95
	Rés do chão	300	13,85
	Primeiro andar	423	19,45
Parte Nova		728	33,62

Outra forma de apresentar e avaliar os consumos dos diferentes pisos encontra-se na Figura 37. Como se pode observar os dois grandes consumidores de energia dependem do quadro da parte nova e no quadro da cave (parte antiga). No caso da parte nova a

medição do consumo refere-se a três pisos e a cave apresenta pendurada uma antena de telecomunicações justificando parte do consumo.

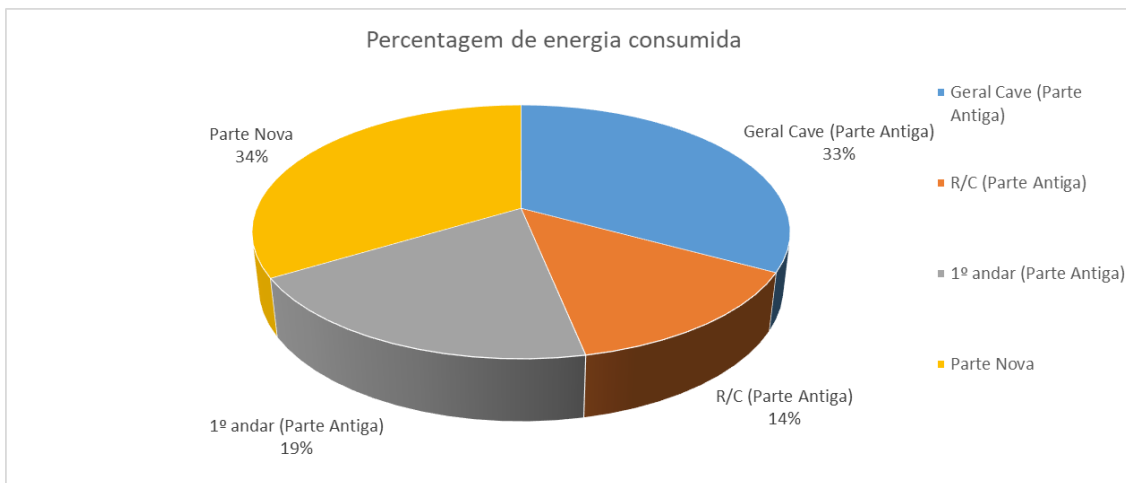


Figura 37 – Consumo dos diferentes pisos em percentagem.

3.7.2 Medições de temperatura e humidade relativa

Por fim, realizaram-se medições para avaliar o conforto térmico em determinados pontos. Os locais escolhidos para as medições foram os seguintes:

- Sala de Jornalistas;
- RÉGIE;
- Sala de Conferências;
- Sala de Reuniões.

Nos parâmetros medidos, todos os casos à exceção da temperatura na sala de reuniões, encontravam-se entre valores termicamente confortáveis. Na Figura 38, encontra-se representado a temperatura no interior da sala com a linha azul e banda da mesma cor o intervalo recomendado face à estação de verão. Através da análise da Figura 38, verifica-se que a temperatura no interior da sala ronda valores inferiores aos aceitáveis.

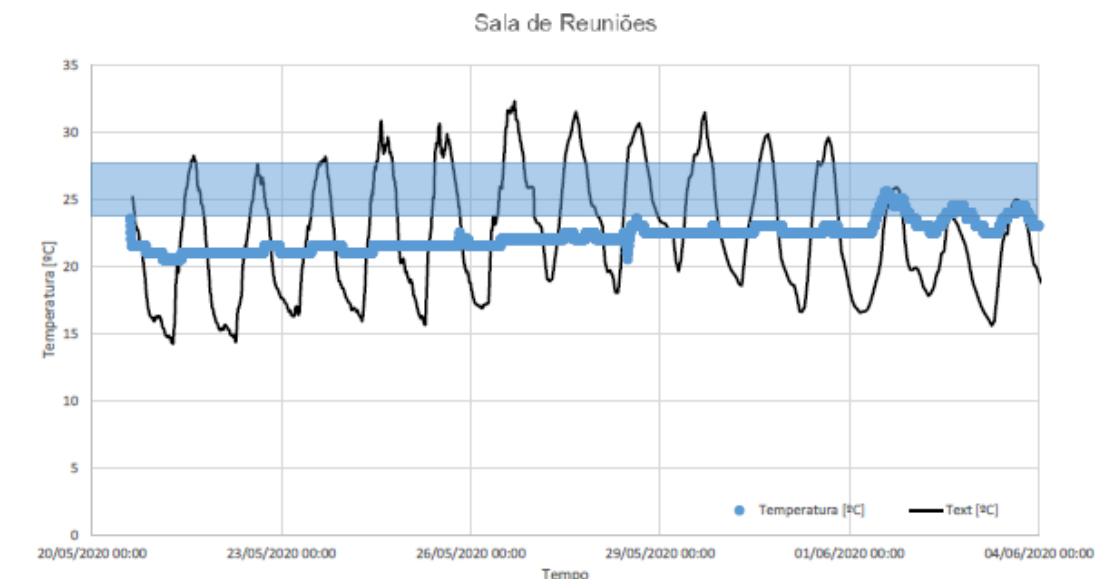


Figura 38 – Temperatura no interior da Sala de Reuniões.

Na Tabela 16, estão referidos os valores máximos, mínimos e médios de temperatura e de humidade relativa apenas para os períodos em que há ocupação, ou seja, das 9:00 à 20:00.

Tabela 16 – Valores medidos de temperatura e humidade relativa do ar interior para os períodos de ocupação.

Medições de temperatura e humidade relativa						
Espaço	Temperatura [°C]			Humidade relativa [%]		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Sala de jornalistas	21,5	26,5	24,6	50,5	63,0	58,9
RÉGIE	18,0	27,0	24,8	48,5	62,0	57,9
Sala de conferências	21,5	28,0	24,4	49,5	63,0	58,7
Sala de reuniões	20,5	25,0	22,4	55,5	73,0	67,0

Na Tabela 16, verifica-se que praticamente todas as salas onde foram realizadas as medições de temperatura e humidade têm valores aceitáveis para conforto térmico. Pontualmente, a sala de conferências atingiu valores de temperatura relativamente altos (superiores a 27°C), possivelmente devido à grande concentração de pessoas.

3.8 Modelo geométrico

A modelação de um edifício trata a sua representação a três dimensões, no qual se caracterizam os compartimentos do mesmo. A criação do modelo geométrico permite definir o volume de controlo a ser simulado, daí a importância de se definir corretamente o modelo. O *software* utilizado para a simulação foi o *SketchUp* por se tratar de uma ferramenta intuitiva, gratuita e com um *plugin* compatível com o *EnergyPlus*. O *OpenStudio* é uma extensão da popular ferramenta de modelação *SketchUp* que permite a modelação de edifícios com um menu de fácil adaptação.

Conjuga uma coleção de ferramentas para dar suporte à modelação de todo o edifício. A exportação do modelo para uma extensão *.idf* permite guardar toda a informação introduzida no modelo para que mais tarde o *EnergyPlus* consiga trabalhar sobre a informação.

Na Figura 39, encontra-se a interface principal do *SketchUp* com um retângulo a rodear as ferramentas do *OpenStudio*.

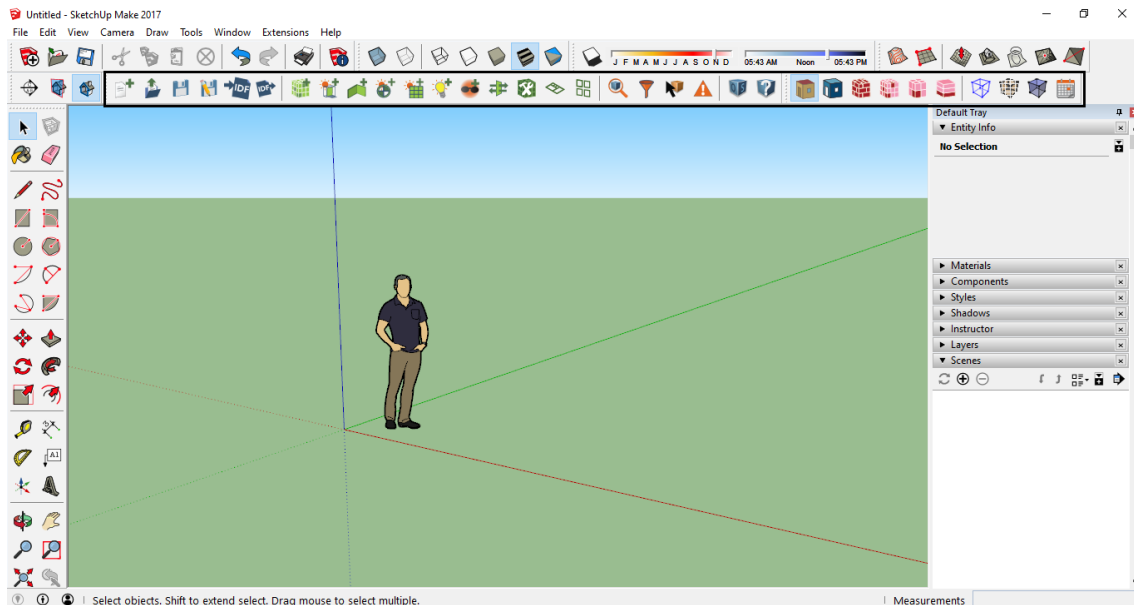


Figura 39 – Interface principal do *SketchUp*.

A geolocalização do modelo pretende que o edifício apresente a respetiva orientação solar, permitindo analisar o percurso solar ao longo dos dias e a iluminação natural que será usufruída pela envolvente envidraçada. Após a localização, começou-se a desenhar os compartimentos com consulta das plantas do edifício, como se demonstra na Figura 40. Ao usar a função *Create Spaces* permite a criação dos espaços sendo apenas necessário definir o pé direito e o número de andares que se pretende. No levantamento dos espaços encontrou-se um pé direito de 2,7 m, contudo para se contabilizar o espaço de ar acima do teto falso o valor varia. Na parte antiga o valor que se introduziu foi de 3,0 m uma vez que este contabiliza o espaço do teto falso.

Na parte nova a espessura do teto falso era superior a 0,3 m sendo necessário criar dois espaços diferentes, um com 2,7 m e um com 0,63 m.

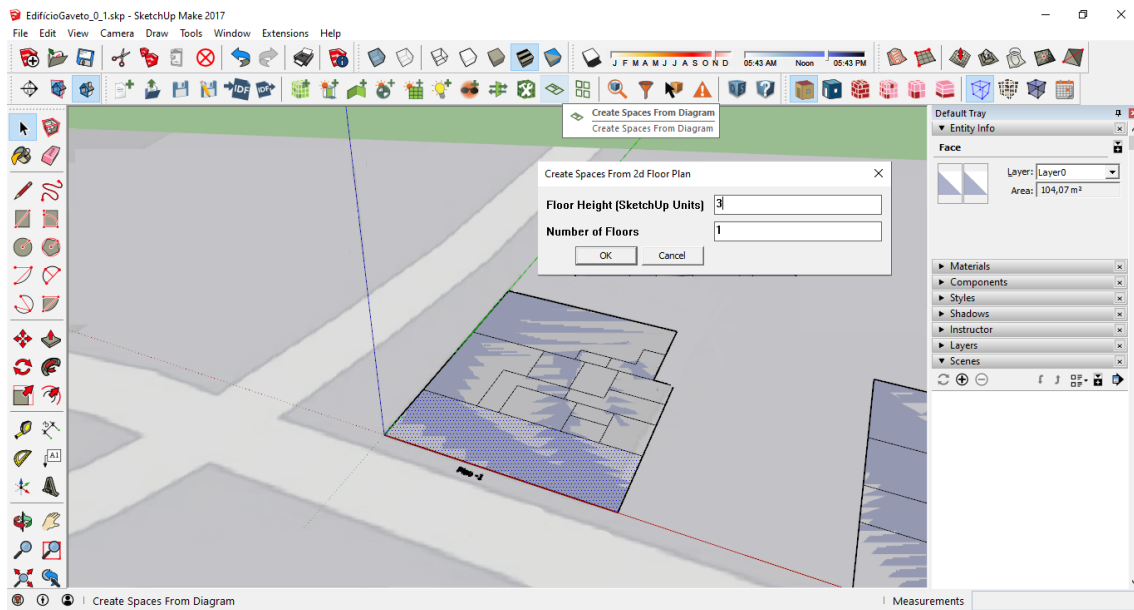


Figura 40 – Print do software demonstrando a função que auxilia a criação dos espaços.

Ao usar-se a função apresentada anteriormente para todas as superfícies surge o modelo sem portas e janelas. Após a criação dos compartimentos desenharam-se as portas e envidraçados. A claraboia tinha uma determinada inclinação, mas por limitação do software considerou-se plana.

Os espaços que se criaram foram considerados como zonas térmicas para que no *EnergyPlus* lhe sejam atribuídas determinadas particularidades.

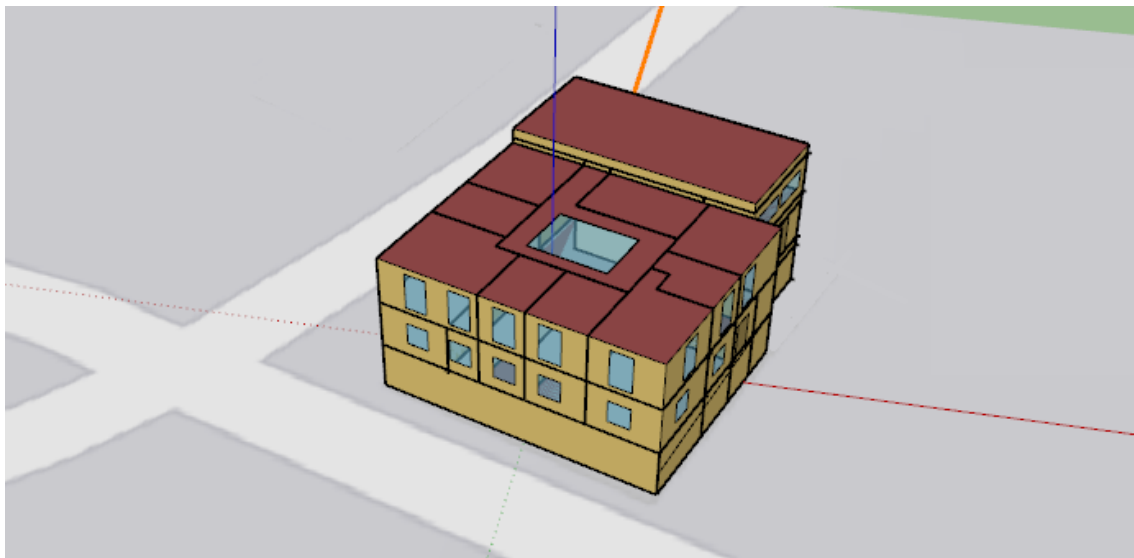


Figura 41 – Modelo geométrico do edifício.

Na Figura 42, é apresentada mais uma limitação do software, neste caso as linhas vermelhas delimitam um espaço dedicado às escadas. O vão de escadas é totalmente aberto para os três pisos, assim, de forma a se contornar esta situação optou-se por colocar uma parede nesses locais tendo propriedades idênticas às do ar.

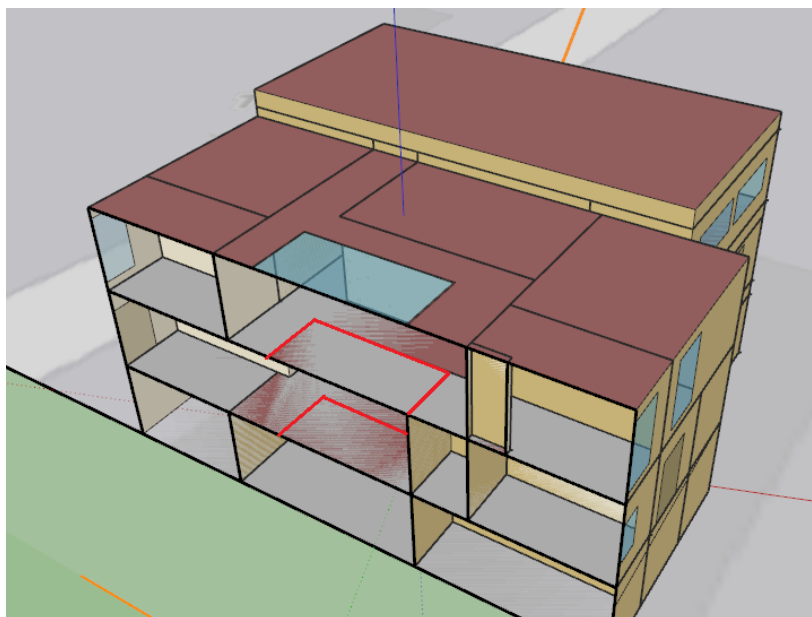


Figura 42 – Representação de uma limitação de *software*.

Por fim, recorre-se a mais uma função do *SketchUp* designada por *Surface Matching*, permite estabelecer a delimitação da envolvente. Assim, na Figura 43 observa-se a delimitação da envolvente térmica, a qual permite constatar que as paredes a verde representam a envolvente interior, as paredes a azul representa a envolvente exterior e as paredes a amarelo representam envolvente em contacto com o solo.

Após os passos apresentados, reúnem-se as condições para se exportar o modelo para um ficheiro com a extensão *.idf* compatível com o *EnergyPlus*.

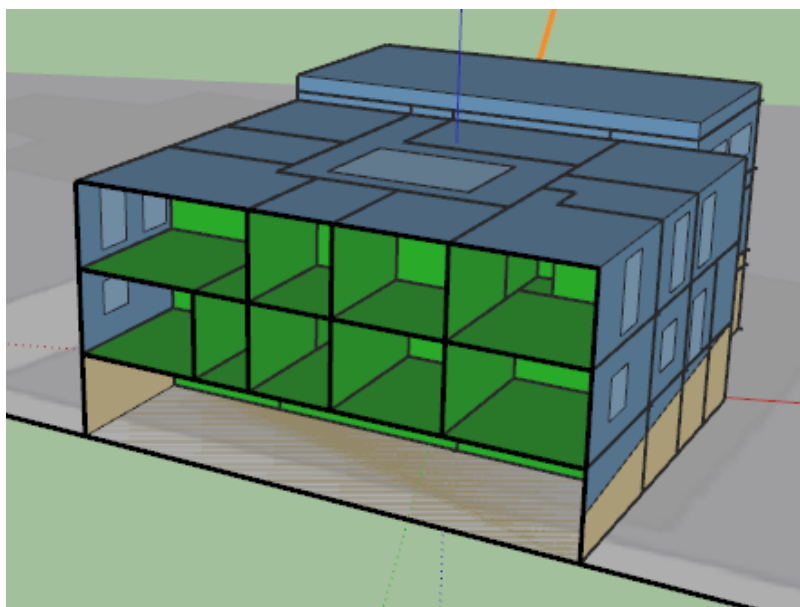


Figura 43 – Delimitação da envolvente térmica.

3.9 Modelação da simulação

No presente subcapítulo é efetuada uma contextualização com o *software* de simulação apresentando-se alguns tópicos de maior relevância a ter-se em conta durante o processo de modelação. Após exportar o modelo geométrico com o recurso do *plugin* do *SketchUp* para um ficheiro de extensão *.idf*, o *EnergyPlus* permite a leitura do mesmo e dar início à modelação. Na Figura 44, é apresentada a interface da ferramenta, observa-se o ficheiro de entrada exportado pelo *SketchUp* e ainda o ficheiro climático já apresentado anteriormente. A primeira simulação desenvolvida intitula-se de real uma vez que todo o funcionamento do edifício deve ser representado nesta situação. A calibração do modelo de simulação efetua-se com base nas medições elétricas explicando assim a necessidade efetuar-se a modelação da simulação real. As medições elétricas tornam-se revelantes para que o modelo seja calibrado, ou seja, tentar minimizar o erro da simulação. A parametrização dos dados de simulação efetua-se através editor de IDF dando-se assim início à modelação.

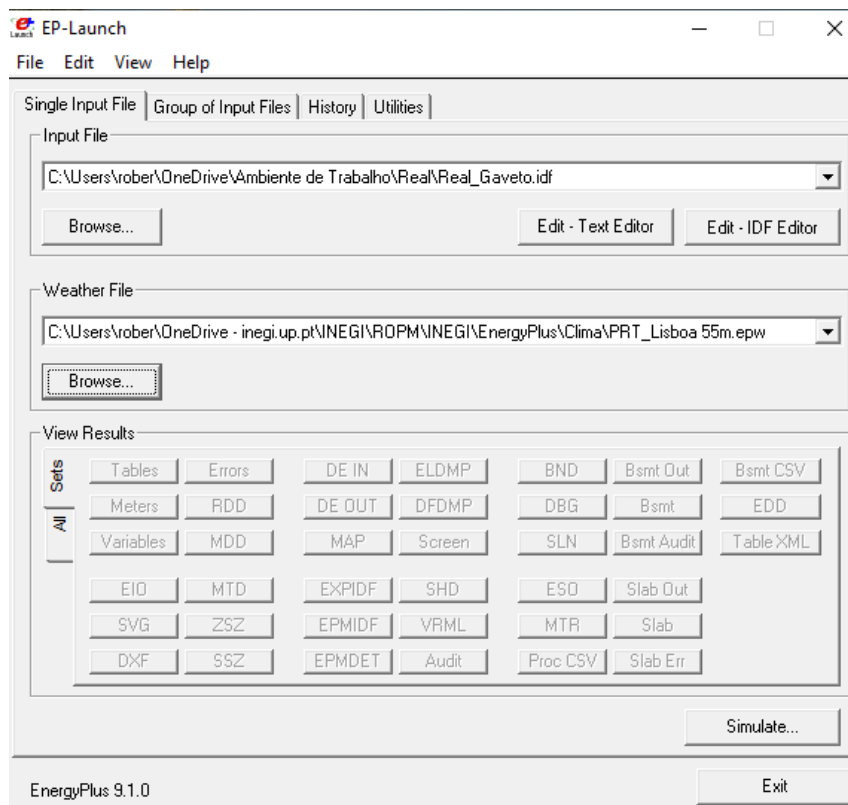


Figura 44 – Interface do *EnergyPlus*.

Em alguns casos específicos a modelação pode tomar proporções complexas porque existe uma infinidade de variáveis que influenciam o resultado final. Nas figuras seguintes tenta-se apresentar resumidamente os parâmetros que foram inseridos na simulação relativos ao edifício.

Na Figura 45, observa-se as variáveis de entrada para definir os perfis de utilização, como por exemplo dos equipamentos, iluminação e ocupação. Esses perfis de utilização baseiam-se na informação recolhida no levantamento.

