

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Reabilitação Energética de um Edifício de Serviços. Convergência para NZEB.

**RICARDO MIGUEL DAS NEVES PINTO
(LICENCIADO EM ENGENHARIA CIVIL)**

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na
área de Especialização de Edificações

Orientador:

Especialista João António Antunes Hormigo
Doutor Pedro Miguel Matos Soares

Júri:

Presidente: Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Vogais:

Especialista João António Antunes Hormigo
Especialista Maria Hortense Marques da Silva Baeta

Novembro de 2014

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais, que proporcionaram que eu atingisse mais uma meta e a quem devo tudo o que sou e fiz.

O meu segundo agradecimento é dirigido à Daniela, por toda a paciência, pela ajuda, pelo carinho e, especialmente, pela força e motivação que sempre me transmitiu, do primeiro ao último minuto.

Um agradecimento muito especial aos meus orientadores, o Professor João Hormigo e o Professor Pedro Soares, por terem aceitado abraçar este projeto comigo. Por todas as horas que despenderam comigo, pela prontidão com que sempre me ajudaram, por tudo o que me ensinaram e pela simpatia e sinceridade que os caracteriza.

Um agradecimento muito especial aos engenheiros Nuno Mateus e António Soares pela disponibilidade para os ensinamentos e esclarecimentos de todas as temáticas afetas ao programa de simulação energética.

Quero agradecer ao engenheiro Rui Fragoso por toda a disponibilidade demonstrada ao longo de todo o processo de pesquisa e desenvolvimento

Quero agradecer em particular aos meus amigos Tiago Lopes, David Leonardo, David Martins e Ricardo Lourinho, Miguel Nalha, Miguel Neto Sameiro, por todo o apoio técnico e moral prestado, durante todo o processo de desenvolvimento. A todos, um muito obrigado.

Gostaria também de agradecer a todos os meus amigos de Alpiarça e do ISEL, que direta ou indiretamente, me apoiaram, transmitiram força e abdicaram do seu tempo comigo durante a realização desta dissertação. É certo que uma dissertação é um projeto individual mas, sem o apoio e o contributo dos que me rodeiam o caminho teria sido muito mais difícil de percorrer.

RESUMO

As mais recentes preocupações mundiais têm-se focado sobre a forma insustentável como a população utiliza os diversos recursos energéticos existentes. Os edifícios são responsáveis por grande parte do consumo da energia mundial, facto facilmente perceptível visto que atualmente grande parte do tempo é despendido dentro destes. Muitos esforços têm vindo a ser desenvolvidos como forma de proporcionar que os consumos de energia realizados pela normal utilização dos edifícios venham a ser reduzidos. Neste sentido, o conceito NZEB, surge como o mais recente esforço desenvolvido pela União Europeia, para que o consumo nos edifícios possa vir a diminuir. Este conceito surge numa época relevante, visto que grande parte do património edificado na Europa, e especialmente em Portugal, necessita de ser intervencionado. Estas intervenções, apresentam-se como uma importante ferramenta, visto que será expectável que através delas, o consumo de energia nos edifícios venha a ser diminuído.

Numa primeira fase, serão nesta dissertação abordadas temáticas afetas ao consumo de energia no Mundo e na Europa. Para além disso, efetua-se uma exposição de conteúdos ligados aos diversos documentos legislativos que regulam a área da eficiência energética nos edifícios, bem como será efetuada uma especificação muito pormenorizada do conceito NZEB.

Seguidamente, proceder-se-á a uma exposição de conteúdos afetos a diversas técnicas construtivas, a diferentes tipos de materiais inovadores e a um conjunto de estratégias passivas, que poderão no contexto de uma reabilitação de um edifício proporcionar uma melhoria do seu desempenho energético. Para que se pudesse aprofundar a aplicabilidade deste conceito NZEB em Portugal, procedeu-se à realização de um estudo a um edifício de serviços em Coimbra. Para a realização deste estudo, elaborou-se, numa primeira fase, uma avaliação muito técnica e pormenorizada a um conjunto de elementos existentes, que possibilitaram a caracterização energética do edifício e a construção de um modelo de simulação do mesmo. Com um conjunto de simulações de sensibilidade, foram definidas um conjunto de propostas de melhoria com vista a estimar a possibilidade de este edifício atingir uma convergência ao conceito NZEB. Com a implementação das medidas de melhoria propostas e simuladas, conseguiu-se atingir uma redução do consumo anual do edifício em cerca de 41%, em relação ao consumo anual de 2013. A contribuição das energias renováveis na redução estimada é cerca de 19%. Desta forma, com a implementação das medidas de melhoria propostas, o edifício passará a apresentar um consumo médio anual de cerca 46 kWh/m².ano. Este valor representa um passo importante na convergência do edifício para NZEB, e vai ao encontro dos valores que outros países já estabeleceram como referencia para este tipo de edifícios.