Este espaço permite ainda definir valores constantes como por exemplo o caso da temperatura no interior dos espaços, isto é, pode-se criar um calendário na qual se insere o valor pretendido de temperatura que mais tarde associa-se ao termostato.

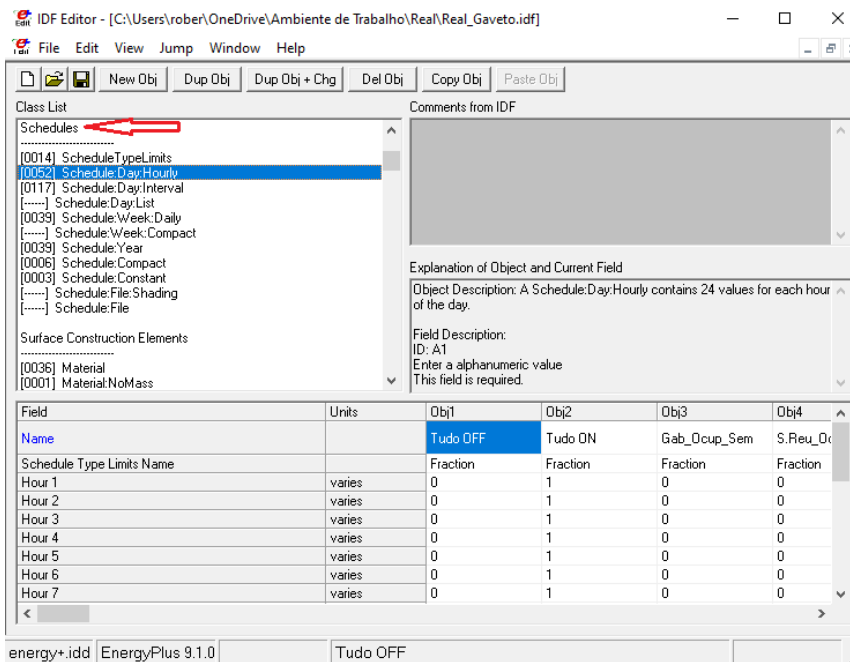


Figura 45 – Definição dos calendários de utilização.

A Figura 46, demonstra a localização das variáveis de entrada para os materiais construtivos. Aqui insere-se todos os materiais que constituem a envolvente, introduz-se as propriedades de caixa de ar para espaços não ventilados e, ainda, os envidraçados. Ainda nesta secção, criam-se as construções que podem ser constituídas por mais do que material.

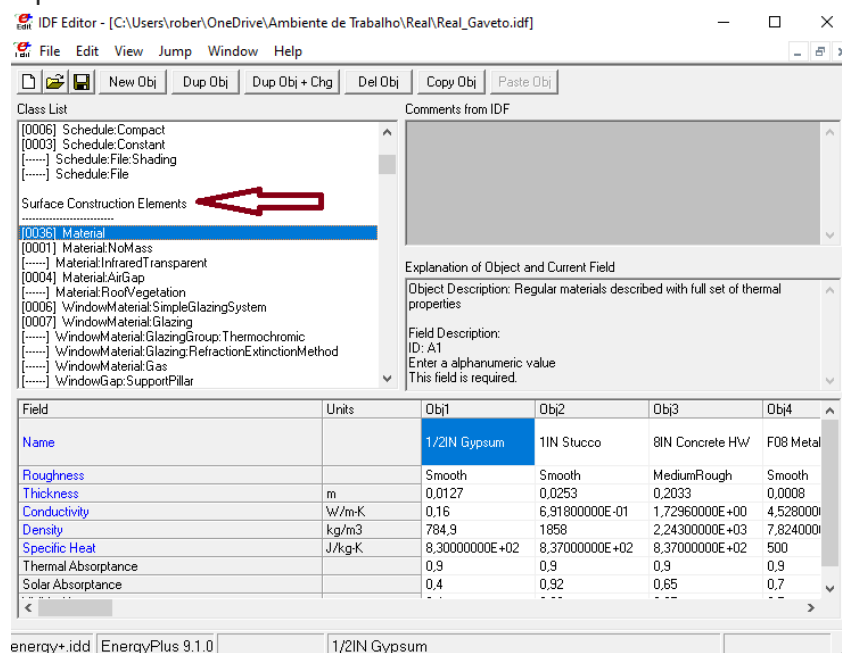


Figura 46 – Elementos construtivos.

As zonas térmicas definidas no modelo geométrico encontram-se representadas neste ponto, como se observa na Figura 47. Ainda nesta secção observam-se todas as superfícies criadas no modelo geométrico na qual é necessário associar a respetiva construção. Neste espaço também se define a construção para os envidraçados.

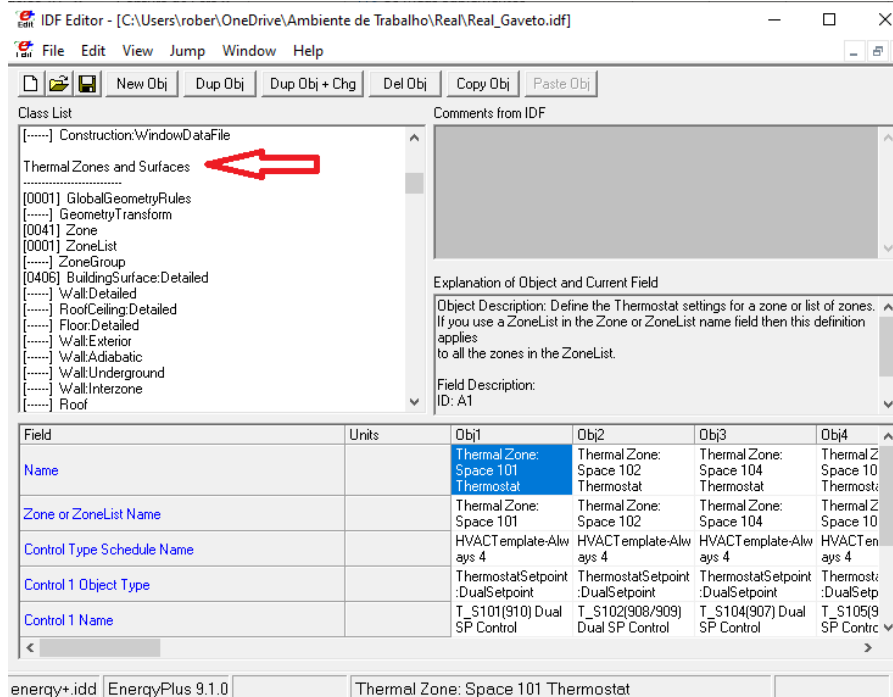


Figura 47 – Superfícies e zonas térmicas.

A ocupação dos espaços introduz-se no respetivo local com um horário previamente definido, como se observa na Figura 48. No que toca à iluminação e aos equipamentos elétricos o total das potências encontradas em cada zona introduz-se neste separador, sendo associando um respetivo horário de funcionamento.

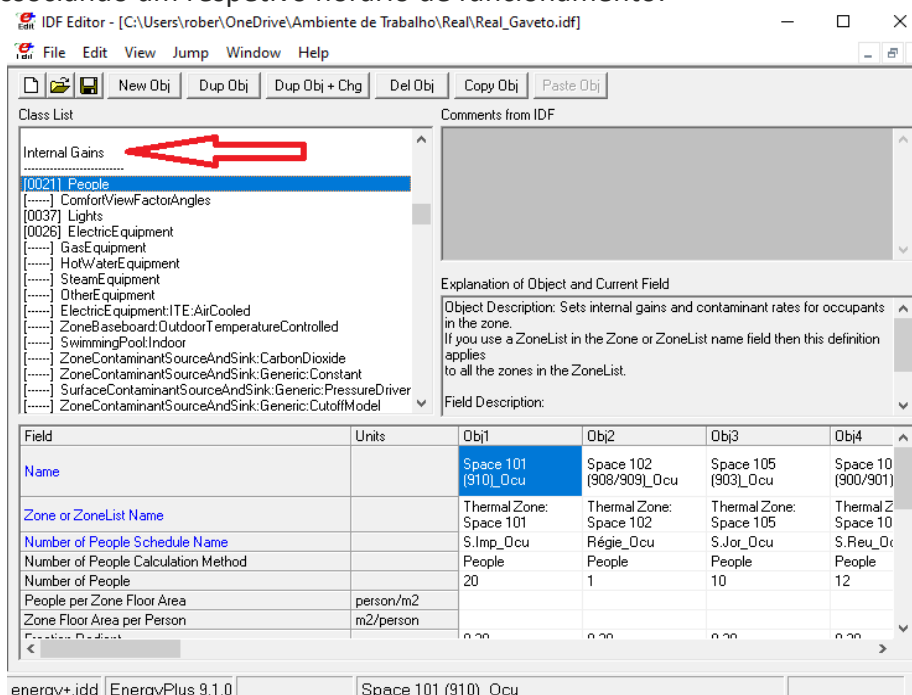


Figura 48 – Ganhos internos devido ocupação, iluminação e equipamentos elétricos.

Os sistemas de climatização introduzem-se através de um *template* como se observa na Figura 49.

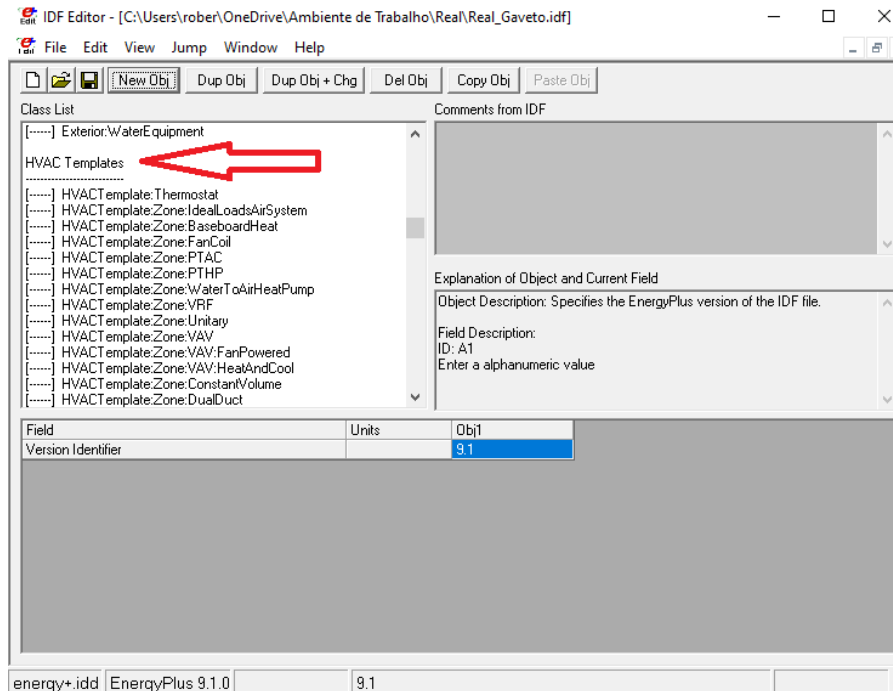


Figura 49 – *Templates* dos diferentes sistemas de climatização.

A Figura 50, apresenta os termostatos criados para cada espaço climatizado. Neste caso, devido à individualidade de sistemas, cada ocupante pode optar por escolher a temperatura que pretende para o seu gabinete, assim os *set-points* que melhor se enquadram foram 22°C e 23°C para aquecimento e arrefecimento, respetivamente.

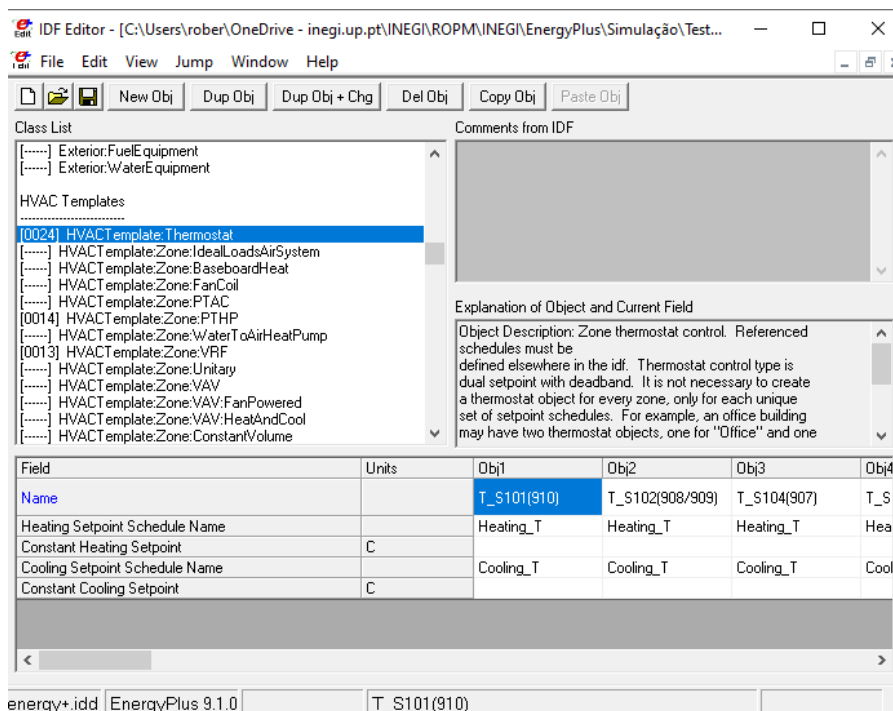


Figura 50 – Definição dos termostatos.

As unidades do tipo *split* tornam-se simples de ser inseridas na simulação porque apenas se cria um *template*, representado na Figura 51. Assim, introduz-se as características que se recolheram das unidades como por exemplo, a potência de aquecimento e arrefecimento. Associa-se um termostato e identifica-se o espaço que esta afeto.

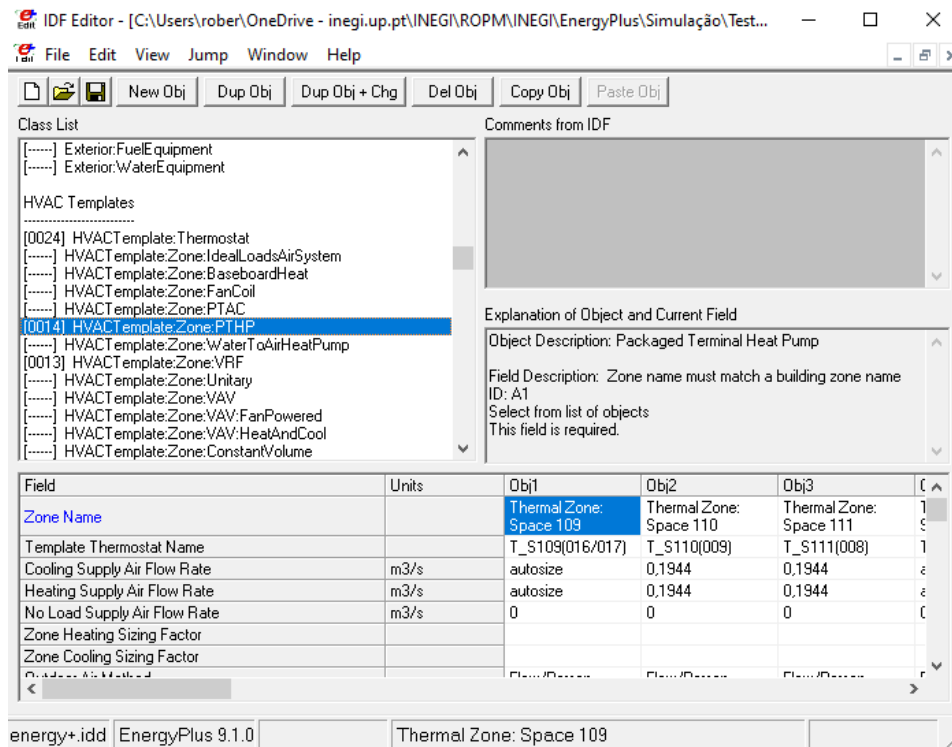


Figura 51 – Introdução das unidades *split*.

A caracterização das unidades do tipo VRF obriga à criação de dois *templates* referentes à unidade exterior e à unidade interior, intitulada como sistema e zona, respetivamente. A unidade exterior permite ter ligada várias unidades interiores daí ser considerada o sistema.

A caracterização da unidade interior passa por identificar a unidade exterior responsável, associar o termostato do espaço, inserir as propriedades da unidade interior e ainda um calendário que permite delimitar o intervalo de funcionamento. Estas unidades por vezes estão implementadas sobre o teto falso, o que dificulta averiguar quais as características e, no caso em estudo parte das unidades encontravam-se nessa situação daí assumir-se dados padrão. A Figura 52, demonstra a interface para se inserir a unidade interior.

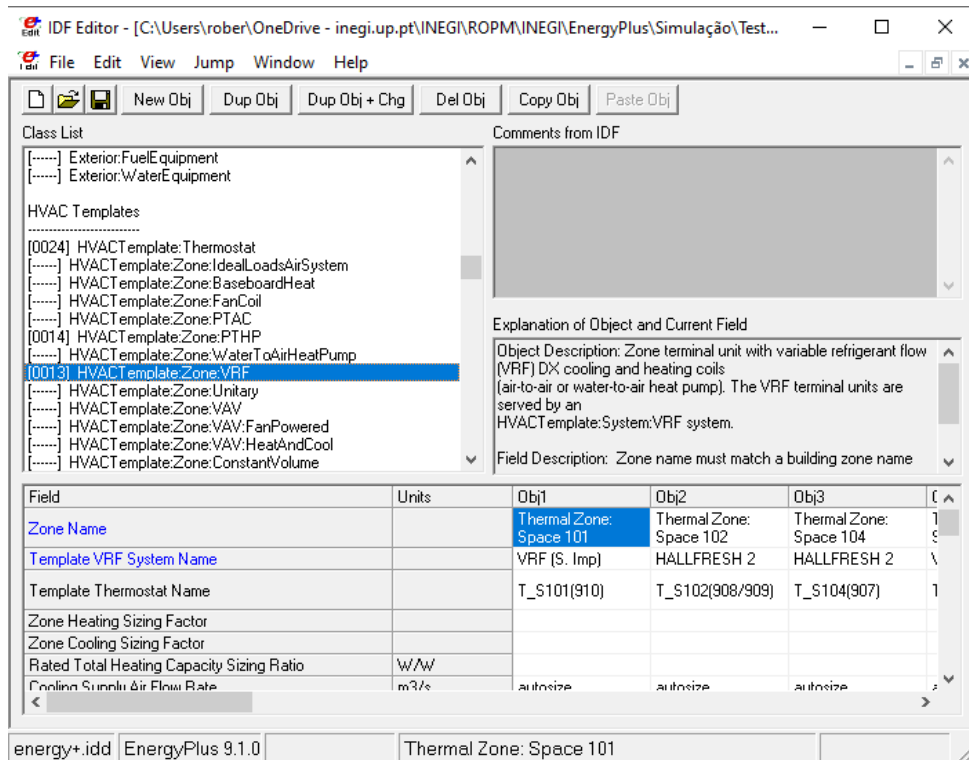


Figura 52 – Imagem explicativa sobre a unidade interior de um sistema VRF.

O caso da unidade exterior assemelha-se à introdução de um *split* inserindo as potências de aquecimento e arrefecimento, o calendário para avaliar a disponibilidade da unidade, entre outros fatores não apresentados. Na Figura 53, demonstra a interface para se inserir a unidade exterior.

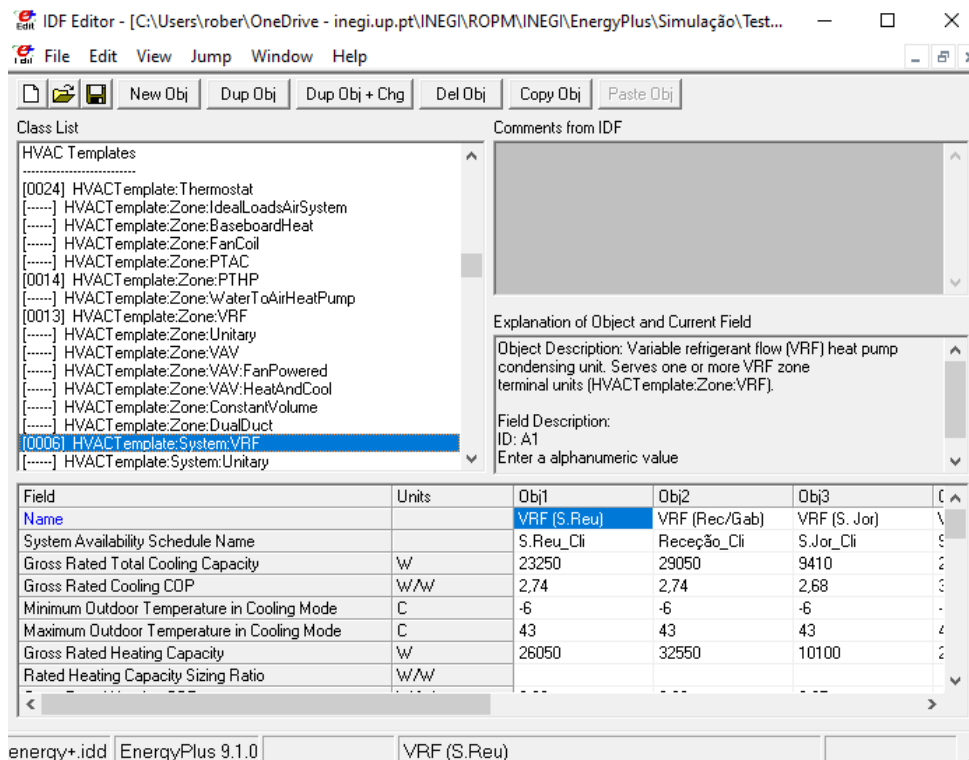


Figura 53 – Imagem explicativa sobre a unidade exterior de um sistema VRF.

Após se concluir a introdução de dados na simulação, encontram-se reunidas todas as condições para realizar a primeira simulação. Esta tem impacto ao nível dos *templates* porque os divide em vários separadores, representados na Figura 54 a vermelho.

Em resultado da primeira simulação surgiram ainda erros associados a alguns espaços, isto é, o edifício em estudo possui diferentes unidades a climatizar o mesmo espaço sendo necessário definir a prioridade dos equipamentos de climatização da mesma zona. A Figura 54 torna-se representativa dessa mudança.

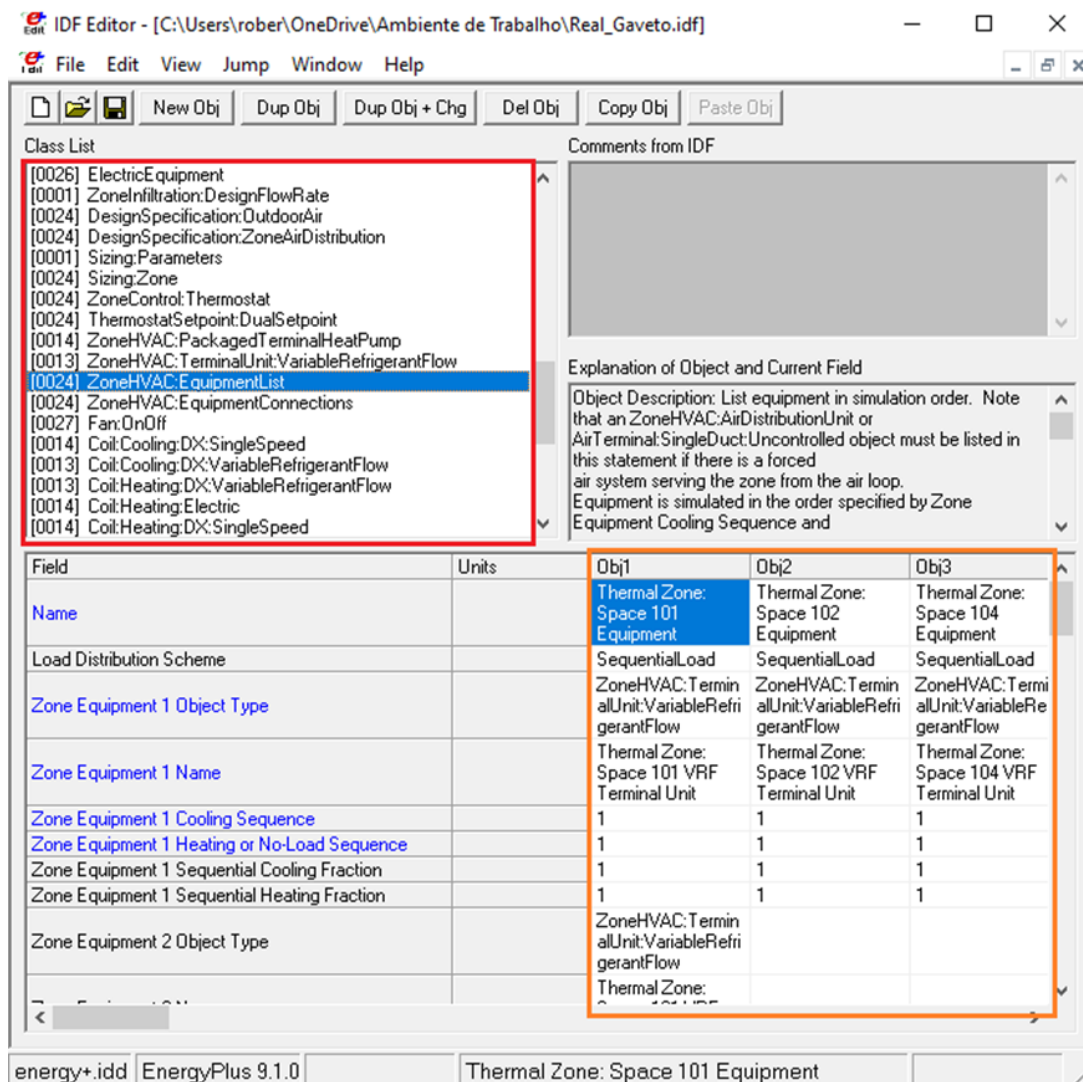


Figura 54 – Ajuste no nó de cada espaço relativamente aos equipamentos de climatização.

A resolução de erros deste tipo e de muitos outros que foram surgindo nas diversas tentativas levaram algum tempo até serem solucionados. Uma vez ultrapassados, a simulação encontra-se pronta para uma primeira análise de resultados.

Com a simulação nas condições de funcionamento próximo das reais existe o objetivo de aferir-se o modelo, para que a comparação entre os valores de consumo registados nas medições efetuadas e os consumos obtidos numericamente, resulte de uma diferença percentual inferior a 10%.

Em resultado da simulação, o valor do consumo energético encontrava-se com um erro acima do valor considerado aceitável e, face à incerteza de alguns perfis de utilização e por análise das medições elétricas, fizeram-se alguns ajustes.

As medições elétricas realizadas ocorreram durante nove dias tendo coincidido com um fim de semana e, na simulação contabilizou-se o mesmo número de dias. A comparação entre o valor medido nestes dias com o valor resultante da simulação encontra-se abaixo dos 10%, como se demonstra na Tabela 17.

Tabela 17 – Valor do erro em diferentes análises para nove dias de funcionamento.

		Consumo elétrico medido [kWh]	Consumo elétrico simulação[kWh]	Erro [%]
Parte antiga	Cave	713	768	7,62%
	Rés do chão	300	296	-1,28%
	Primeiro andar	423	515	21,63%
Parte nova		728	758	4,08%
Total		2164	2336	7,93%

Ao analisar com maior detalhe a Tabela 17, verifica-se que o consumo por piso se encontra dentro de valores aceitáveis quando comparado com o valor medido, exceto num caso. No caso do primeiro andar, o consumo obtido pela simulação é substancialmente maior do que o medido, resultando num erro de 21,63%. A interpretação para o erro dividiu-se em três pontos:

- A tipologia de espaços que depende do quadro elétrico é na grande maioria gabinetes;
- As medições elétricas são referentes a um ano atípico, existindo a possibilidade de teletrabalho;
- As medições foram realizadas durante o mês de junho o que leva a crer que na eventualidade algum funcionário do piso poderia estar de férias.

Face ao exposto anteriormente, realizou-se uma média dos consumos dos diferentes espaços pendentes desse quadro elétrico, resultando num valor de 53,711 kWh. Ao subtrair-se o valor anterior ao consumo simulado para o piso, a comparação do erro entre a simulação e as medições passa a ser de 8,94% em vez dos 21,63%. Com esta interpretação pretende-se demonstrar que na inoperacionalidade de um gabinete o erro associado ao primeiro andar passaria a encontrar-se dentro dos valores aceitáveis, dando credibilidade às justificações encontradas.

Em termos de conclusão, apresenta-se a Figura 55 que resume os dados obtidos em simulação para comparação com a Figura 37 de dados resultantes das medições. Na Figura 37, verifica-se que na parte antiga, a cave, o rés do chão e o primeiro andar correspondem a 33%, 14% e 19% do consumo total medido do edifício, respetivamente, e na Figura 55 as percentagens são de 33%, 13% e 22%, no que toca à simulação.

No que concerne à parte nova, o peso na Figura 37 é de 34% e na Figura 55 é de 32% de consumo. Em suma, a desagregação obtida por medição e por simulação encontram-se validadas.

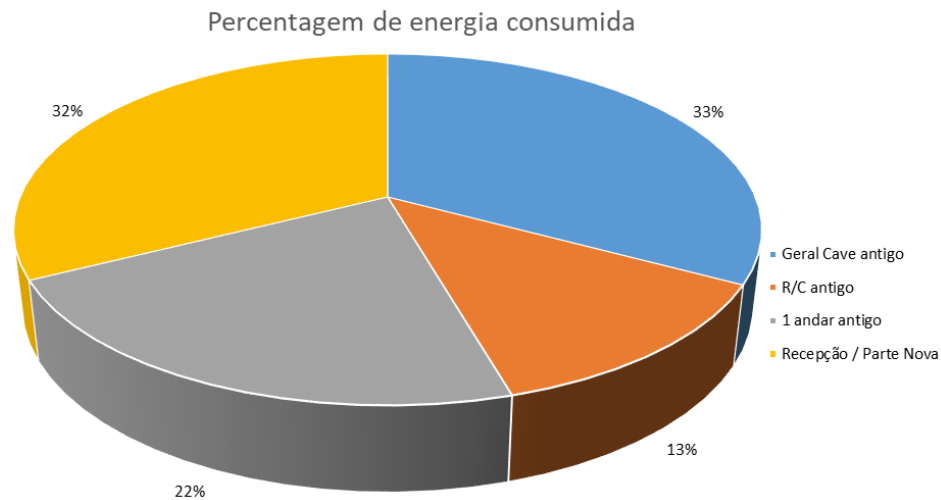


Figura 55 – Consumo elétrico dos diferentes pisos em percentagem.

3.10 Resultados da simulação

O consumo total do edifício obtido através da simulação foi de 85 538 kWh, sendo este valor o ponto de partida para avaliar o impacto de medidas de melhoria. Os resultados obtidos anteriormente, foram tratados de modo a obter a Figura 56 que retrata o consumo anual do edifício dividido pelas diferentes tipologias de consumo.

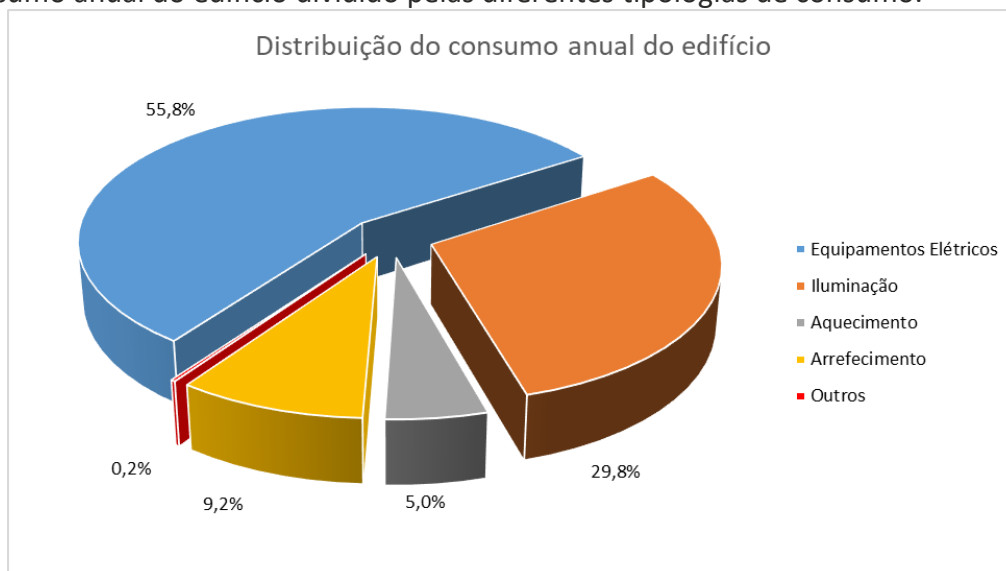


Figura 56 – Distribuição anual do consumo elétrico.

Observando a Figura 56, constata-se que a parcela dos equipamentos elétricos representa o maior consumo do edifício com 55,8%, seguindo-se a iluminação com 29,8% e a climatização com um peso total de 14,4%.

A evolução mensal do consumo de energia e a sua desagregação por tipologia de consumo representa-se na Figura 57.

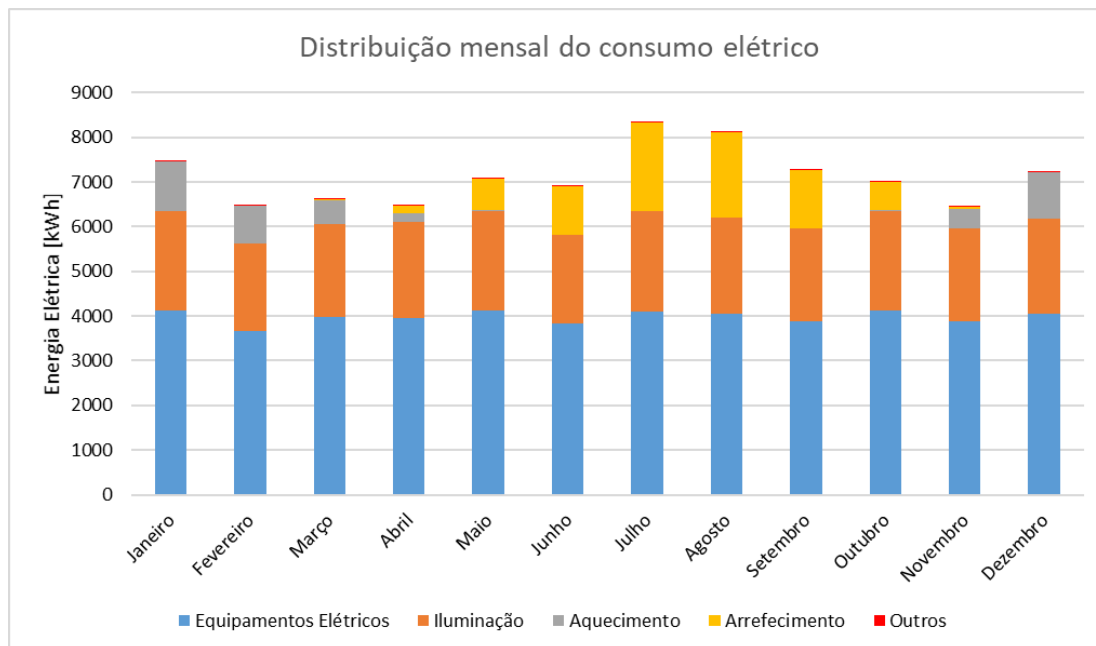


Figura 57 – Distribuição mensal do consumo elétrico.

A desagregação da Figura 57 permite identificar que o consumo médio dos equipamentos elétricos encontra-se na ordem dos 4 000 kWh/mês, sendo o grande consumidor de energia. Constata-se ainda que nos meses de novembro a abril prevalecem as necessidades de aquecimento e nos meses de maio a outubro as de arrefecimento.

A análise de dados permite desagregar os consumos por piso/parte e obter os resultados apresentados na Figura 58, Figura 59, Figura 60 e Figura 61. Verifica-se que na cave da parte antiga existe um consumo diferente do resto do edifício, explicado pelo facto de na maior parte da sua composição existirem salas que têm uma utilização esporádica, em contraste com o resto do edifício. No respetivo quadro elétrico da Figura 58 existe uma antena de telecomunicações responsável por cerca de 54% do consumo total do quadro. A Figura 59, Figura 60 e Figura 61 apresentam um perfil de consumo idêntico uma vez que possuem o mesmo tipo de utilização.

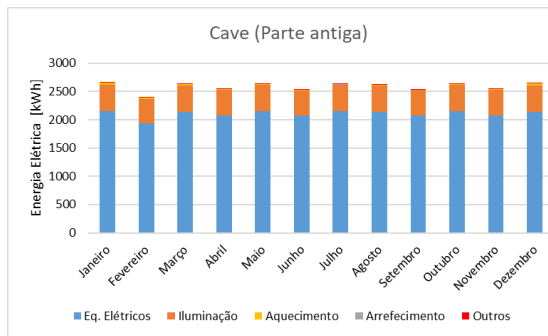


Figura 58 – Consumo Cave (Parte antiga).

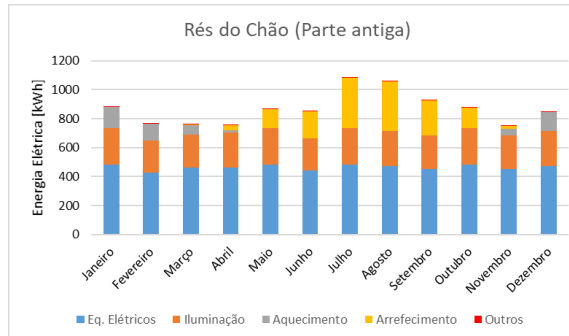


Figura 59 – Consumo Rés do Chão (Parte antiga).

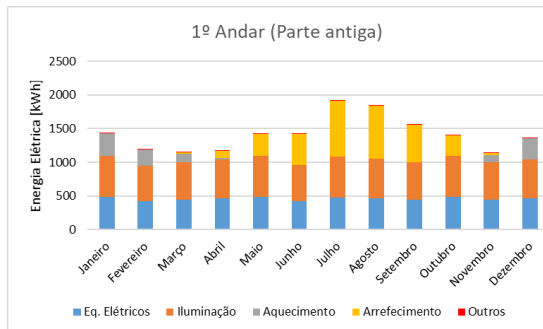


Figura 60 – Consumo Primeiro Andar (Parte Antiga).

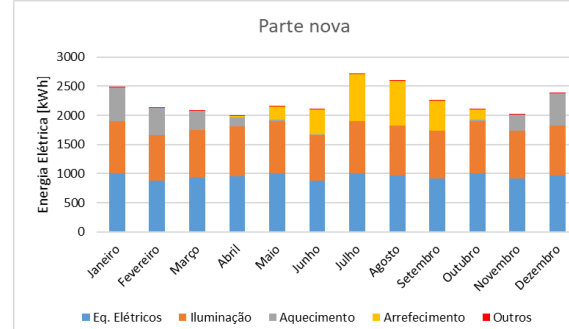


Figura 61 – Consumo Parte nova.

3.11 Cálculo de cargas térmicas

As cargas térmicas representam a quantidade de calor que se deve retirar ou fornecer a um espaço, em condições nominais designadas condições projeto, para que o mesmo se mantenha dentro de determinadas condições térmicas. Os ganhos de calor de um espaço dão-se por meio da envolvente opaca e envidraçada, pessoas, equipamentos, iluminação, renovações de ar no espaço e pelas infiltrações. Este cálculo deverá ser o mais preciso possível porque terá influência no dimensionamento de todos equipamentos relacionados com a climatização, desde a unidade exterior até à unidade interior, minimizando assim a aplicação de fatores de segurança arbitrados.

Os ganhos classificam-se quanto ao modo de transferência para o meio por sensível ou latente. A parte sensível provoca um aumento de temperatura no espaço que advém por condução, convecção e/ou radiação proveniente de algumas fontes como por exemplo, envolvente térmica, pessoas, iluminação, equipamentos elétricos e a renovação de ar. No caso da parte latente o ganho ocorre quando existem processos que libertam humidade no espaço como é o caso da transpiração humana, por determinados equipamentos e pela renovação do ar.

Após a concretização da simulação utilizou-se a mesma para determinar as cargas térmicas dos espaços definindo-se um dia típico de inverno e de verão, como se observa na Figura 62.

Os dados representados na Figura 62 foram consultados no livro “Temperaturas Exteriores de Projecto e Número de Graus-Dias” (Mendes et al., 1989). As temperaturas

correspondem à probabilidade de ocorrência acumulada de 2,5% para o inverno e de 99% para o verão.

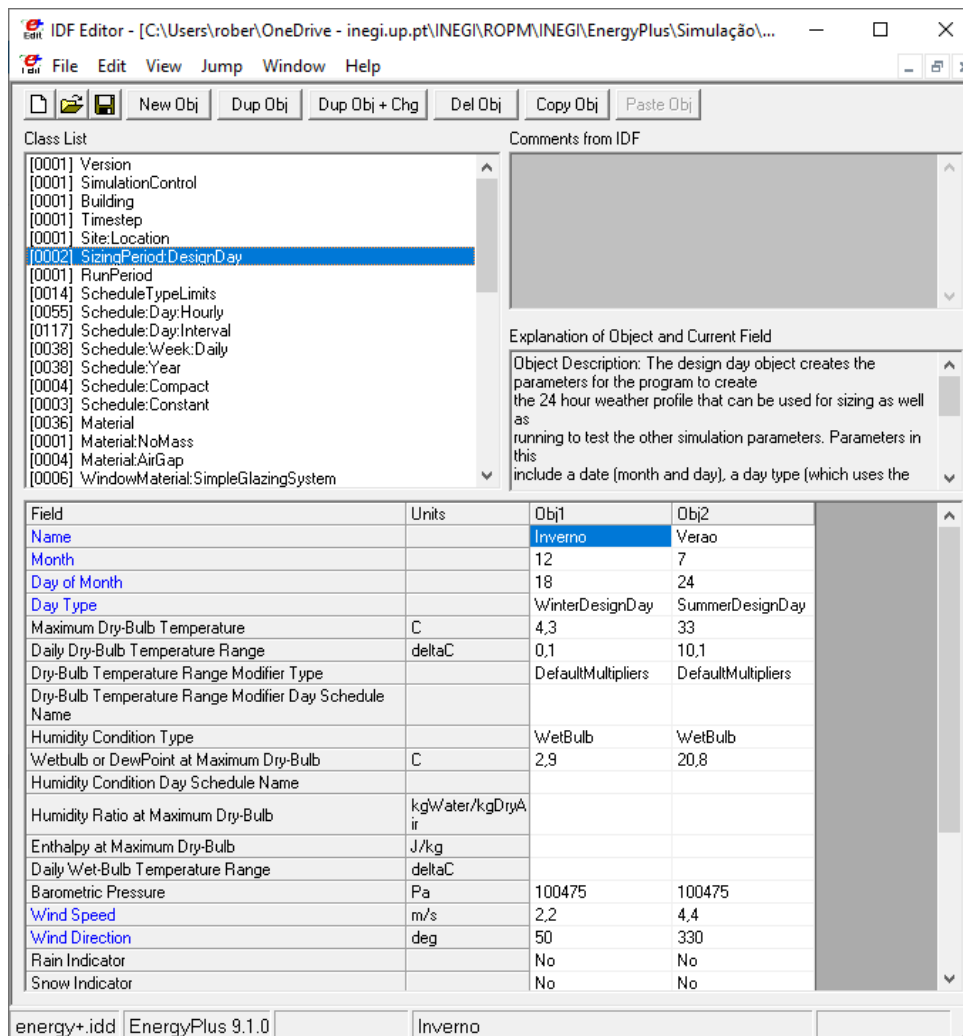


Figura 62 – Definição dos dias típicos de inverno e verão.

Definiu-se um termostato para cada zona na qual se pretende controlar a temperatura e um *template* correspondendo ao sistema ideal para aquecer ou arrefecer.

Após a simulação resultaram as necessidades de aquecimento e arrefecimento horárias para os espaços considerados.

Os dados provenientes da simulação foram tratados, contudo fez-se o ajuste devido às renovações de ar necessárias. Neste caso, para determinar o caudal de ar novo mínimo recorreu-se ao método prescritivo presente na Portaria n.º 353-A/2013 (Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, 2013).

No método prescritivo calcula-se o caudal mínimo de ar novo de duas formas sendo escolhido o pior caso, ou seja, o caudal determina-se em função do número de ocupantes ou da área do espaço escolhendo-se o pior dos dois cenários. O cálculo afeta-se ainda pela eficácia de ventilação estipulando o valor de ar novo. Por conseguinte, determina-se carga térmica sensível e latente devido à renovação do ar.

No caso da unidade exterior a mesma tem de ser capaz de responder à máxima necessidade horária, ou seja, contabilizam-se as necessidades energéticas dos espaços hora a hora para que, somando-se os valores horários de espaços resulta o perfil de necessidades por hora. Desse perfil escolhe-se o valor máximo corresponde assim à maior exigência que a unidade exterior terá de suprir.

As potências das unidades interiores foram consideradas tendo em conta o maior valor de necessidade do espaço.

Será importante referir que os valores foram obtidos tendo, em conta a simulação dinâmica, não contabilizam perdas nas tubagens e impossibilidades na construção, daí necessitar de um projeto.