Palavras-chave: *Eficiência Energética, NZEB, Técnicas de Reabilitação Energética de Edifícios, Nanomateriais, Phase Change Materials, Iluminação Eficiente, Arrefecimento e Aquecimento Passivo, Produção de Energia Elétrica, EnergyPlus*

ABSTRACT

The most recent global concerns revolve about the unsustainable way as the population uses the various existing energy resources. Buildings are responsible for much of the world's energy consumption, a fact easily noticeable since currently most of the time is spent inside them. Many efforts have been developed in order to define how to reduce the energy consumption necessary to guarantee the normal use of a building. In this sense, the concept NZEB, comes as the latest effort from the European Union, so that consumption in buildings is likely to decrease. This concept comes at a relevant time, since much of the real estate in Europe, and especially in Portugal, are in urgent need to be rehabilitated. The real estate rehabilitation may play an important role in the reduction of energy consumption.

In the first part of this dissertation the overview of energy consumption in the world and in Europe will be addressed. In addition, several legislative documents related to energy efficiency in buildings will be presented and a more precise specification of the NZEB concept will be developed. Additionally several construction techniques, new innovative materials of different types and a set of passive strategies, will be presented. These techniques, new materials and passive strategies provide an improvement of energy performance in the context of the rehabilitation of a building. In order to really understand the applicability of the NZEB concept in Portugal, the thorough study of a service building located in Coimbra was developed. Therefore and on a first step a very technical and detailed energy characterization of the building was developed, followed by the elaboration of a simulation model, based on an existing and adequate software program. Based on simulation a set of proposals for energy performance improvement were studied. The main objective is to evaluate the possibility of this building to achieve a NZEB performance. With the implementation of the simulated and proposed improvement measures, it was possible to achieve a reduction of 41% of the annual energy consumption of the building when compared to the annual consumption in the year 2013. The contribution of renewable energy in the estimated energy reduction is around 19%.

Therefore with the implementation of the proposed improvement measures, the average energy annual consumption will be around 46 kWh/m².year. This value is consistent with the values that other countries have set as a reference for such buildings.

Key-words: *Energy Performance, NZEB, Techniques Energy Rehabilitation of Buildings, Nanomaterials, Phase Change Materials, Efficient Lighting, Passive Heating and Cooling, Energy Production, EnergyPlus.*

ABREVIATURAS

AQS – Águas Quentes Sanitárias;
AVAC – Aquecimento, Ventilação, e Ar Condicionado;
ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers;
BIPV – Building Integrated Photovoltaic Systems;
BM – Building Mounted;
Btu - British thermal unit;
BAWT – Building-Augmented Wind Turbines;
CO₂ – Dióxido de Carbono;
CH₄ – Metano;
CPC – Coletor Concentrador Parabólico;
DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia;
EM – Estado Membro;
EU – União Europeia;
EUA – Estados Unidos da América;
EPBD – Energy Performance of Buildings Directive;
GEE – Gases Efeito de Estufa;
IES – Illuminating Engineering Society of North America;
IGCC – International Green Construction Code;
IEA – International Energy Agency;
IEE – Indicador de Eficiência Energética;
LED – Light-Emitting Diode;
NZEB – Nearly Zero Energy Building;
N₂O – Óxido Nitroso;
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico;
PVC - Polyvinyl Chloride;
Ppm – Parte por milhão;
PQ – Perito Qualificado;
PCM – Phase Change Material;
QAI – Qualidade do Ar Interior;
RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;
RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços;
REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação;
SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios;
Tep – Tonelada Equivalente de Petróleo;
TIM – Técnico de Instalação e Manutenção de Edifícios e Sistemas;
USGBC – U.S Green Building Council;
UTA – Unidades de Tratamento de Ar;
VAV – Unidades de Fluido Variável;