3.12 Identificação de medidas mitigadoras de emissões de CO₂

Na presente secção pretende-se identificar e preconizar medidas de melhoria com vista na mitigação das emissões de CO₂ e, assim promover a neutralidade carbónica do edifício. Identificaram-se medidas de eficiência energética para garantir um balanço nulo em termos de emissões de carbono decorrentes do funcionamento normal do edifício. Assim, as medidas preconizadas foram as seguintes:

- Aplicação de isolamento térmico na cobertura do edifício;
- Substituição dos vãos envidraçados;
- Substituição da totalidade da iluminação ineficiente por tecnologia LED;
- Substituição de equipamentos elétricos;
- Substituição dos equipamentos de climatização por um sistema centralizado;
- Instalação de uma central fotovoltaica para autoconsumo.

3.13 Impacto da implementação das medidas mitigadoras

No presente subcapítulo pretende-se apresentar com maior detalhe a análise efetuada a cada uma das medidas selecionadas para inclusão no plano de descarbonização.

O Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013 apresenta os fatores de conversão de energia final para energia primária, que por sua vez se utiliza o valor para converter em emissões de CO₂ (O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, 2013). Ao consultar o despacho surge:

1. Os fatores de conversão entre energia final e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária de edifícios de habitação e do indicador de eficiência energética de edifícios de serviços são:
 - a. $F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável);
 - b. $F_{pu} = 1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis.
2. No caso da energia térmica de origem renovável, o fator F_{pu} toma o valor de $1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$.

3. Na determinação das emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia nos edifícios, os fatores de conversão de energia primária para emissões de CO₂ são:

Tabela 18 – Fatores de conversão para determinar as emissões de CO₂ (O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, 2013).

Fonte de energia	Fator de conversão [kgCO ₂ /kWh]
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,170
GPL garrafas	
Renovável	0,0

Assim, recorrendo aos fatores apresentados nos pontos anteriores e na Tabela 18 é possível quantificar o impacto das medidas ao nível das emissões carbónicas.

3.13.1 Qualidade da envolvente

O presente ponto expõe as medidas preconizadas para a envolvente térmica de modo a minimizar perdas, refletindo-se na redução das emissões de CO₂. As medidas sugeridas para a envolvente térmica passam pela aplicação de isolamento na cobertura do edifício e substituição dos vãos envidraçados.

3.13.1.1 Aplicação de isolamento térmico na cobertura

Devido à incerteza da constituição da envolvente do edifício, foi analisada a hipótese de se aplicar uma camada de isolamento térmico sobre a laje de cobertura. Normalmente o coeficiente de transmissão térmica de coberturas sem isolamento é alto, o que se traduz em perdas e ganhos indesejáveis e elevados de calor pela cobertura, resultando num aumento das necessidades energéticas em termos de climatização e, por conseguinte, num maior consumo de energia e num impacto negativo nas condições de conforto.

Com o objetivo de reduzir as perdas e os ganhos de calor aconselha-se a aplicação de isolamento térmico sobre a laje de esteira horizontal dos desvãos não ocupados. Assim, propõe-se o seguinte:

- Aplicação de isolamento térmico em poliestireno extrudido com condutibilidade térmica de 0,036 W/(m.°C) de 60 mm de espessura sobre a laje horizontal de cobertura.

O valor de espessura para o isolamento térmico advém do enquadramento legislativo para a laje de cobertura, ou seja, para enquadrar o valor do coeficiente de transmissão térmica da laje com o valor legislado resulta numa espessura mínima de isolamento para que o valor se encontre abaixo do regulamentado. Assim, para cumprir com a legislação o valor mínimo de espessura foi de 60 mm.

Sendo assim, a aplicação desta medida resultará em:

- Uma poupança estimada de 720 kWh/ano de energia elétrica, ou seja, uma poupança de cerca de 74 €/ano;
- Numa ótica ambiental, a aplicação desta medida conduzirá à diminuição das emissões de CO₂ associadas ao edifício em 0,26 ton.CO₂ eq./ano.

A otimização energética da envolvente e numa perspetiva global da vida de um edifício (50 anos ou mais), quando vista isoladamente apresenta um impacto menor e um *payback* menos interessante, mas não deixa de ser uma medida importante e que também contribui para o aumento do conforto térmico e a diminuição das assimetrias térmicas.

Estima-se um investimento global de 2 300 € (acrescido de IVA), não abrangendo apenas o material, como também a sua aplicação, resultando num *payback* simples superior a 25 anos.

3.13.1.2 Substituição dos vãos envidraçados

No caso do edifício em estudo o mesmo apresenta maioritariamente vãos envidraçados duplos, contudo realizou-se uma simulação dinâmica do edifício para verificar se seria possível melhorar a qualidade destes. Ao consultar-se a Portaria n.º 17-A/2016 de 4 de fevereiro para a zona climática I1-V3, verificou-se que o valor do coeficiente de transmissão térmica máxima admissível ($U_{m\acute{a}x}$) para vãos envidraçados exteriores (portas e janelas) é de 4,3 W/(m².°C). De modo a estudar esta medida de melhoria, utilizou-se um valor de U de 2,15 W/(m².°C), ou seja, metade do valor de $U_{m\acute{a}x}$.

Acredita-se que esta medida não seja muito relevante na questão da neutralidade carbónica, pois espera-se valores pequenos de poupança energética, mas esta é sempre uma maneira de beneficiar o conforto térmico do edifício. Para esta medida, obteve-se o seguinte:

- Uma poupança de 547 kWh/ano de energia elétrica, ou seja, uma poupança de cerca de 59 €/ano;
- Numa ótica ambiental, a aplicação desta medida levará, automaticamente, à diminuição das emissões de CO₂ associadas ao edifício em 0,20 ton.CO₂ eq./ano.

O investimento associado à implementação desta medida está muito dependente da avaliação técnica das condições de aplicação, uma vez que uma importante componente do custo diz respeito à mão-de-obra. Estima-se um investimento global de 38 099 € (acrescido de IVA), não abrangendo apenas o material, como também a sua aplicação, resultando num *payback* simples superior a 25 anos.

Neste caso, tal como no ponto anterior, o impacto e *payback* da medida são menores não deixando de ser uma medida importante e que também contribui para o aumento do conforto térmico e a diminuição das assimetrias térmicas.

As infiltrações são difíceis de contabilizar, contudo com a substituição dos vãos envidraçados existem melhorias a esse nível. No caso de estudo não foram contabilizadas as melhorias associadas à sua substituição.

3.13.2 Substituição da totalidade da iluminação ineficiente por tecnologia LED

Os tipos de lâmpadas existentes no edifício variam entre lâmpadas fluorescentes tubulares, lâmpadas de halogéneo, lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas LED. Excluindo-se a tecnologia LED já instalada é possível substituir o resto da iluminação por outra mais eficiente e, desta forma, economizar energia contribuindo para a diminuição da pegada carbónica. A Tabela 19 identifica o número de lâmpadas instaladas e a sua respetiva tipologia.

Tabela 19 – Quadro resumo do número de lâmpadas instaladas.

Fluorescentes Tubulares	Fluorescentes Compactas	Lâmpadas de Halogéneo	Lâmpadas Incandescentes	LED
352	154	59	0	9

Da implementação desta medida estima-se:

- Uma diminuição da potência elétrica instalada total da iluminação de 19,0 kW para 6,2 kW, através de um investimento de 9 952 € (excluída mão de obra);
- Uma diminuição da potência elétrica instalada total da iluminação de emergência de 0,6 kW para 0,1 kW;
- Uma redução do consumo anual associado à iluminação de 25 492 kWh para 7 771 kWh, correspondendo a uma redução de 69% (17 721 kWh). A redução de consumo energético resultou da simulação efetuada ao edifício que permite verificar a alteração no consumo energético associado aos componentes de climatização, influenciados pela substituição da iluminação (havendo maior necessidade de aquecimento e menor necessidade de arrefecimento). Assim, no total do edifício, esta medida reduz o consumo energético do edifício em 18 027 kWh/ano;
- Prevê-se uma poupança económica anual de 1 848 € associada a esta medida.

O impacto da medida numa ótica ambiental levará à diminuição das emissões de CO₂ associadas ao edifício em 6,49 ton.CO₂eq./ano.

3.13.3 Substituição de equipamentos elétricos

Uma medida para diminuir a pegada carbónica do edifício passa pela substituição dos equipamentos elétricos em fim de vida por uns mais eficientes.

Neste caso constatou-se que existe margem para melhorar os equipamentos elétricos ineficientes existentes neste edifício, pelo que se sugere avaliar o potencial da sua substituição por equipamentos mais eficientes, com especial enfoque nos televisores e computadores.

Após uma pesquisa superficial ao mercado, encontraram-se soluções tecnológicas mais eficientes e, assim atualizar os dados relativos a esses equipamentos na simulação dinâmica. Desta forma, apuraram-se os seguintes impactos para a substituição dos referidos equipamentos:

- Uma poupança estimada de 3 672 kWh/ano de energia elétrica, ou seja, uma poupança de cerca de 376 €/ano;
- Numa ótica ambiental, a aplicação desta medida levará à diminuição das emissões de CO₂ associadas ao edifício em 1,32 ton.CO₂ eq./ano.

Estima-se um investimento global de 11 000 € (acrescido de IVA), resultando um *payback* simples superior a 25 anos.

3.13.4 Substituição do sistema de climatização

Nas visitas ao edifício averiguou-se que a climatização se realizava através de vários sistemas autónomos de expansão direta, do tipo bomba de calor, e de vários sistemas VRFs em determinadas divisões. Sendo unidades autónomas, não é possível obter uma gestão eficiente do seu funcionamento.

Além da razão supracitada, muitos dos equipamentos existentes encontram-se desatualizados uma vez que alguns são anteriores ao ano 2000 e utilizam o fluido frigorígeno R22, um gás que atualmente já não é comercializado devido à sua forte contribuição para o empobrecimento da camada do ozono.

Com vista a promover a neutralidade carbónica optou-se por substituir o sistema de climatização do edifício, procedendo-se à simulação de um sistema de climatização do tipo centralizado. Estes sistemas permitem uma correta parametrização do funcionamento dos sistemas energéticos, a otimização dos recursos energéticos e um maior controlo no conforto ocupacional. Assim, propõe-se o seguinte:

- Instalação de um sistema de climatização do tipo centralizado e de expansão direta, baseado em unidades do tipo VRF.

O sistema simulado engloba todas as áreas atualmente climatizadas onde se escolheu as temperaturas de 20°C (quando existe necessidade de aquecimento) e 25°C (quando existe necessidades de arrefecimento) como limites, segundo a norma ASHRAE 55-2004, de forma a obter um conforto térmico constante ao longo de todo o ano.

As potências escolhidas para as unidades resultam das cargas térmicas determinadas anteriormente por simulação. Assim, a solução apresentada consiste numa unidade exterior com uma potência de aquecimento e de arrefecimento de 50 e 45 kW, respetivamente. Essa unidade exterior foi dimensionada tendo em conta o maior valor horário global do edifício e produzirá energia térmica para as unidades interiores localizadas nos espaços que se pretenderá climatizar. A potência total instalada das unidades interiores é de 66,8 kW para aquecimento e de 59,2 kW para o arrefecimento. Estas unidades foram dimensionadas tendo em conta a maior necessidade de aquecimento e arrefecimento de cada espaço.

A aplicação da medida obtém-se os seguintes resultados:

- Uma redução de consumo anual de energia elétrica associado à climatização de 8,1%;
- Uma poupança estimada de 6 949 kWh/ano de energia elétrica, ou seja, uma poupança por ano de 712 €/ano;

- Numa ótica ambiental, a aplicação desta medida levará à diminuição das emissões de CO₂ associadas ao normal funcionamento do edifício em 2,50 ton.CO₂ eq./ano.

Para esta medida, estima-se um investimento global de 61 169 € (acrescido de IVA), abrangendo apenas os equipamentos envolvidos, resultando num *payback* simples superior a 25 anos. A medida ostenta um retorno de financiamento alto, contudo foi equacionada face à degradação de certos equipamentos, idade de algumas unidades e, ainda, a presença de fluidos frigorígenos que já se encontram proibidos. Esta proposta permite conceber um sistema centralizado com unidades de maior eficiência e ecologicamente mais amigáveis.

3.13.5 Energia de fonte renovável

No presente ponto pretendeu-se estudar a possibilidade de instalação de um campo fotovoltaico para autoconsumo, permitindo assim contribuir positivamente para a descarbonização pois diminui a energia proveniente de fontes não renováveis.

No entanto, como o edifício se insere num complexo onde apenas existe um ponto de entrega de energia elétrica, a análise de viabilidade da instalação de uma central fotovoltaica para autoconsumo terá por base o consumo de todo o complexo.

A área de superfície na cobertura do edifício com exposição solar é significativa. Por esse motivo, e analisando a existência de sombreamentos, verificou-se que existe potencial para a instalação de unidades para aproveitamento de energia solar fotovoltaica. O objetivo passa por, em primeira instância, retirarem-se os atuais painéis, uma vez que se encontram obsoletos e, assim, analisar-se a melhor disposição para a instalação de um novo campo fotovoltaico. Com base no pressuposto referido anteriormente, realizaram-se dois estudos relativos à instalação de um campo solar na cobertura do edifício:

- Num primeiro cenário, aproveita-se o espaço existente sem alterar a disposição dos equipamentos de climatização e ventilação localizados na cobertura, como se apresenta na Figura 63;
- Um segundo cenário onde se propõe retirar os equipamentos possíveis da cobertura libertando espaço para maximizar a instalação de painéis, como se observa na Figura 64.

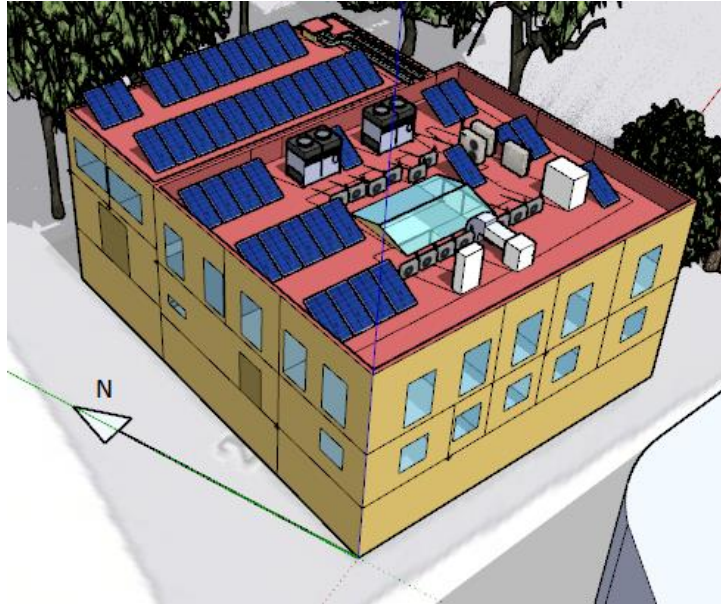


Figura 63 – Disposição dos painéis solares na cobertura (cenário atual).

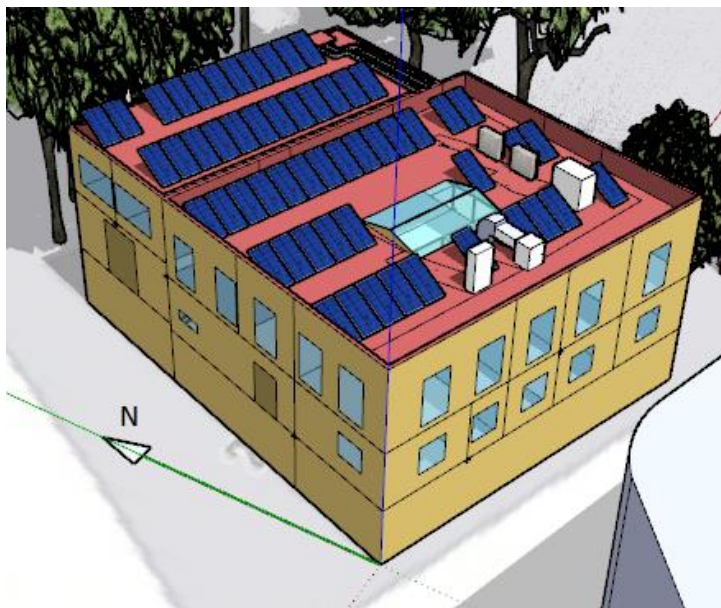


Figura 64 – Disposição dos painéis solares na cobertura (cenário de melhoria).

Na Figura 65 encontra-se a convenção utilizada para definir a orientação dos painéis fotovoltaicos.

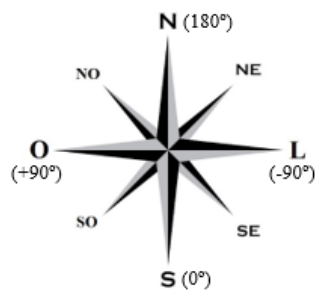


Figura 65 – Convenção utilizada para o Azimute.

O modelo geométrico permite identificar quantos painéis se consegue colocar numa superfície com determinada orientação. O edifício apresenta uma orientação de aproximadamente 19°, com base na Figura 65. Neste caso, para além das duas situações apresentadas, estudaram-se ainda a possibilidade de se instalar os painéis orientados a sul ou com o edifício. Dessa análise, redundou a escolha da orientação com edifício (19°) uma vez que a quantidade de painéis que se consegue instalar é maior, resultando numa produção superior quando comparado com os orientados a sul. Na modelação contemplou-se ainda a distinção do número de módulos para inverno e verão, evitando assim sombreamentos nos painéis.

A integração de painéis solares fotovoltaicos nas áreas disponíveis permitirá sempre uma mais-valia económica e ambiental, no primeiro cenário recomenda-se:

- Instalação de um sistema solar fotovoltaico para a produção de energia elétrica em regime de autoconsumo. Após avaliação sazonal concluiu-se que durante o inverno apenas era possível ter 42 painéis a produzir energia devido ao fator sombreamento e, por sua vez, no verão é possível ter a produzir 54 módulos, através do ajuste na ligação da *string*. Os painéis apresentam um azimute a 19° (ou seja, em linha com a orientação do edifício), inclinação de 30° e com uma potência total de 24 kW;
- Na produção de energia elétrica fez-se a divisão dos meses de inverno e dos meses de verão, isto resulta numa produção de 34 751 kWh/ano, o que se traduz numa redução da fatura elétrica na ordem dos 4 284 €/ano;
- Numa ótica ambiental, a aplicação desta medida conduzirá à poupança das emissões de CO₂ associadas ao edifício em 12,50 ton.CO₂ eq./ano.

Estima-se um investimento global de 18 900 € (acrescido de IVA) não só abrangendo os equipamentos envolvidos como a sua montagens e colocação em serviço, resultando num *payback* simples de 4,40 anos, como se observa na Figura 67.

Uma análise mensal à produção energética através da instalação fotovoltaica e ao seu destino é apresentada na Figura 66. Como tal, comparam-se valores de produção com valores de consumo, nomeadamente identificando a proporção de energia produzida aproveitada para autoconsumo, a energia excedente injetada na rede e a energia requerida à rede necessária para suprir as necessidades de consumo que a energia fotovoltaica não satisfaz. A linha a preto indica a percentagem de autonomia da instalação, associada ao valor de produção energética destinada a autoconsumo face ao consumo total do complexo.

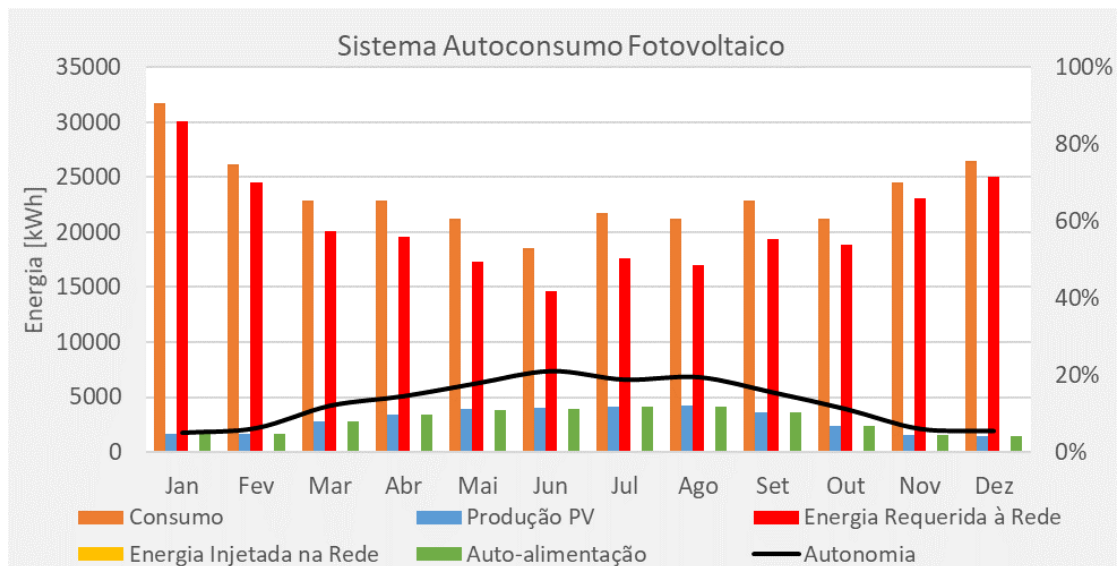


Figura 66 – Comparação entre estimativa de produção e consumo de energia no cenário atual.

Na Figura 66, verifica-se que mesmo nos meses de maior radiação não há excedente de energia, sendo as necessidades restante colmatadas com energia da rede.

No caso da Figura 67, observa-se o *cash-flow* acumulado associado à instalação fotovoltaica proposta para o edifício.

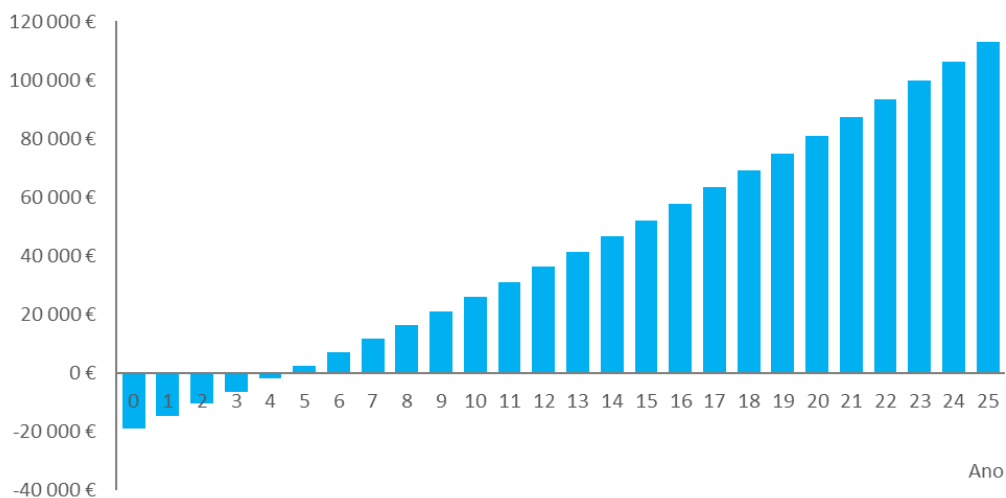


Figura 67 – *Cash-flow* acumulado para instalação fotovoltaica no edifício para o cenário atual.

No caso do segundo cenário, onde são retirados os equipamentos de climatização recomenda-se o seguinte:

- Instalação de um sistema solar fotovoltaico para a produção de energia elétrica em regime de autoconsumo. Após avaliação sazonal concluiu-se que durante o inverno apenas era possível ter 55 painéis a produzir energia devido ao fator sombreamento e, por sua vez, no verão é possível ter a produzir 60 módulos, através do ajuste na ligação da *string*. Os painéis apresentam um azimute a 19°

(ou seja, em linha com a orientação do edifício), inclinação de 30° e com uma potência total de 27 kW;

- Na produção de energia elétrica fez-se a divisão dos meses de inverno e dos meses de verão, isto resulta numa produção de 41 377 kWh/ano, o que se traduz numa redução da fatura elétrica na ordem dos 5 061 €/ano;
- Numa ótica ambiental, a aplicação desta medida conduzirá à poupança das emissões de CO₂ associadas ao edifício em 14,90 ton.CO₂ eq./ano.

Estima-se um investimento global de 24 750 € (acrescido de IVA) não só abrangendo os equipamentos envolvidos como a sua montagens e colocação em serviço, resultando num *payback* simples de 4,94 anos, como se observa na Figura 69.

Tal como para o cenário anterior, na Figura 68, é apresentada uma análise mensal à produção energética através da instalação fotovoltaica e a sua comparação com valores de consumo, incluindo a energia produzida aproveitada para autoconsumo, a energia excedente injetada na rede e a energia requerida à rede necessária para suprir as necessidades de consumo que a energia fotovoltaica não satisfaz. É igualmente apresentada a percentagem satisfeita pelo autoconsumo (autonomia).

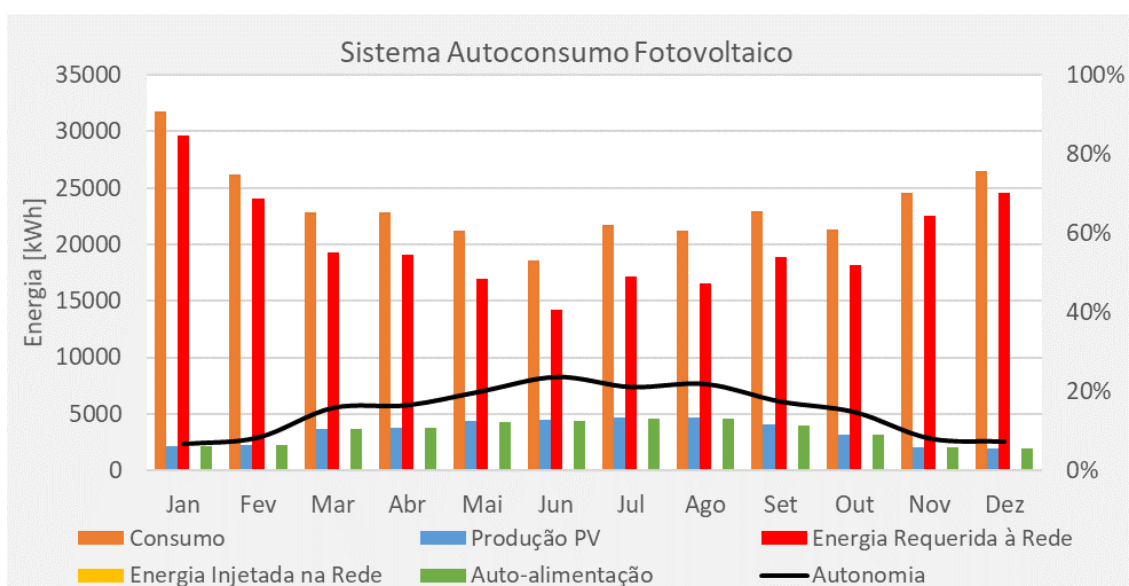


Figura 68 – Comparação entre estimativa de produção e consumo de energia no cenário de melhoria.

Tal com o cenário atual, a produção de energia pelos painéis é integralmente utilizada no edifício.

No caso da Figura 69, observa-se o *cash-flow* acumulado associado à instalação fotovoltaica proposta para o edifício.

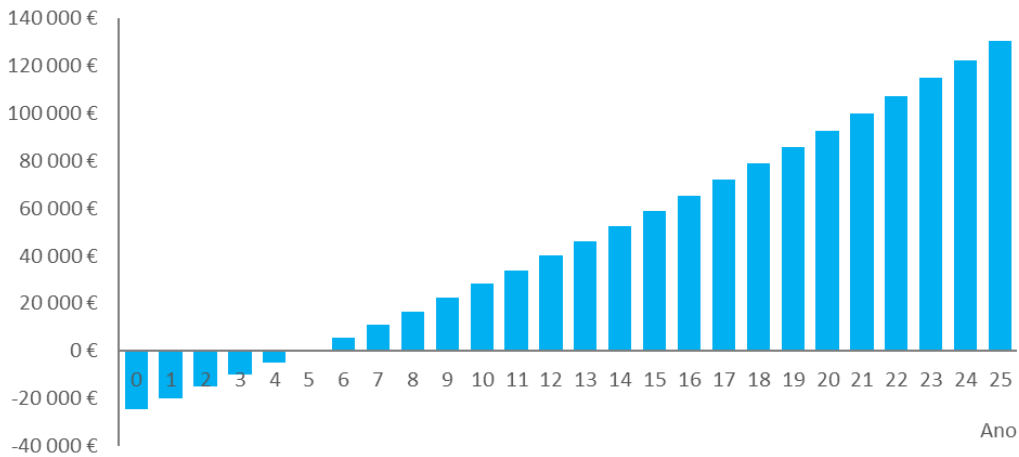


Figura 69 – *Cash-flow* acumulado para a instalação fotovoltaica no edifício para o cenário de melhoria.

No estudo fotovoltaico exposto anteriormente apresentou-se apenas os resultados obtidos, sendo descrito pormenorizadamente no **(Anexo I)**.

3.13.6 Avaliação do sumidouro carbónico

O sumidouro de carbono representa a capacidade que determinado sistema possui para reter CO₂ da atmosfera. Tal processo pode ocorrer em diferentes locais, sendo que as zonas arborizadas são especialmente importantes pois existem bastantes organismos que, por meio da fotossíntese, capturam o carbono e libertam oxigénio na atmosfera. É a captura e o armazenamento seguro do CO₂ que evita a sua emissão e permanência na atmosfera.

O edifício encontra-se inserido num complexo dotado de um parque arborizado permitindo assim compensar as emissões libertadas pelo edifício. Uma entidade ligada à conservação da natureza procedeu ao levantamento de todo o parque arborizado tendo como objetivo quantificar qual a redução das emissões por parte do crescimento das árvores.

Desse estudo resulta uma estimativa de 373 toneladas de *stock* de carbono presente no espaço, isto é, com base na dimensão de cada árvore ou arbusto estimaram a quantidade de carbono capturado. Assim, para se quantificar as emissões carbónicas que o parque arborizado consegue compensar é necessário fazer nova avaliação num intervalo de tempo, resultando da diferença a capacidade de sumidouro carbónico do parque arborizado.

3.14 Resultados Finais

A simulação permitiu verificar o impacto das medidas no que se refere à mitigação das emissões de CO₂. Uma vez que se delineou a elaboração de um plano de descarbonização de um edifício de serviços, apresenta-se na Tabela 20 o valor de toneladas de CO₂ evitadas por cada medida, salvaguardado que os valores apresentados foram simulados individualmente.

Tabela 20 – Medidas selecionadas para o plano de descarbonização de um edifício de serviços.

Medidas de mitigação das emissões de CO ₂					
Medidas	Poupança energética		Investimento [€]	PRI [ano]	Toneladas de CO ₂ eq. evitadas
	Energia [kWh/ano]	Custo [€/ano]			
Aplicação de isolamento na cobertura	720	74	2 300	>25	0,26
Substituição dos vãos envidraçados	547	59	38 099	>25	0,20
Substituição dos sistemas de iluminação por sistemas de elevada eficiência	18 027	1 848	9 952	5,39	6,49
Substituição de equipamentos elétricos ineficientes	3 672	376	11 000	>25	1,32
Substituição do sistema de climatização do edifício	6 949	712	61 169	>25	2,50
Instalação de um sistema solar fotovoltaico em regime de autoconsumo na cobertura (cenário com equipamentos)	34 751	4 284	18 900	4,40	12,50
Instalação de um sistema solar fotovoltaico em regime de autoconsumo na cobertura (cenário sem equipamentos)	41 377	5 061	24 750	4,94	14,90
Capacidade de sumidouro da envolvente arborizada	Em definição				

O consumo total do edifício obtido através da simulação dinâmica foi de 85 538 kWh/ano dos quais 16 644 kWh/ano pertencem a uma antena de telecomunicações que em nada contribui para o normal funcionamento do edifício. A antena foi considerada apenas para que o modelo fosse calibrado com as medições. Desta forma, o consumo sobre o qual devem incidir as medidas é de 68 894 kWh/ano, o que corresponde a 24,80 ton.CO₂ eq./ano emitidas.

Na Tabela 20, apresentam-se duas medidas relativas à aplicação de um campo fotovoltaico na cobertura do edifício, porém, a mais benéfica para a neutralidade do edifício é a solução sem sistemas na cobertura, permitindo maior espaço para instalar painéis.

A Tabela 21, apresenta um balanço das emissões libertadas pelo edifício.

Tabela 21 – Resumo das emissões libertadas após medidas de melhoria.

Balanço das emissões de CO ₂	
	Toneladas CO ₂ eq. emitidas
Cenário Atual	
Emissões relativas ao consumo anual do edifício	24,80
Cenário após implementação das medidas	
Aplicação de isolamento na cobertura	0,26
Substituição dos vãos envidraçados	0,20
Substituição dos sistemas de iluminação	6,49
Substituição de equipamentos elétricos ineficientes	1,32
Substituição do sistema de climatização do edifício	2,50
Instalação de um sistema solar fotovoltaico em regime de autoconsumo na cobertura (cenário sem equipamentos na cobertura)	14,90
Capacidade de sumidouro da envolvente arborizada	Em definição
Sub-Total	25,67
Balanço	0,00

Relativamente ao sumidouro carbónico, não se contabilizou qualquer contributo uma vez que ainda se encontra em definição, no entanto, face a toda a envolvente arborizada do complexo existe mitigação das emissões de CO₂.

Em modo conclusão, recorrendo às medidas preconizadas na Tabela 21 consegue-se alcançar a neutralidade carbónica do edifício.

CONCLUSÕES

- 4.1 CONCLUSÕES
- 4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

A presente dissertação apresentou como objetivo principal a elaboração de um plano com vista na redução das emissões carbónicas de um edifício tendo por base medidas de melhoria, permitindo alcançar a neutralidade carbónica. Desta forma, considera-se que o objetivo principal da dissertação foi alcançado uma vez que se realizou um plano com foco na neutralidade carbónica.

No que concerne aos objetivos específicos, podemos assumir que os mesmos foram atingidos com sucesso. Inicialmente, estudou-se o comportamento do edifício de modo a encontrar ineficiências em sistemas permitindo uma margem para melhoria. Neste caracterizou-se o edifício com os dados do levantamento e assim avaliou-se a resposta do edifício durante um ano. Após o modelo calibrado, analisaram-se medidas de mitigação à emissão de CO₂ e quantificou-se o valor de emissões carbónicas que cada medida reduzia.

Além destes, estudou-se e apresentou-se um novo sistema de climatização para o edifício, bem como as suas poupanças a nível carbónico. Nesta situação, torna-se necessário um projeto de climatização uma vez que apenas se teve em conta as potências das unidades interiores e exteriores.

Ainda foi realizada uma análise da instalação de um campo fotovoltaico na cobertura do edifício traduzindo-se em significativas poupanças para o edifício, sendo que esta se apresentou como a medida com maior impacto na redução das emissões carbónicas. Por fim, apresentou-se o balanço final das emissões carbónicas de cada medida beneficiará ao edifício.

Em suma, o plano de descarbonização inclui medidas que ajudam a alcançar a neutralidade carbónica, dentro delas:

- Aplicação de isolamento na cobertura, resultando numa diminuição de 0,26 ton.CO₂ eq./ano;
- Substituição dos vãos envidraçados, resultando numa diminuição de 0,20 ton.CO₂ eq./ano;
- Substituição dos sistemas de iluminação por sistemas de elevada eficiência, resultando numa diminuição de 6,49 ton.CO₂ eq./ano;
- Substituição de equipamentos elétricos ineficientes, resultando numa diminuição de 1,32 ton.CO₂ eq./ano;

- Substituição do sistema de climatização do edifício, resultando numa diminuição de 2,50 ton.CO₂ eq./ano;
- Instalação de um sistema solar fotovoltaico em regime de autoconsumo na cobertura (cenário com equipamentos), resultando numa diminuição de 12,50 ton.CO₂ eq./ano;
- Instalação de um sistema solar fotovoltaico em regime de autoconsumo na cobertura (cenário sem equipamentos), resultando numa diminuição de 14,90 ton.CO₂ eq./ano.

O sumidouro carbónico do parque arborizado não foi contabilizado na mitigação das emissões carbónicas uma vez que ainda se encontra em definição, no entanto, o contributo da envolvente arborizada deve ser equacionada porque resulta de um processo natural, diminuindo o investimento financeiro.

No que toca às medidas a serem implementadas, estas necessitam de um esforço financeiro traduzido pela aquisição de novos materiais ou equipamentos. Apesar disso, ao longo dos anos, esse investimento será compensado pela poupança energética e mitigação das emissões carbónicas. No que se refere ao retorno financeiro, este varia de acordo com a medida implementada. Por exemplo, a substituição de iluminação de maior eficiência irá conduzir um retorno monetário num período de 5/6 anos, contudo, por outro lado, a aplicação de isolamento na cobertura, que se reflete na melhoria do conforto térmico, apresenta um retorno de investimento superior a 25 anos.

Em modo de conclusão, as medidas preconizadas para o plano de descarbonização conduzem o edifício à neutralidade carbónica.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

A elaboração de um plano de descarbonização de um edifício de serviços foi alcançada com sucesso, porém, para se atingir o objetivo algumas das medidas preconizadas acarretam a instalação de equipamentos e novas soluções construtivas. Desta forma, na análise do ciclo de funcionamento do edifício consegue alcançar-se a neutralidade carbónica, contudo, com vista num trabalho futuro, seria interessante realizar uma avaliação do ciclo de vida dos materiais utilizados. Através desta análise seria possível quantificar os impactos ambientais de uma forma mais ampla que resultam das medidas preconizadas para a mitigação das emissões de CO₂.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 BIBLIOGRAFIA

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 BIBLIOGRAFIA

ADENE. (n.d.-a). *A etiqueta energética de eletrodomésticos está a mudar*. Retrieved May 30, 2021, from <https://www.adene.pt/a-etiqueta-energetica-de-eletrodomesticos-esta-a-mudar/>

ADENE. (n.d.-b). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios*.

Ambiente e Ação Climática, & Presidência do Conselho de Ministros. (2020). Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro. *Diário Da República n.º 237/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-12-07, 2, 7-(21) a 7-(45)*.

ASHRAE Standard. (2004). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy 55-2004. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004(ANSI/ASHRAE Standard 55-2004), 1–34*.

Carbon Trust. (2020). *The Climate Action Pathway for Net Zero Cooling*. <https://www.carbontrust.com/resources/the-climate-action-pathway-for-net-zero-cooling>

Carruthers, H., & Casavant, T. (2013). What is a “Carbon Neutral” Building ? *Light House Sustainable Building Centre Society, June, 1–6*. http://www.sustainablebuildingcentre.com/wp-content/uploads/2013/05/June-2013_WhatIsACarbonNeutralBuilding.pdf

Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., Strand, R. K., Liesen, R. J., Fisher, D. E., Witte, M. J., & Glazer, J. (2001). EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings, 33(4), 319–331*. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6)

D’Agostino, D., & Mazzarella, L. (2019). What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions. *Journal of Building Engineering, 21(October 2018), 200–212*. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.019>

Diário da República. (2013). Decreto-Lei n.º 118/2013, DE 20 de agosto (desempenho energético dos edifícios). *Diário Da República, 159, 4988–5005*. <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/118/2013/08/20/p/dre/pt/html>

Direção Geral de Energia e Geologia. (n.d.-a). *Auditorias Energéticas - Enquadramento*. Retrieved January 30, 2021, from <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/auditorias-energeticas/enquadramento/>

Direção Geral de Energia e Geologia. (n.d.-b). *O que é uma comunidade de energia?*

- Retrieved January 27, 2021, from <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/comunidades-de-energia/o-que-e-uma-comunidade-de-energia/>
- Direção Geral de Energia e Geologia. (n.d.-c). *SCE.ER*. Retrieved March 13, 2021, from <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/sce-er/>
- Energy's, U. S. D. of. (n.d.). *EnergyPlus*. Retrieved December 30, 2020, from <https://energyplus.net/>
- European Commission. (n.d.). *Causes of climate change _ Ação climática*. Retrieved December 28, 2020, from https://ec.europa.eu/clima/change/causes_pt
- European Commission. (2018). *European Green Capital Award*. European Commission. <https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/lisbon-is-the-2020-european-green-capital-award-winner/>
- European Commission - Press Commission. (2017). *Commission welcomes final vote on energy performance of buildings. December, 19*.
- European Parliament. (2018). *Greenhouse gas emissions by country and sector (infographic)*. European Parliament. <http://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180301STO98928/greenhouse-gas-emissions-by-country-and-sector-infographic>
- Europeu, P. (2003). DIRECTIVA 2002/91/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios. *Jornal Oficial Das Comunidades Europeias N° L 1, 11*, 65–71. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0091&from=EN>
- Europeu, P. (2010). Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010 , relativa ao desempenho energético dos edifícios. *Jornal Oficial N° L 153*, 13–35.
- Europeu, P. (2018). DIRETIVA (UE) 2018/844 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 30 de maio de 2018 que altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética. *Jornal Oficial N° L 156*, 75–91. <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>
- Gjorgievsk, V. Z., Cundeva, S., & Georghiou, G. E. (2021). Social arrangements, technical designs and impacts of energy communities: A review. *Renewable Energy*, 135907. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.078>
- Governo Português - Ambiente e Transição Energética. (2019). Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050. *Estratégia de Longo Prazo Para a Neutralidade Carbónica Da Economia Portuguesa Em 2050*, 1–102.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global warming of 1.5°C*. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Larsen, M. A. ., Petrovic, S., Radoszynski, A. M., Mckenna, R., & Balyk, O. (2020). Climate

- change impacts on trends and extremes in future heating and cooling demands over Europe. *Energy & Buildings*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110397>
- Mendes, J. C., Guerreiro, M. R., Santos, C. A. P. dos, & Paiva, J. A. V. de. (1989). *Temperaturas Exteriores de Projecto e Número de Graus - Dias* (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica & Laboratório Nacional de Engenharia Civil (eds.)).
- Ministério das Obras Públicas, T. E. C. (1990). Decreto-Lei n.º 40/90 regulamento das características de comportamento termico dos edificios. In *Diário da República n.º 31/1990* (Vol. 31, pp. 490–504). <https://dre.pt/pesquisa/-/search/334611/details/maximized>
- Ministério do Ambiente e da Transição Energética. (2019). *PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030 (PNEC 2030)*. 1–200.
- Ministério do Ambiente, O. do T. e E.-D.-G. de E. E. G. (2013). Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. *Diário Da República N.º234/2013, 3º Suplemento, 2º série*(15793-K/2013), 35088-(58)-35088-(87). <https://dre.pt/home/-/dre/2975224/details/maximized>
- Ministério do Ambiente, O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. (2013). Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. *Diário Da República N.º234/2013, 3º Suplemento, 2º série*(15793-D/2013), 35088(13). <https://dre.pt/application/conteudo/2975217>
- Ministério do Trabalho, S. e S. S. e E. (2016). Portaria n.º 17-A/2016. *Diário Da República n.º 24/2016, 1.ª série, 378-(2) a 378 (56)*. <https://data.dre.pt/eli/port/17-a/2016/02/04/p/dre/pt/html>
- Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, E. e S. S. (2013). Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro: REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS (RECS) REQUISITOS DE VENTILAÇÃO E QUALIDADE DO AR INTERIOR. *Diário Da República N.º235/2013, 1(235), 6644-(2)-6644-(9)*.
- Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, E. e S. S. (2013). Portaria n.º 349-D/2013. *Diário Da República n.º 233/2013, 1.ª série, 6628-(40) a 6628-(73)*. <https://data.dre.pt/eli/port/349-d/2013/12/02/p/dre/pt/html>
- Monzón-Chavarrías, M., López-Mesa, B., Resende, J., & Corvacho, H. (2020). The nZEB concept and its requirements for residential buildings renovation in Southern Europe: The case of multi-family buildings from 1961 to 1980 in Portugal and Spain. *Journal of Building Engineering*, 34(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101918>
- Our World in Data. (n.d.). *Energy Production and Consumption*. Retrieved January 24, 2021, from <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>
- Parlamento Europeu, & Conselho da União Europeia. (2009). Directiva 2009/125/CE de 21 de Outubro. *Jornal Oficial Da União Europeia*, 10–35.
- Parlamento Europeu e BCE. (2016). Acordos internacionais - DECISÃO (UE) 2016/1841

- DO CONSELHO. *Jornal Oficial Da União Europeia* L 282/1, 1–6. <http://data.europa.eu/eli/dec/2016/1841/oj>
- República Portuguesa. (2019). Decreto-Lei nº 162/2019. *Diário Da República*, 1.ª Série N.º 206, N.º 206, 45–62. <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/162/2019/10/25/p/dre>
- Santamouris, M. (2016). Cooling the buildings – past , present and future. *Energy & Buildings*, 128, 617–638. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.034>
- Santos, C. A. P. dos, & Matias, L. (2006). *COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DE ELEMENTOS DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS* (LNEC (ed.); ITE 50).
- Santos, C. A. P. dos, & Rodrigues, R. (n.d.). *COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DE ELEMENTOS OPACOS DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS* (LNEC (ed.); ITE 54).
- Trabalho, S. e S. S. e A. e T. E. (2019). Portaria nº42/2019. *Diário Da República*, 1.ª Série — N.º 21 — 30 de Janeiro de 2019, 771–772. <https://dre.pt/application/conteudo/118748852>
- Witzig, A., Pfeiffer, M., Stöckli, U., Kistler, P., & Bornatico, R. (2010). Polysun Inside: A Universal Platform for Commercial Software and Research Applications. *International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, April*, 1–8. <https://doi.org/10.18086/eurosun.2010.04.18>
- Zhu, K., Victoria, M., Andresen, G. B., & Greiner, M. (2020). Impact of climatic , technical and economic uncertainties on the optimal design of a coupled fossil-free electricity , heating and cooling system in Europe. *Applied Energy*, 262(16 January 2020), 114500. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114500>

ANEXOS

6.1 ANEXO1: Estudo do solar fotovoltaico

6 ANEXOS

Neste capítulo apresentam-se os anexos do relatório.