GLOSSÁRIO

Albedo – A fração de energia refletida por uma superfície em relação ao total de energia nela incidente (expresso em percentagem);

Área Útil – Superfície utilizável por pessoas;

Área Bruta – Superfície edificada nos diversos níveis ou pisos, entendida como a soma das áreas de cada piso, medida pelo perímetro das paredes exteriores;

Condutibilidade Térmica – Propriedade térmica típica de um material homogéneo que é igual à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitárias desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces. Assim, a condutibilidade térmica caracteriza a maior ou menor facilidade de transferência de calor, ou seja, de condução de calor por parte dos materiais;

Coefficiente de transmissão térmica – O coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente, é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa;

Certificado SCE – É um documento com número próprio, emitido por um perito qualificado com vista à certificação energética de um determinado edifício ou fração, caracterizando-o em termos de desempenho energético;

Edifício – Construção permanente, fixa, encerrada, com acesso independente, que compreende um ou mais espaços destinados a servir de abrigo ou suporte à realização de atividades humanas;

Emissividade - Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura;

Energia Primária – Energia que entra no sistema enérgico sem sofrer qualquer alteração. Esta energia, ao ser transformada dá origem à energia final;

Energia Final - Energia resultante do processo de transformação da energia primária. É a energia que acaba por ser disponibilizada em diversas formas (eletricidade, combustíveis, gás, etc);

Energias renováveis - Energia proveniente de fontes não fósseis e renováveis, nomeadamente eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica e oceânica, hídrica, de biomassa e de biogás;

Envolvente - É conjunto de elementos de construção do edifício ou fração, compreendendo as paredes, pavimentos, coberturas e vãos, que separam o espaço interior útil do ambiente exterior, dos edifícios ou frações adjacentes, dos espaços não úteis e do solo;

Fração - Unidade autónoma, distinta e isolada, e com acesso próprio;

Sistema de climatização centralizado - Sistema de climatização em que os equipamentos de produção térmica se concentram numa instalação distinta dos espaços a climatizar, sendo o frio, calor ou humidade transportados por um fluido térmico;

Sistema passivo - Sistema construtivo concebido especificamente como forma de reduzir as necessidades energéticas dos edifícios, sem que o conforto térmico dos ocupantes seja comprometido;

Temperatura de Bulbo Seco - Temperatura medida na situação ambiente de determinado local;

Temperatura de Bulbo Húmido - Temperatura em estado estacionário atingida por uma pequena porção de líquido que evapora em uma grande quantidade de ar húmido não saturado. A temperatura de bulbo húmido é a temperatura mais baixa que pode ser alcançada apenas pela evaporação da água;

Ventilação natural - Ventilação ao longo de trajetos de fugas e de aberturas no edifício, possibilitada devido às diferenças de pressão, sem auxílio de componentes motorizados de movimentação do ar;

Índice

| | |
|--|-----|
| AGRADECIMENTOS | III |
| RESUMO | IV |
| ABSTRACT | V |
| ABREVIATURAS | VI |
| GLOSSÁRIO | VII |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Propósito da Dissertação | 1 |
| 1.2 Enquadramento | 2 |
| 1.3 Metodologia e Estrutura | 3 |
| 2. ESTRATÉGIA EUROPEIA PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS | 6 |
| 2.1 Dependência energética no Mundo e na Europa | 6 |
| 2.2 Contexto Legislativo Internacional | 13 |
| 2.2.1 EPBD – Energy Performance of Buildings Directive | 13 |
| 2.2.2 ASHRAE/ANSI/USGBC/IES 189.1 – Standards for the Design of High-Performance Green Buildings | 17 |
| 2.2.3 PassivHaus Zero Energy | 19 |
| 2.3 Contexto Legislativo Nacional | 21 |
| 2.3.1 Decreto-Lei nº58/2013 de 20 de Agosto | 22 |
| 2.3.2 Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de Agosto | 24 |
| 2.4 Relevância dos NZEB como estratégia de eficiência energética | 28 |
| 3. SUPORTE DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS | 32 |
| 3.1. Envolventes | 32 |
| 3.1.1. Envolventes Verticais | 32 |
| 3.1.2. Envolventes Horizontais | 38 |
| 3.1.3. Sombreamento de Fachadas | 43 |
| 3.2. As Potencialidades dos novos materiais | 46 |
| 3.2.1. Nanomateriais | 46 |
| 3.2.2. PCM | 47 |
| 3.3. Iluminação | 49 |
| 3.3.1. Iluminação Natural | 49 |
| 3.3.2. Iluminação LED | 52 |
| 3.4. Climatização Passiva | 53 |
| 3.4.1. Sistemas de Aquecimento Passivo | 54 |
| 3.4.2. Sistemas de Arrefecimento Passivo | 56 |