6.1 ANEXO1: Estudo do solar fotovoltaico

O presente anexo apresenta o estudo solar fotovoltaico realizado.

No presente estudo, fez-se uma análise de sombreamento de modo a identificar a quantidade de painéis a instalar na cobertura do edifício. Chegou-se à conclusão que seria benéfico dividir o estudo no cenário de inverno e de verão, ou seja, na situação de inverno a altura solar prejudica a quantidade de módulos a instalar, quanto ao verão a quantidade de módulos aumenta. Assim, considerou-se uma divisão dos meses do ano no que toca à produção. Os dias de 1 janeiro a 30 de março e 1 de outubro a 31 de dezembro corresponde aos dias em que assumiu-se a produção com a situação de inverno. Os restantes, 1 de abril a 30 de setembro, consideram-se meses de verão.

6.1.1 Caracterização do recurso solar

O conhecimento do recurso solar é fundamental para o dimensionamento de sistemas solares dado a sua variabilidade espacial e temporal. O recurso solar para o local de instalação foi avaliado com base na ferramenta informática *Meteonorm*.

Na Tabela 22 apresenta-se os dados geográficos sobre o local das instalações:

Tabela 22 – Dados do local das instalações – anexo.

Concelho	Lisboa
Freguesia	Estrela
Altitude [m]	55

Para determinar a produção de energia de um sistema é necessário conhecer a radiação solar no local de produção.

A radiação incidente é obtida através de medições, que são habitualmente realizadas sobre um plano horizontal, contudo, outras medições e estimativas para planos inclinados sugerem que a maximização da energia solar absorvida em Portugal é atingida com grandes inclinações (entre 50° e 60°) no inverno e pequenas inclinações (entre 5° e 10°) no verão. Como não é prático nem económico mudar a inclinação das superfícies coletoras consoante a estação do ano, usam-se normalmente planos com inclinação fixa.

Na literatura da especialidade é referido que o plano inclinado fixo que globalmente maximiza a radiação solar absorvida tem uma inclinação aproximadamente igual à latitude do local menos 10°. Deve também notar-se que no hemisfério norte os painéis solares devem ser orientados a sul (Azimute de 0°).

Como referido, através do programa informático *Meteonorm* estimou-se os valores mensais e anual para diversos parâmetros climáticos como mostrado na tabela seguinte. Estes dados foram obtidos por triangulação das três estações meteorológicas mais próximas, para o Azimute de 0°, portanto uma orientação a sul, e um plano horizontal. Na Tabela 23 e na Figura 70 mostram-se os resultados obtidos das estimativas ao longo de um ano da radiação global incidente (kWh/m²) na zona de instalação sobre plano horizontal.

A incerteza dos valores anuais é: RGH = 3%, RDH = 7%, T = 0,5°C.

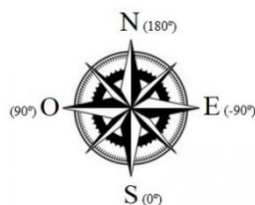


Figura 70 – Convenção utilizada para o Azimute – anexo.

Tabela 23 – Dados climáticos – anexo.

Mês	RGH	RdH	RDH	DS	T
Janeiro	66	30	99	147	11,2
Fevereiro	79	35	93	156	12,0
Março	144	49	171	214	14,5
Abril	158	74	135	248	15,1
Mai	199	64	204	299	17,4
Junho	216	75	207	311	20,9
Julho	25	69	232	354	22,4
Agosto	207	60	233	335	22,8
Setembro	155	54	179	252	21,0
Outubro	113	38	158	207	18,1
Novembro	65	29	92	151	13,8
Dezembro	58	27	90	136	11,8
Média Anual	140	50	158	234	16,8

Legenda:

- RGH – Radiação média global, plano horizontal [kWh/m²];
- RDH – Radiação média direta, plano horizontal [kWh/m²];
- RdH – Radiação média difusa, plano horizontal [kWh/m²];
- DS – Duração solar [h];
- T – Temperatura [°C].

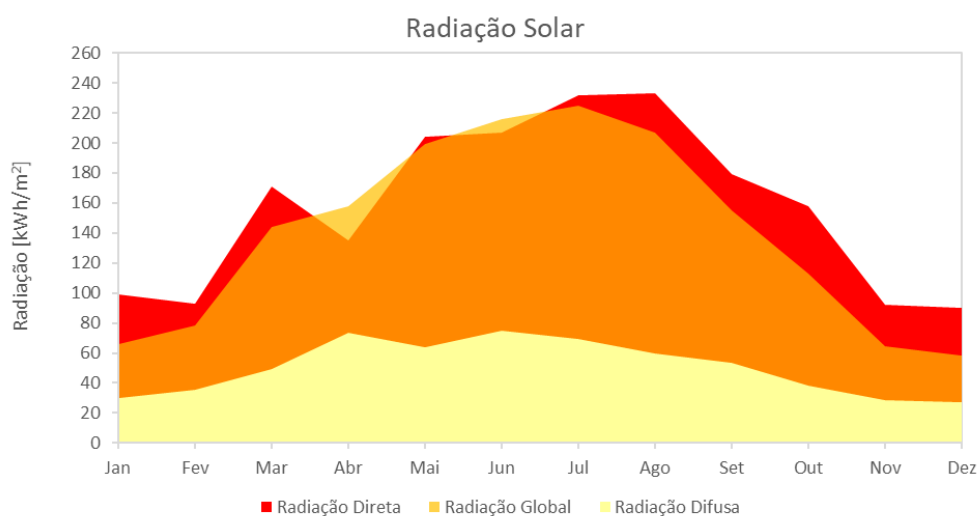


Figura 71 – Evolução mensal da radiação Global, Direta e Difusa no local no plano horizontal – anexo.

Tal como nos restantes semicondutores, as células fotovoltaicas são sensíveis à temperatura. O aumento da temperatura provoca uma redução no rendimento da célula fotovoltaica. Assim, é de igual modo importante ter em conta o perfil mensal de temperatura média no local de instalação do sistema fotovoltaico.

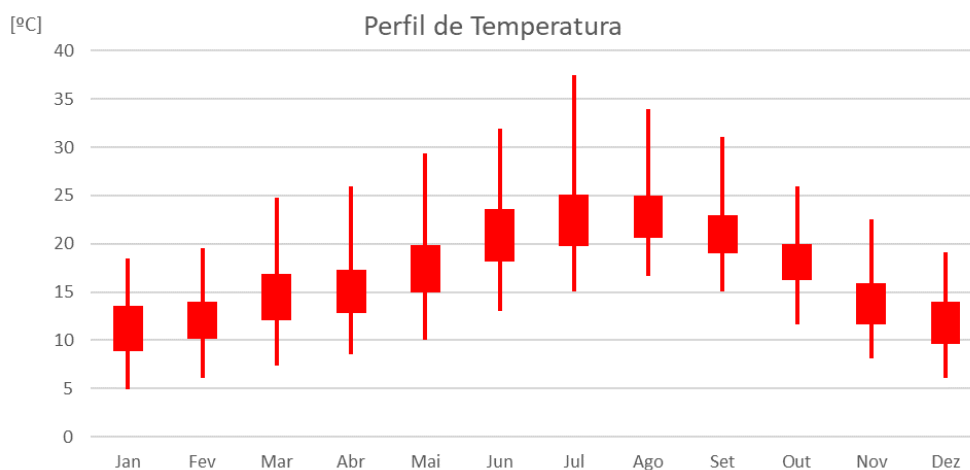


Figura 72 – Evolução mensal da temperatura no local – anexo.

A duração do dia representa as horas do dia em que o disco solar permanece visível à superfície terrestre, em local com horizonte desobstruído.

A duração do brilho solar, num determinado período, é definida pela soma dos intervalos de tempo para os quais a irradiância solar direta excede o valor de 120 W/m^2 e é expresso em unidades de tempo. Na prática este parâmetro define a nebulosidade do local.

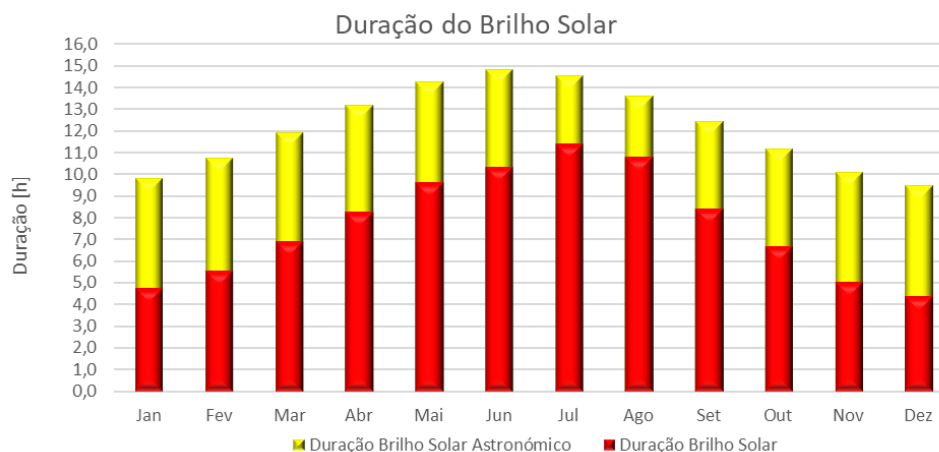


Figura 73 – Duração média diária do brilho solar.

Fazendo uma análise resumida dos dados climatológicos apresentados, pode-se concluir que no local de instalação do sistema solar, os meses com maior radiação solar incidente são os meses de verão (entre maio e setembro), sendo que a produção pode ser eventualmente maximizada com a inclinação dos painéis. Os valores de temperatura ambiente mais elevados ocorrem também no verão, nos meses de junho a setembro.

6.1.2 Dados técnicos

As simulações pressupuseram a identificação de equipamentos essenciais ao funcionamento de uma instalação solar fotovoltaica, com especial destaque para o painel solar fotovoltaico e os inversores. Para tal, selecionou-se uma tipologia de painel solar fotovoltaico modelo, correspondente a uma das soluções mais atualizadas no mercado. Desta forma, foi considerado o modelo de painel fotovoltaico, LONGI Solar LR4-72HPH-450M, para todos os cenários estimados. O modelo é um painel de silício monocristalino com 450W de potência, com 72 células fotovoltaicas e uma eficiência de 20,7%. Os inversores considerados são da marca SMA, com eficiência acima dos 95%. O conjunto de características do sistema solar são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 – Características dos equipamentos usados na simulação – anexo.

Modelo	LR4-72HPH-450M
Largura do módulo (m)	1,038
Comprimento (m)	2,094
Área do módulo (m ²)	2,17
Potência nominal (Wp)	450
Eficiência do módulo (%)	20,7
Degradação dos módulos (%)	0,8
Rendimento inversor (%)	95

As condições de simulação são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25 – Condições de simulação – anexo.

Ventilação traseira	Boa
Sujeira (2%)	2
Perda por cabos (%)	2
Mismatching (%)	4

6.1.3 Análise económica

6.1.3.1 Cenário atual

Na Tabela 26, apresentam-se os principais resultados económicos associados com a simulação da instalação fotovoltaica do cenário atual do edifício.

Tabela 26 – Resultados económicos da simulação (cenário atual) – anexo.

Poupança anual [€]	4 284
Venda de energia à rede [€]	0
Investimento (s/IVA)	18 900
Custo de manutenção [€/ano]	189
Vida útil [anos]	25
LCOE (<i>Levelized Cost of Energy</i>) [€/kWh]	0,03
Retorno de investimento [anos]	4,5
Taxa interna de rentabilidade (TIR) [%]	23,5
Valor atual líquido [€]	112 974

6.1.3.2 Cenário melhoria

Na Tabela 27, apresentam-se os principais resultados económicos associados com a simulação da instalação fotovoltaica do cenário atual do edifício.

Tabela 27 – Resultados económicos da simulação (cenário melhoria) – anexo.

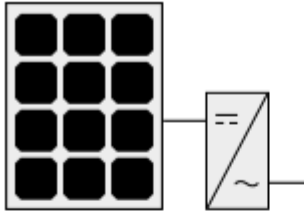
Poupança anual [€]	5 061
Venda de energia à rede [€]	0
Investimento (s/IVA)	24 750
Custo de manutenção [€/ano]	248
Vida útil [anos]	25
LCOE (<i>Levelized Cost of Energy</i>) [€/kWh]	0,03
Retorno de investimento [anos]	4,9
Taxa interna de rentabilidade (TIR) [%]	21,2
Valor atual líquido [€]	130 353

Relatório profissional

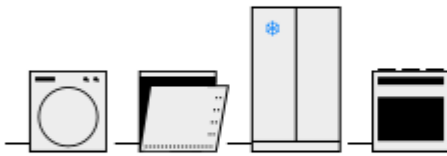
6.1.4 Relatórios de simulação

Edifício em estudo - Micro

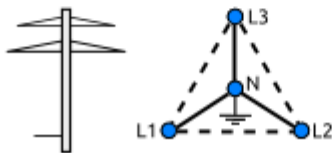
Inverno_R



Fotovoltaico: LR4-72HPH-450M
Número de módulos: 42
Potência nominal total DC: 18,9 kW
Orientação (E=+90°, S=0°, O=-90°): -19,3 °
Ângulo de inclinação (horiz.=0°, vert.=90°): 30 °



Número dos perfis de consumo eléctrico: 1
Consumo total dos perfis: 281.812 kWh



Rede eléctrica: Trifásico (230V/400V, 50Hz, em estrela)
Voltagem da rede local: 400 V

Limite de entrada de rede: não

Local do sistema

Lisboa - Estrela

Este relatório foi feito por:

Roberto Ribeiro

Relatório profissional

Panorama do sistema (valores anuais)

Consumo eléctrico total [Ecs]	281.815 kWh
-------------------------------	-------------

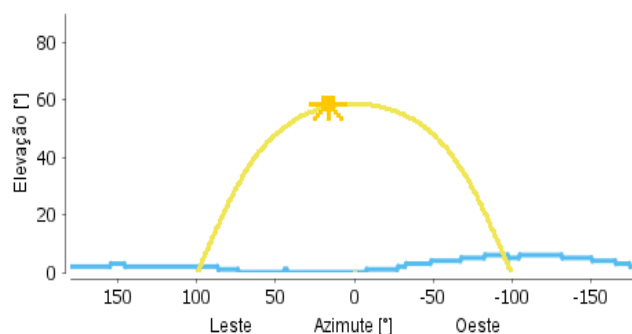
Panorama fotovoltaico (valores anuais)

Superfície total bruta	91,1 m ²
Produção de energia DC [Qpvf]	30.807,4 kWh
Produção de energia AC [Qinv]	29.688,7 kWh
Potência nominal total DC	18,9 kW
Proporção performance	83 %
Rendimento específico anual	1.571 kWh/kWp
Desbalanceamento de fase	4,6 kVA
Energia reactiva [Qinvr]	0 kvarh
Energia aparente [Qinva]	29.688,7 kVAh
Economia de CO2	15.925 kg

Panorama eletricidade (valores anuais)

Consumo anual	281.815 kWh
Auto-consumo	29.674 kWh
Percentual auto-consumo	100 %
Grau de auto-suficiência	10,5 %

Linha do horizonte



Dados meteorológicos-Panorama

Temperatura externa média	16,8 °C
Radiação global, soma anual	1.685 kWh/m ²
Radiação difusa, soma anual	603 kWh/m ²

Relatório profissional

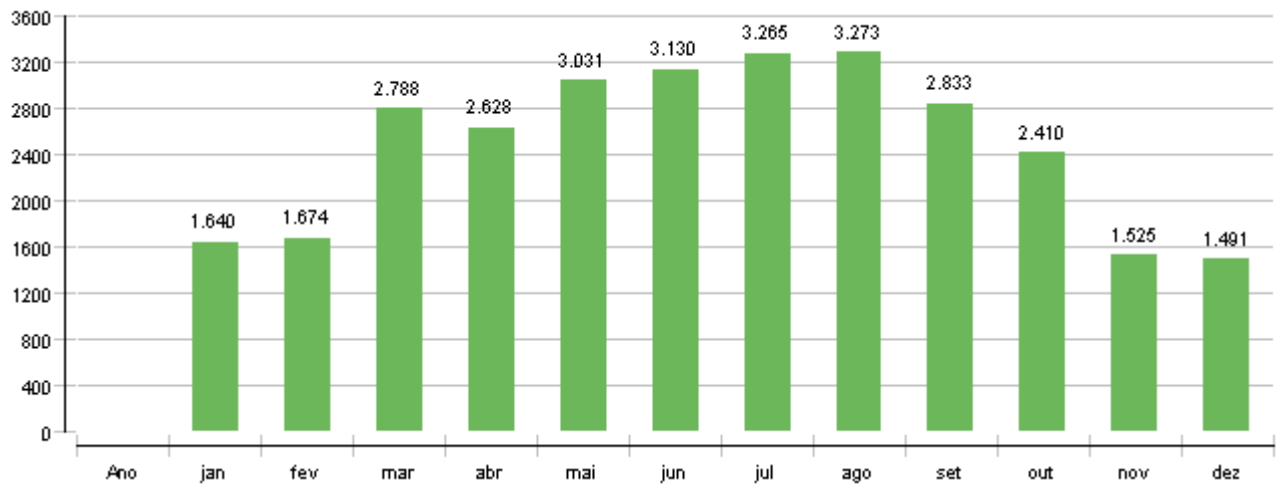
Panorama componentes (valores anuais)

Fotovoltaico		LR4-72HPH-450M
Fabricante		Longi Solar
Fonte dos dados		Photovoltaikforum
Número de módulos		42
Número de módulos (dimensionamento)		42
Potência nominal total DC	kW	18,9
Superfície total bruta	m ²	91,14
Ângulo de inclinação (horiz.=0°, vert.=90°)	°	30
Orientação (E=+90°, S=0°, O=-90°)	°	-19,3
Inversor 1: Nome		Sunny Boy SB 5000SE-10
Inversor 1: Fabricante		SMA Solar Technology AG
Inversor 1: Número de fases		1
Projecto 1: Número de inversores		3
Projecto 1: cos phi		1
Projecto 1: A número strings		1
Projecto 1: A módulos por string		7
Projecto 1: B número strings		1
Projecto 1: B módulos por string		7
Potência nominal total AC	kVA	13,8
Produção de energia DC [Qpvf]	kWh	30.807
Produção de energia AC [Qinv]	kWh	29.689
Rendimento específico anual	kWh/kWp	1.571
Energia reactiva [Qinvr]	kvarh	0
Energia aparente [Qinva]	kVAh	29.689
Perdas cabos [Qcb]	kWh	416
De-rating inversor [Qderi]	kWh	0
Perdas de-rating [Qder]	kWh	0
Usos eléctricos 1		Standard
Consumo eléctrico [Ecs]	kWh	281.815
Consumo eléctrico dos perfis [Epcs]	kWh	281.815
Auto-consumo [Eocs]	kWh	29.674
Percentual auto-consumo [Rocs]	%	100
Grau de auto-suficiência [Raut]	%	10,5

Relatório profissional

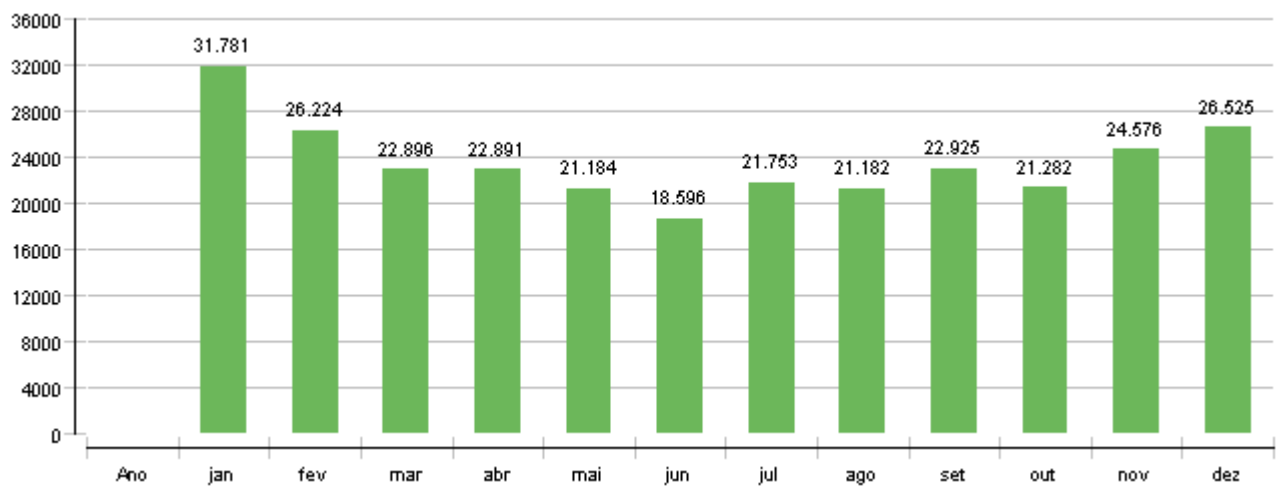
Rendimento fotovoltaico AC [Qinv]

kWh



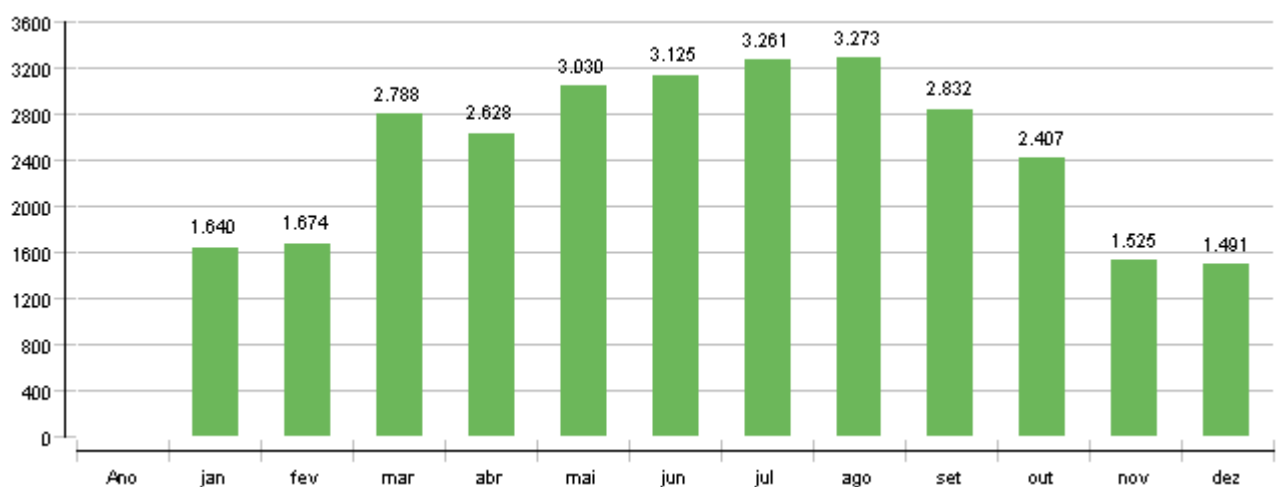
Consumo eléctrico total [Ecs]

kWh



Auto-consumo [Eocs]

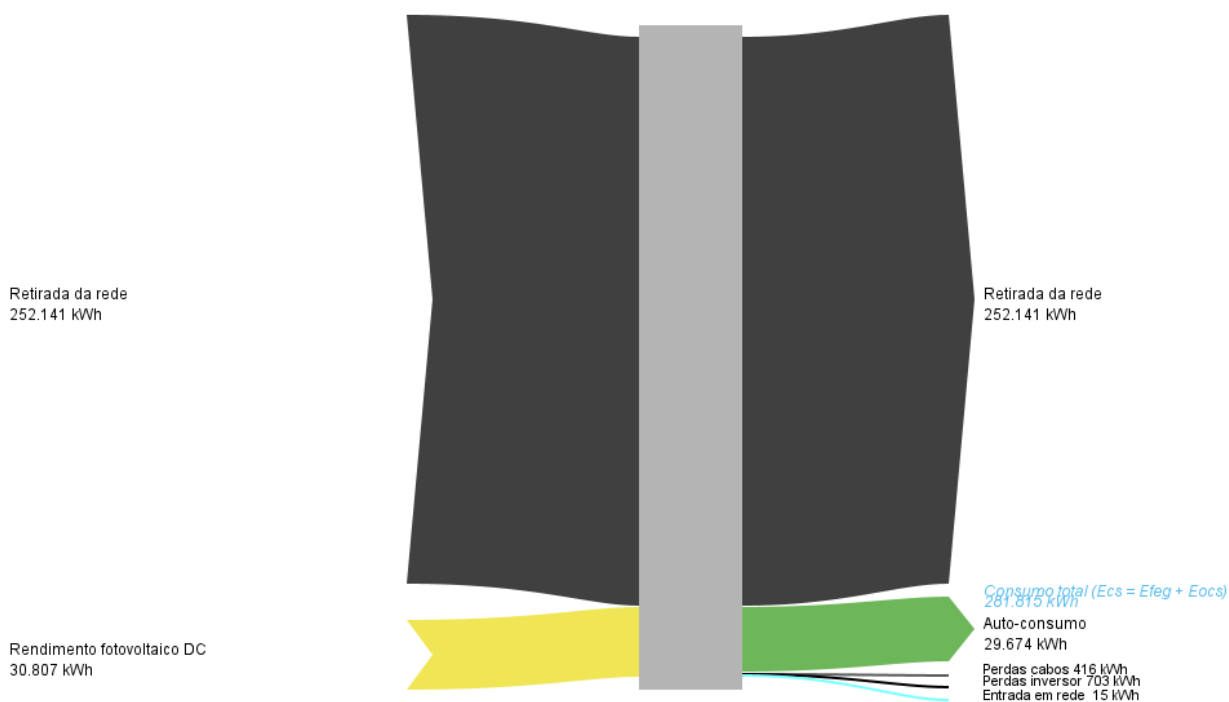
kWh



Relatório profissional

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Rendimento fotovoltaico DC [Qpvf]													
kWh	30807	1704	1741	2890	2728	3147	3247	3386	3393	2935	2499	1588	1550
Irradiação sobre o plano do módulo [Esol PV]													
kWh	172464	9326	9583	15957	15122	17602	18365	19287	19332	16607	13979	8792	8511
Rendimento fotovoltaico AC [Qinv]													
kWh	29689	1640	1674	2788	2628	3031	3130	3265	3273	2833	2410	1525	1491
Consumo eléctrico total [Ecs]													
kWh	281815	31781	26224	22896	22891	21184	18596	21753	21182	22925	21282	24576	26525
Auto-consumo [Eocs]													
kWh	29674	1640	1674	2788	2628	3030	3125	3261	3273	2832	2407	1525	1491

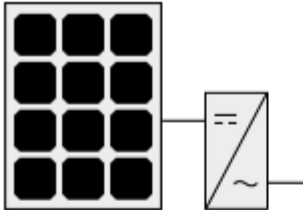
Diagrama dos fluxos de energia (balanço anual)



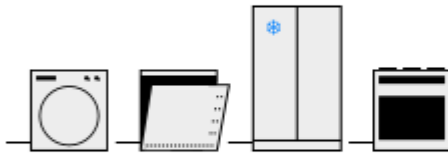
Relatório profissional

Edifício em estudo - Micro

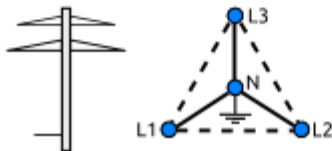
Verão_R



Fotovoltaico: LR4-72HPH-450M
Número de módulos: 54
Potência nominal total DC: 24,3 kW
Orientação (E=+90°, S=0°, O=-90°): -19,3 °
Ângulo de inclinação (horiz.=0°, vert.=90°): 30 °



Número dos perfis de consumo eléctrico: 1
Consumo total dos perfis: 281.812 kWh



Rede eléctrica: Trifásico (230V/400V, 50Hz, em estrela)
Voltagem da rede local: 400 V

Limite de entrada de rede: não

Local do sistema

Lisboa - Estrela

Este relatório foi feito por:
Roberto Ribeiro

Relatório profissional

Panorama do sistema (valores anuais)

Consumo eléctrico total [Ecs]	281.815 kWh
-------------------------------	-------------

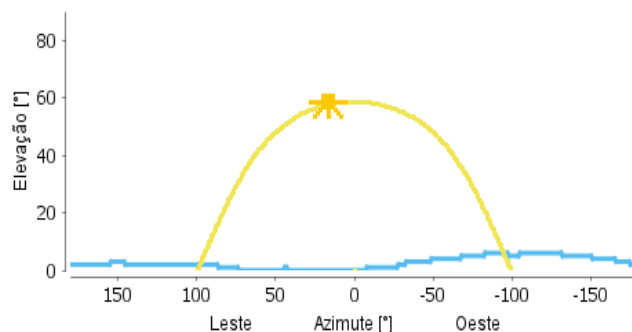
Panorama fotovoltaico (valores anuais)

Superfície total bruta	117,2 m ²
Produção de energia DC [Qpvf]	39.749 kWh
Produção de energia AC [Qinv]	37.947,3 kWh
Potência nominal total DC	24,3 kW
Proporção performance	82,5 %
Rendimento específico anual	1.562 kWh/kWp
Desbalanceamento de fase	0 kVA
Energia reactiva [Qinvr]	0 kvarh
Energia aparente [Qinva]	37.947,3 kVAh
Economia de CO ₂	20.355 kg

Panorama eletricidade (valores anuais)

Consumo anual	281.815 kWh
Auto-consumo	37.630 kWh
Percentual auto-consumo	99,2 %
Grau de auto-suficiência	13,4 %

Linha do horizonte



Dados meteorológicos-Panorama

Temperatura externa média	16,8 °C
Radiação global, soma anual	1.685 kWh/m ²
Radiação difusa, soma anual	603 kWh/m ²

Relatório profissional

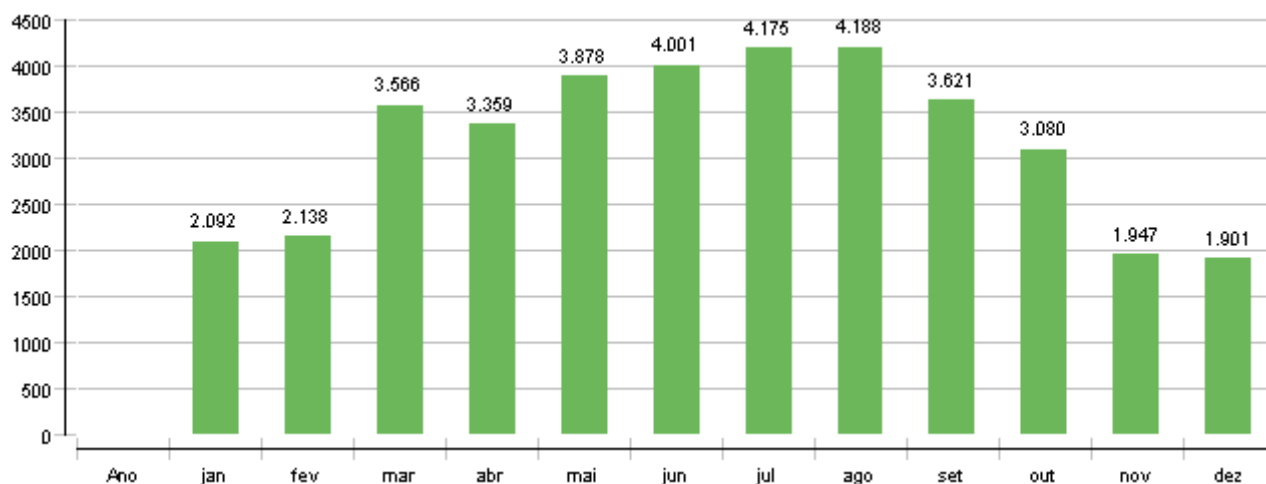
Panorama componentes (valores anuais)

Fotovoltaico		LR4-72HPH-450M
Fabricante		Longi Solar
Fonte dos dados		Photovoltaikforum
Número de módulos		54
Número de módulos (dimensionamento)		54
Potência nominal total DC	kW	24,3
Superfície total bruta	m ²	117,18
Ângulo de inclinação (horiz.=0°, vert.=90°)	°	30
Orientação (E=+90°, S=0°, O=-90°)	°	-19,3
Inversor 1: Nome		STP 12000TL-20
Inversor 1: Fabricante		SMA Solar Technology AG
Inversor 1: Número de fases		3
Projecto 1: Número de inversores		2
Projecto 1: cos phi		1
Projecto 1: A número strings		1
Projecto 1: A módulos por string		14
Projecto 1: B número strings		1
Projecto 1: B módulos por string		13
Potência nominal total AC	kVA	24
Produção de energia DC [Qpvf]	kWh	39.749
Produção de energia AC [Qinv]	kWh	37.947
Rendimento específico anual	kWh/kWp	1.562
Energia reactiva [Qinvr]	kvarh	0
Energia aparente [Qinvva]	kVAh	37.947
Perdas cabos [Qcbl]	kWh	396
De-rating inversor [Qderi]	kWh	0
Perdas de-rating [Qder]	kWh	0
Usos eléctricos 1	Standard	
Consumo eléctrico [Ecs]	kWh	281.815
Consumo eléctrico dos perfis [Epcs]	kWh	281.815
Auto-consumo [Eocs]	kWh	37.630
Percentual auto-consumo [Rocs]	%	99,2
Grau de auto-suficiência [Raut]	%	13,4

Relatório profissional

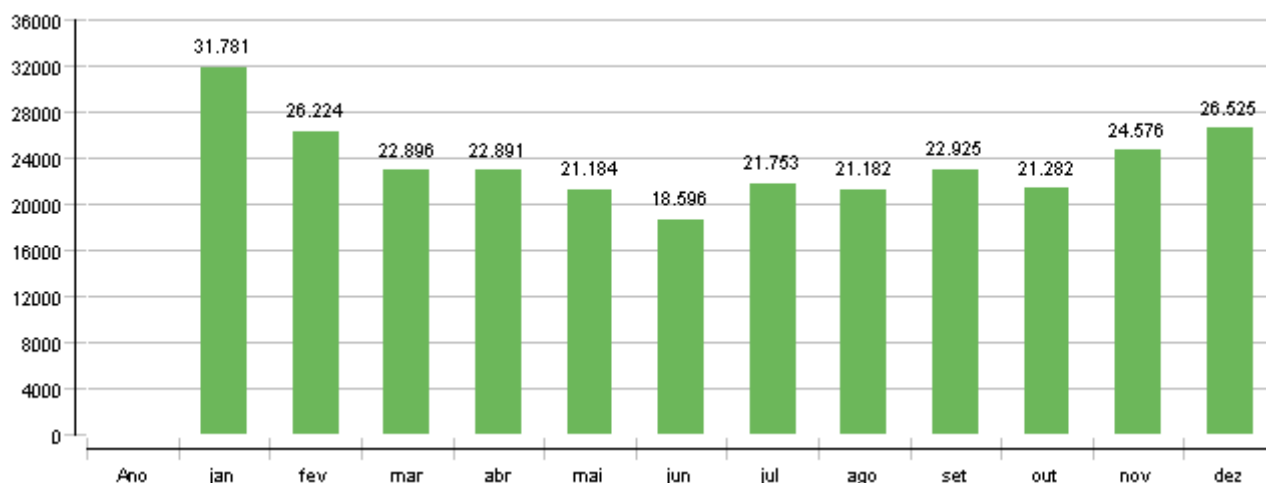
Rendimento fotovoltaico AC [Qinv]

kWh



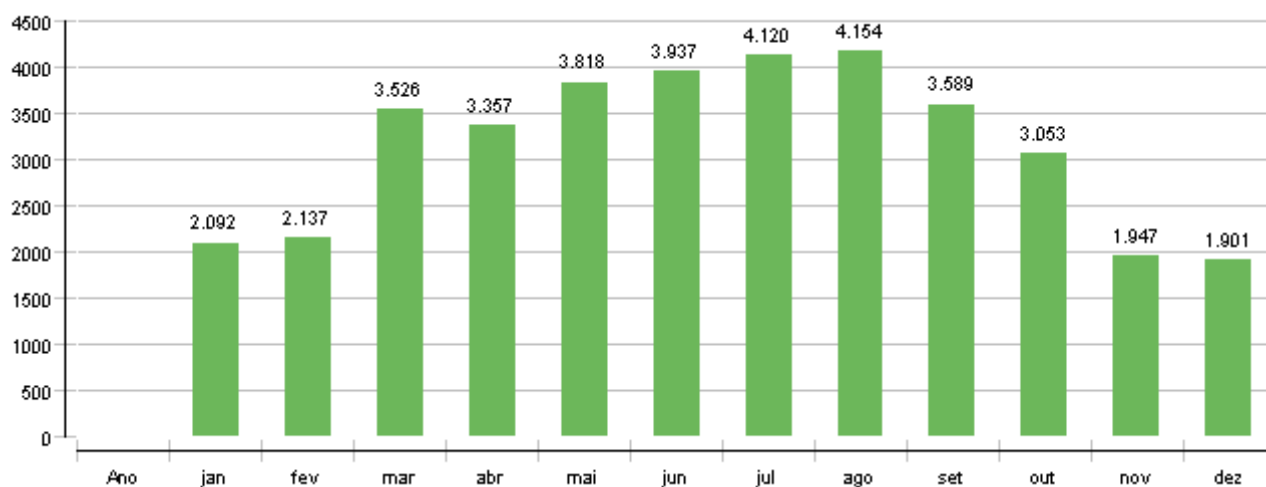
Consumo eléctrico total [Ecs]

kWh



Auto-consumo [Eocs]

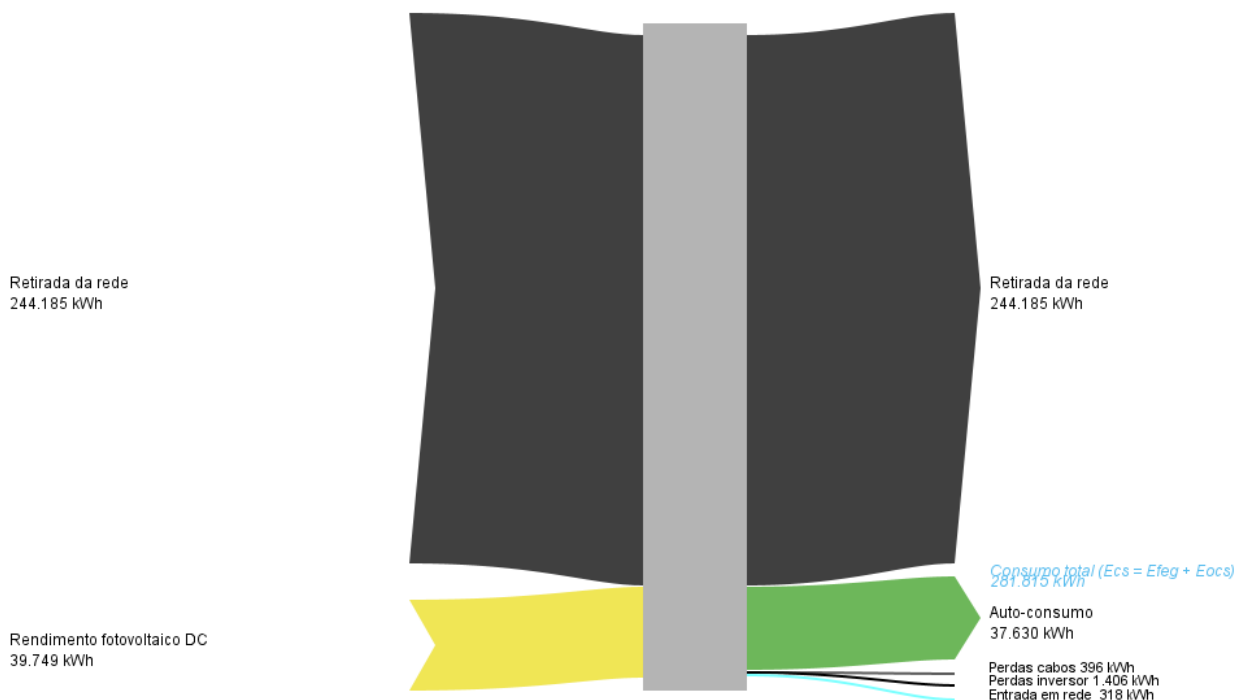
kWh



Relatório profissional

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Rendimento fotovoltaico DC [Qpvf]													
kWh	39749	2198	2245	3729	3519	4062	4190	4369	4379	3787	3225	2048	1999
Irradiação sobre o plano do módulo [Esol PV]													
kWh	221739	11991	12321	20516	19443	22631	23613	24797	24856	21352	17973	11304	10943
Rendimento fotovoltaico AC [Qinv]													
kWh	37947	2092	2138	3566	3359	3878	4001	4175	4188	3621	3080	1947	1901
Consumo eléctrico total [Ecs]													
kWh	281815	31781	26224	22896	22891	21184	18596	21753	21182	22925	21282	24576	26525
Auto-consumo [Eocs]													
kWh	37630	2092	2137	3526	3357	3818	3937	4120	4154	3589	3053	1947	1901

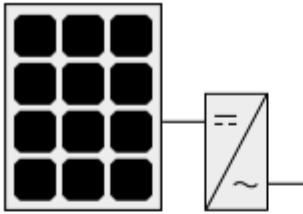
Diagrama dos fluxos de energia (balanço anual)



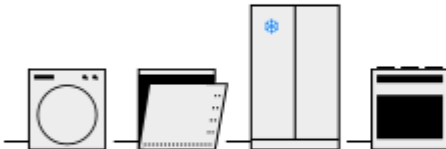
Relatório profissional

Edifício em estudo - Micro

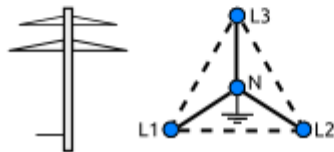
Inverno_M



Fotovoltaico: LR4-72HPH-450M
Número de módulos: 55
Potência nominal total DC: 24,75 kW
Orientação (E=+90°, S=0°, O=-90°): -19,3°
Ângulo de inclinação (horiz.=0°, vert.=90°): 30°



Número dos perfis de consumo eléctrico: 1
Consumo total dos perfis: 281.812 kWh



Rede eléctrica: Trifásico (230V/400V, 50Hz, em estrela)
Voltagem da rede local: 400 V
Limite de entrada de rede: não

Local do sistema

Lisboa - Estrela

Este relatório foi feito por:

Roberto Ribeiro

Relatório profissional

Panorama do sistema (valores anuais)

Consumo eléctrico total [Ecs]	281.815 kWh
-------------------------------	-------------

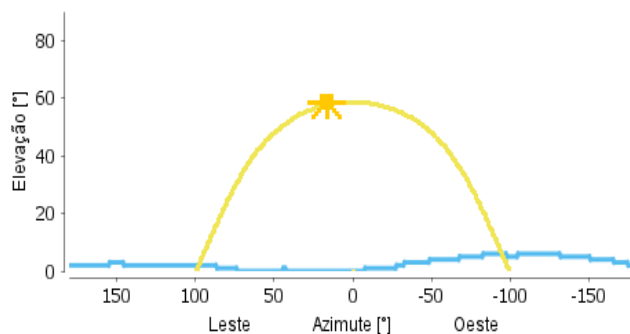
Panorama fotovoltaico (valores anuais)

Superfície total bruta	119,4 m ²
Produção de energia DC [Qpvf]	40.459,8 kWh
Produção de energia AC [Qinv]	39.165,5 kWh
Potência nominal total DC	24,75 kW
Proporção performance	83,6 %
Rendimento específico anual	1.582 kWh/kWp
Desbalanceamento de fase	0 kVA
Energia reactiva [Qinvr]	0 kvarh
Energia aparente [Qinva]	39.165,5 kVAh
Economia de CO ₂	21.008 kg

Panorama eletricidade (valores anuais)

Consumo anual	281.815 kWh
Auto-consumo	38.783 kWh
Percentual auto-consumo	99 %
Grau de auto-suficiência	13,8 %

Linha do horizonte



Dados meteorológicos-Panorama

Temperatura externa média	16,8 °C
Radiação global, soma anual	1.685 kWh/m ²
Radiação difusa, soma anual	603 kWh/m ²

Relatório profissional

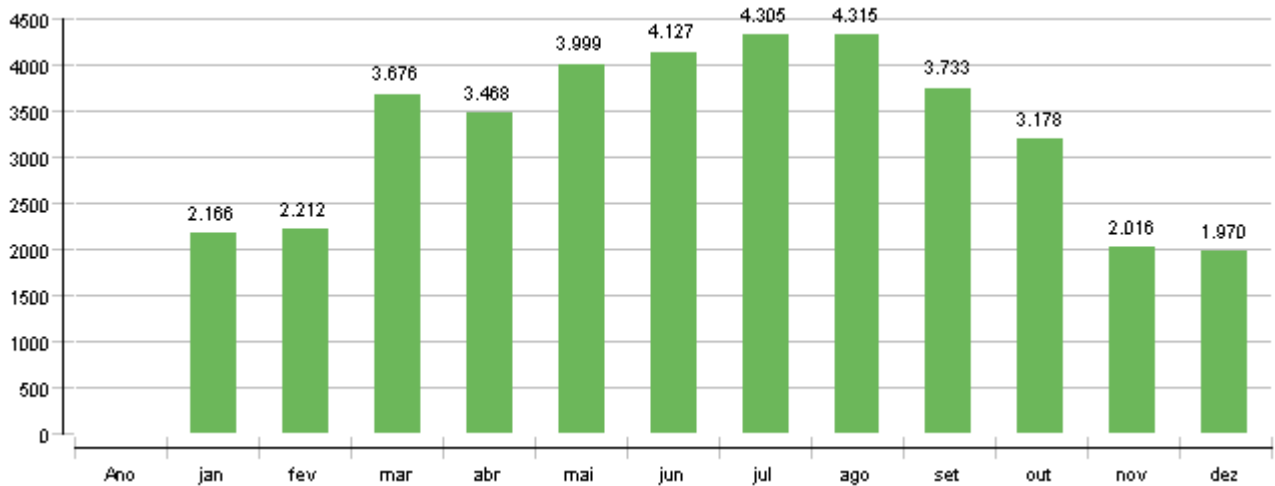
Panorama componentes (valores anuais)

Fotovoltaico	LR4-72HPH-450M	
Fabricante		Longi Solar
Fonte dos dados		Photovoltaikforum
Número de módulos		55
Número de módulos (dimensionamento)		55
Potência nominal total DC	kW	24,75
Superfície total bruta	m ²	119,35
Ângulo de inclinação (horiz.=0°, vert.=90°)	°	30
Orientação (E=+90°, S=0°, O=-90°)	°	-19,3
Inversor 1: Nome		SMA Sunny Boy 5.0
Inversor 1: Fabricante		SMA Solar Technology AG
Inversor 1: Número de fases		3
Projecto 1: Número de inversores		5
Projecto 1: cos phi		1
Projecto 1: A número strings		1
Projecto 1: A módulos por string		11
Potência nominal total AC	kVA	23
Produção de energia DC [Qpvf]	kWh	40.460
Produção de energia AC [Qinv]	kWh	39.165
Rendimento específico anual	kWh/kWp	1.582
Energia reactiva [Qinvr]	kvarh	0
Energia aparente [Qinva]	kVAh	39.165
Perdas cabos [Qcbl]	kWh	428
De-rating inversor [Qderi]	kWh	0,8
Perdas de-rating [Qder]	kWh	0,8
Usos eléctricos 1	Standard	
Consumo eléctrico [Ecs]	kWh	281.815
Consumo eléctrico dos perfis [Epcs]	kWh	281.815
Auto-consumo [Eocs]	kWh	38.783
Percentual auto-consumo [Rocs]	%	99
Grau de auto-suficiência [Raut]	%	13,8

Relatório profissional

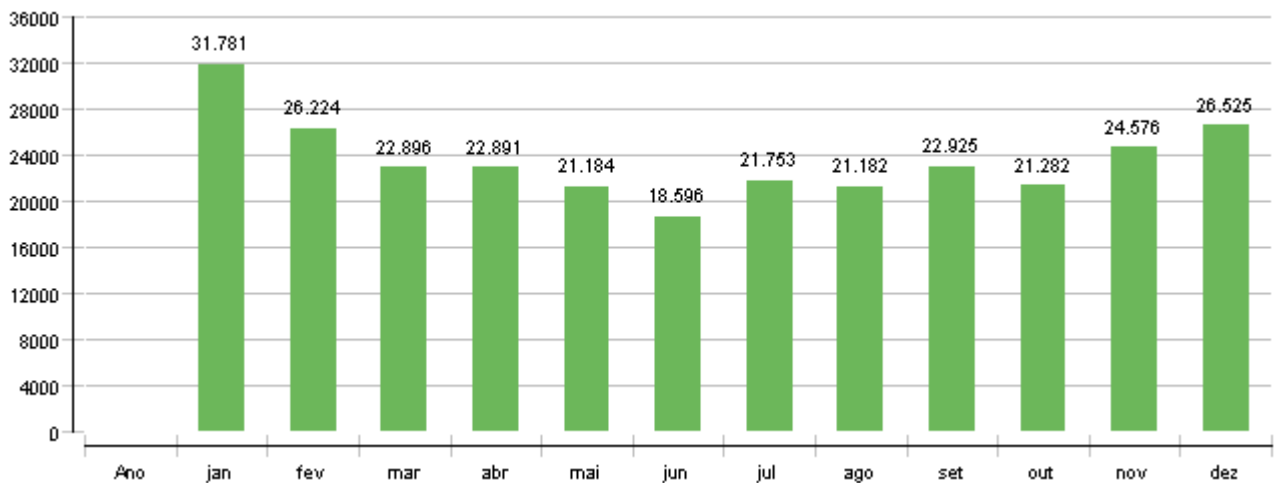
Rendimento fotovoltaico AC [Qinv]

kWh



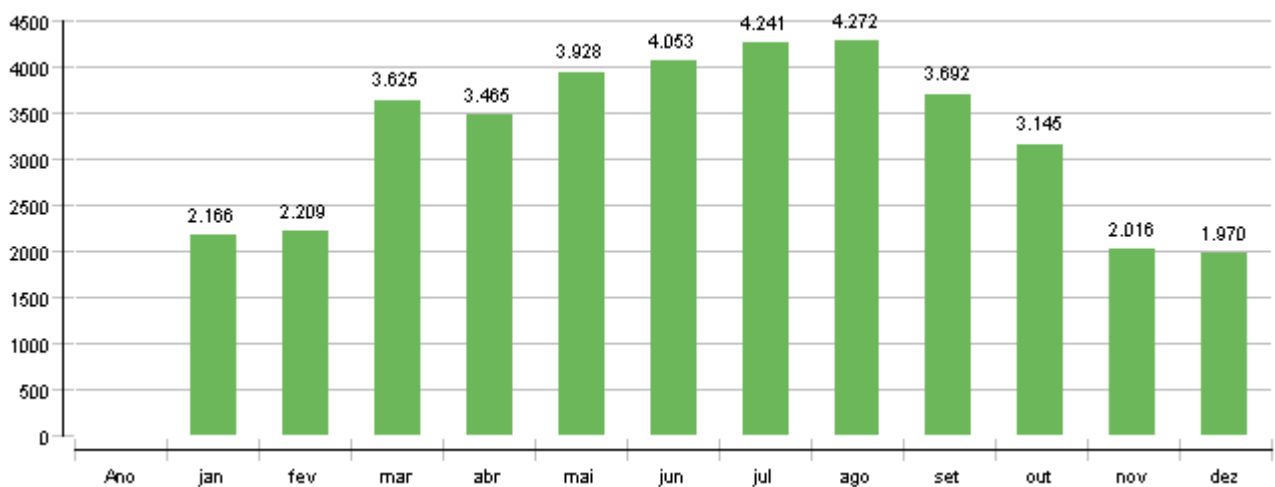
Consumo eléctrico total [Ecs]

kWh



Auto-consumo [Eocs]

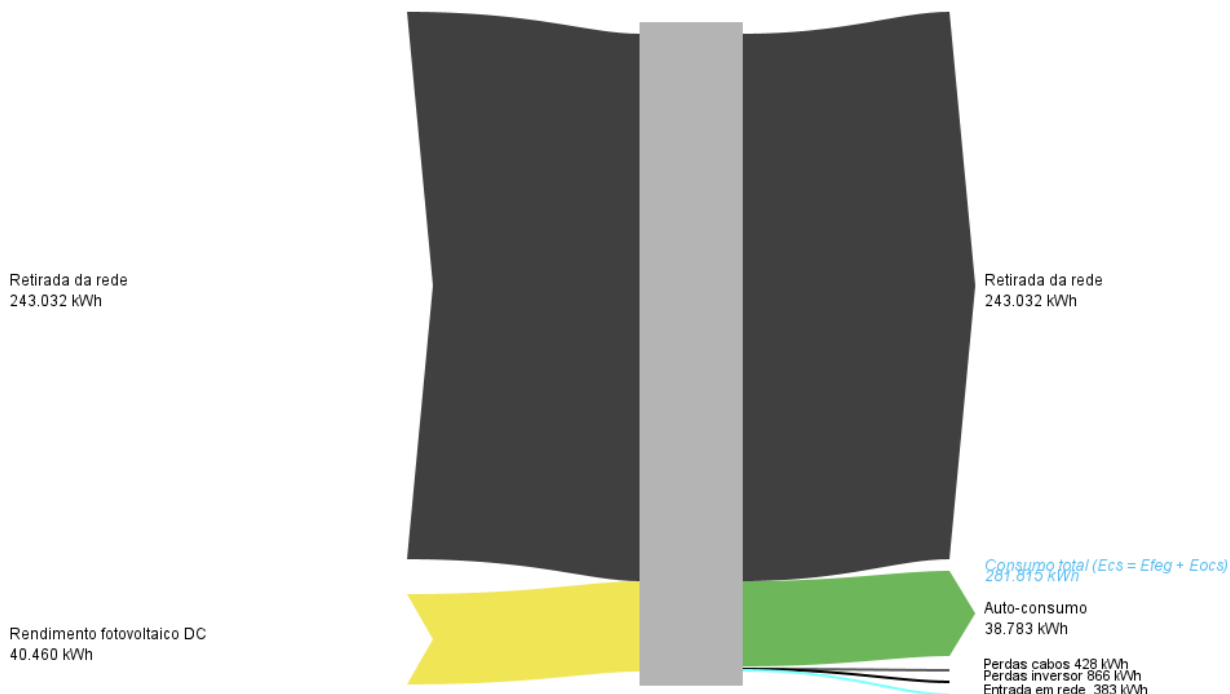
kWh



Relatório profissional

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Rendimento fotovoltaico DC [Qpvf]													
Rendimento fotovoltaico DC [Qpvf]													
kWh	40460	2237	2285	3796	3582	4134	4264	4447	4457	3855	3282	2085	2035
Irradiação sobre o plano do módulo [Esol PV]													
Irradiação sobre o plano do módulo [Esol PV]													
kWh	225846	12213	12549	20896	19803	23050	24050	25257	25316	21747	18305	11513	11146
Rendimento fotovoltaico AC [Qinv]													
Rendimento fotovoltaico AC [Qinv]													
kWh	39165	2166	2212	3676	3468	3999	4127	4305	4315	3733	3178	2016	1970
Consumo eléctrico total [Ecs]													
Consumo eléctrico total [Ecs]													
kWh	281815	31781	26224	22896	22891	21184	18596	21753	21182	22925	21282	24576	26525
Auto-consumo [Eocs]													
Auto-consumo [Eocs]													
kWh	38783	2166	2209	3625	3465	3928	4053	4241	4272	3692	3145	2016	1970

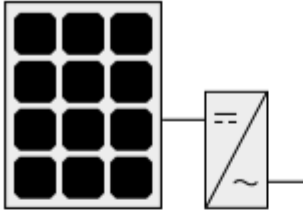
Diagrama dos fluxos de energia (balanço anual)



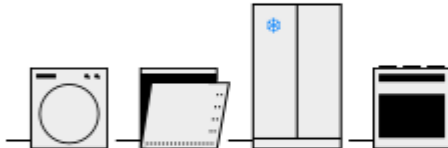
Relatório profissional

Edifício em estudo - Micro

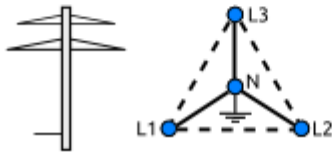
Verão_M



Fotovoltaico: LR4-72HPH-450M
Número de módulos: 60
Potência nominal total DC: 27 kW
Orientação (E=+90°, S=0°, O=-90°): -19,3 °
Ângulo de inclinação (horiz.=0°, vert.=90°): 30 °



Número dos perfis de consumo eléctrico: 1
Consumo total dos perfis: 281.812 kWh



Rede eléctrica: Trifásico (230V/400V, 50Hz, em estrela)
Voltagem da rede local: 400 V

Limite de entrada de rede: não

Local do sistema

Lisboa - Estrela

Este relatório foi feito por:

Roberto Ribeiro

Relatório profissional

Panorama do sistema (valores anuais)

Consumo eléctrico total [Ecs]	281.815 kWh
-------------------------------	-------------

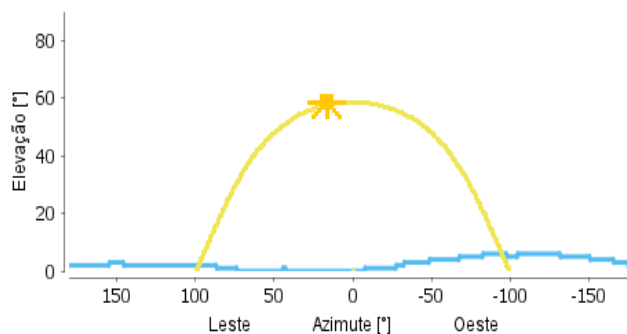
Panorama fotovoltaico (valores anuais)

Superfície total bruta	130,2 m ²
Produção de energia DC [Qpvf]	44.180,4 kWh
Produção de energia AC [Qinv]	42.775,5 kWh
Potência nominal total DC	27 kW
Proporção performance	83,7 %
Rendimento específico anual	1.584 kWh/kWp
Desbalanceamento de fase	0 kVA
Energia reactiva [Qinvr]	0 kvarh
Energia aparente [Qinva]	42.775,5 kVAh
Economia de CO ₂	22.945 kg

Panorama eletricidade (valores anuais)

Consumo anual	281.815 kWh
Auto-consumo	42.080 kWh
Percentual auto-consumo	98,4 %
Grau de auto-suficiência	14,9 %

Linha do horizonte



Dados meteorológicos-Panorama

Temperatura externa média	16,8 °C
Radiação global, soma anual	1.685 kWh/m ²
Radiação difusa, soma anual	603 kWh/m ²

Relatório profissional

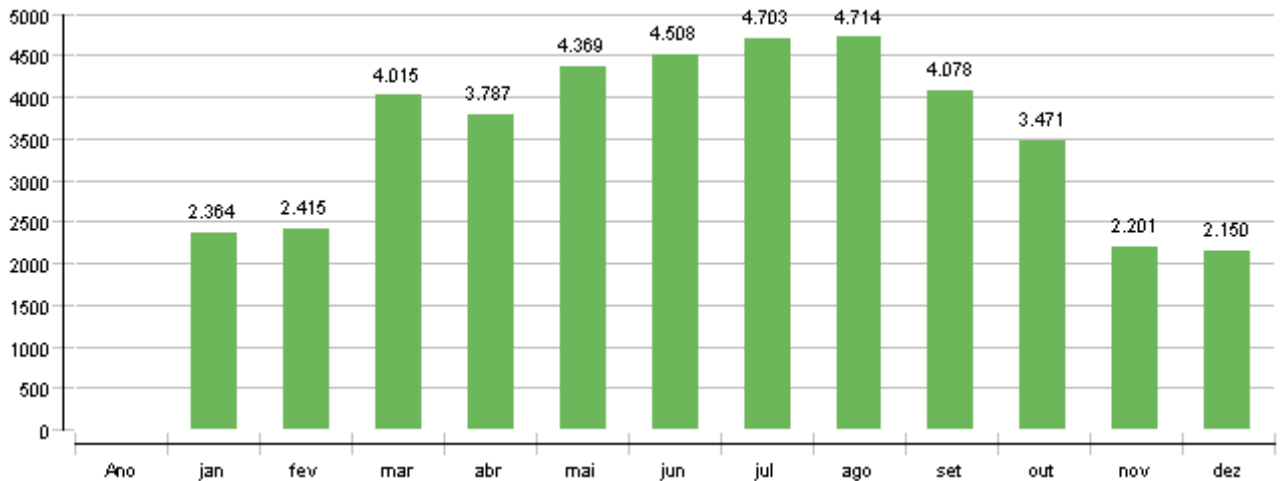
Panorama componentes (valores anuais)

Fotovoltaico	LR4-72HPH-450M	
Fabricante		Longi Solar
Fonte dos dados		Photovoltaikforum
Número de módulos		60
Número de módulos (dimensionamento)		60
Potência nominal total DC	kW	27
Superfície total bruta	m ²	130,2
Ângulo de inclinação (horiz.=0°, vert.=90°)	°	30
Orientação (E=+90°, S=0°, O=-90°)	°	-19,3
Inversor 1: Nome		SMA Sunny Boy 5.0
Inversor 1: Fabricante		SMA Solar Technology AG
Inversor 1: Número de fases		3
Projecto 1: Número de inversores		6
Projecto 1: cos phi		1
Projecto 1: A número strings		1
Projecto 1: A módulos por string		10
Potência nominal total AC	kVA	27,6
Produção de energia DC [Qpvf]	kWh	44.180
Produção de energia AC [Qinv]	kWh	42.776
Rendimento específico anual	kWh/kWp	1.584
Energia reactiva [Qinvr]	kvarh	0
Energia aparente [Qinva]	kVAh	42.776
Perdas cabos [Qcbl]	kWh	425
De-rating inversor [Qderi]	kWh	0
Perdas de-rating [Qder]	kWh	0
Usos eléctricos 1	Standard	
Consumo eléctrico [Ecs]	kWh	281.815
Consumo eléctrico dos perfis [Epcs]	kWh	281.815
Auto-consumo [Eocs]	kWh	42.080
Percentual auto-consumo [Rocs]	%	98,4
Grau de auto-suficiência [Raut]	%	14,9

Relatório profissional

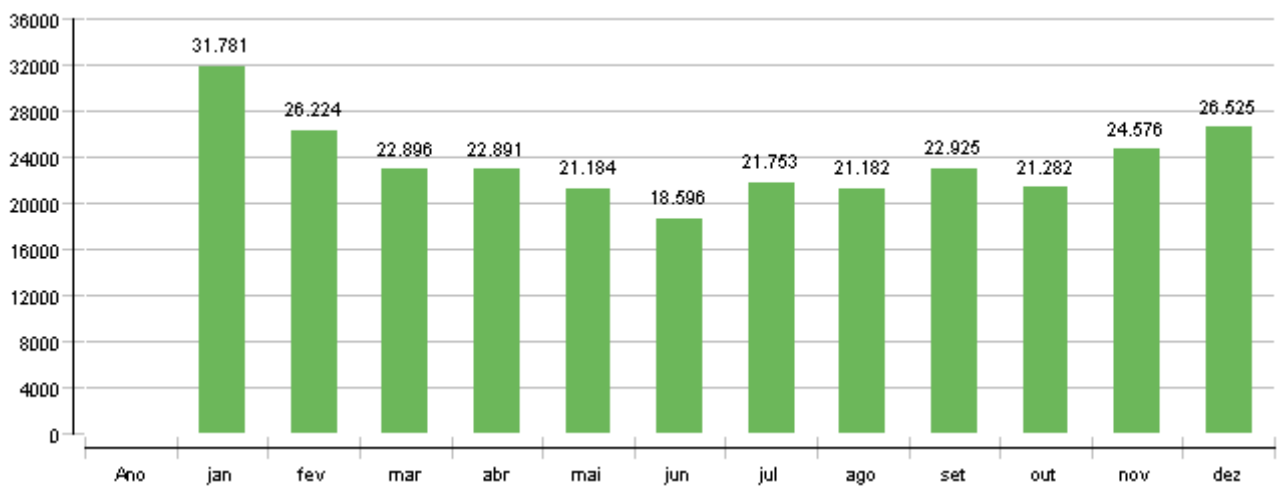
Rendimento fotovoltaico AC [Qinv]

kWh



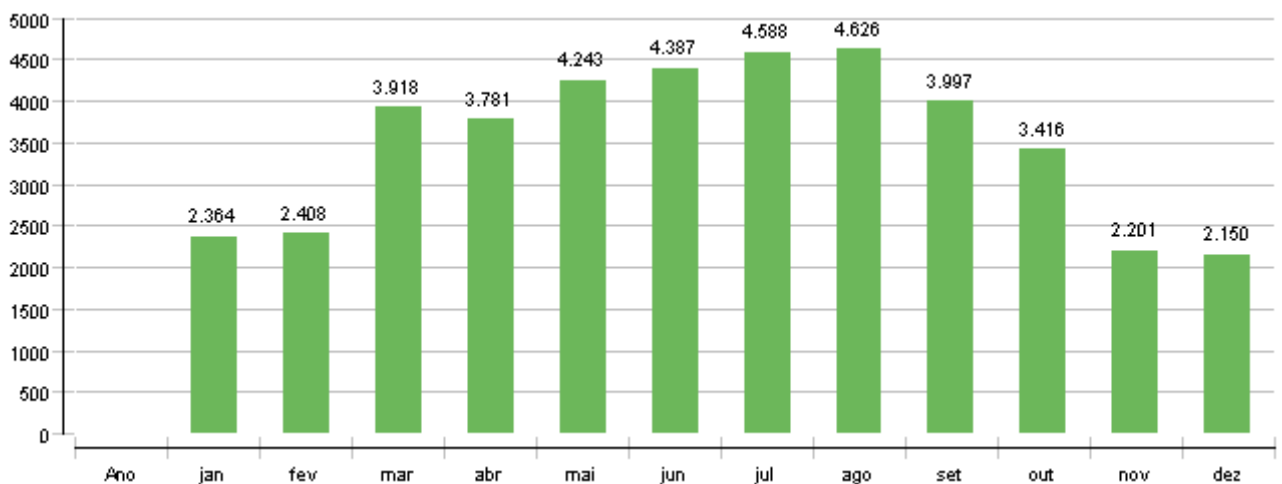
Consumo eléctrico total [Ecs]

kWh



Auto-consumo [Eocs]

kWh



Relatório profissional

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Rendimento fotovoltaico DC [Qpvf]													
kWh	44180	2442	2495	4145	3911	4515	4657	4857	4867	4209	3584	2276	2222
Irradiação sobre o plano do módulo [Esol PV]													
kWh	246377	13323	13690	22795	21603	25145	26236	27553	27618	23724	19970	12560	12159
Rendimento fotovoltaico AC [Qinv]													
kWh	42776	2364	2415	4015	3787	4369	4508	4703	4714	4078	3471	2201	2150
Consumo eléctrico total [Ecs]													
kWh	281815	31781	26224	22896	22891	21184	18596	21753	21182	22925	21282	24576	26525
Auto-consumo [Eocs]													
kWh	42080	2364	2408	3918	3781	4243	4387	4588	4626	3997	3416	2201	2150

Diagrama dos fluxos de energia (balanço anual)