| | |
|---|-----|
| 3.5. Produção de Energia | 60 |
| 3.5.1. Energia Solar..... | 60 |
| 3.5.2. Energia Eólica..... | 61 |
| 3.5.3. Fornecimento de energia a veículos elétricos | 62 |
| 4. CASO DE ESTUDO – EDIFÍCIO DE SERVIÇOS EM COIMBRA | 64 |
| 4.1. Caracterização do Edifício | 64 |
| 4.1.1. Caracterização Climática da região de Coimbra..... | 64 |
| 4.1.2. Caracterização das envolventes interiores e exteriores | 65 |
| 4.1.3. Sistemas de Climatização..... | 66 |
| 4.1.4. Equipamentos Existentes | 67 |
| 4.1.5. Sistemas de Iluminação Existentes | 68 |
| 4.1.6. Análise do Consumo Energético do Edifício | 68 |
| 4.2. Modelos de Simulação - SketchUp e EnergyPlus | 70 |
| 4.3. Análise de Resultados – EnergyPlus | 73 |
| 4.3.1. Exercício de Modelação 1 - Segundo a certificação energética de 30 Março de 2011 | 73 |
| 4.3.2. Exercício de Modelação 2 - Segundo o levantamento realizado | 79 |
| 4.3.3. Exercício de Modelação 3 – Convergência para NZEB | 83 |
| 4.4. Análise Financeira | 89 |
| 5. CONCLUSÃO E PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO | 91 |
| 5.1. Conclusão..... | 91 |
| 5.2. Propostas de Desenvolvimento Futuro | 93 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 95 |
| 7. ANEXOS | 102 |
| ANEXO I – PLANTAS DO EDIFÍCIO | 103 |
| ANEXO II – CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA | 104 |
| ANEXO III – CARATERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS EXISTENTES | 105 |
| ANEXO IV – MODELO TRIDIMENSIONAL DESENVOLVIDO | 109 |
| ANEXO V – DADOS DA MODELAÇÃO 1 | 112 |
| ANEXO VI – DADOS DA MODELAÇÃO 2 | 117 |
| ANEXO VII – DADOS DA MODELAÇÃO NZEB | 122 |
| ANEXO VIII – RELATÓRIO PV_{system} | 127 |
| ANEXO IX – ORÇAMENTO | 131 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Esquema resumo da estrutura da dissertação. | 5 |
| Figura 2 - Evolução cronológica da Legislação afeta a eficiência energética nos edifícios. | 21 |
| Figura 3- Esquema de simplificação legislativa..... | 25 |
| Figura 4 - Esquema de certificação em edifícios de serviços. | 27 |
| Figura 5 - Redução dos desperdícios energéticos. | 30 |
| Figura 6 - Sistema de isolamento térmico por revestimento delgado sobre isolante. | 35 |
| Figura 7 - Sistema de isolante térmico por revestimento espesso sobre isolante..... | 35 |
| Figura 8 - Sistemas de fachada verde..... | 37 |
| Figura 9 - Isolamento térmico como suporte da impermeabilização. | 39 |
| Figura 10 - Isolamento térmico como suporte de uma camada de forma. | 39 |
| Figura 11 - Isolamento térmico sobre impermeabilização, cobertura invertida..... | 40 |
| Figura 12 - Tipo de árvore a escolher para uma cobertura verde..... | 41 |
| Figura 13 - Constituição de uma cobertura verde. | 42 |
| Figura 14 - Penumbra Kinetic Shading System. | 44 |
| Figura 15 - Protótipo de janela com propriedades electrocrómicas. | 46 |
| Figura 16 - Técnicas de favorecimento de iluminação natural. | 51 |
| Figura 17 - Sistema de transporte de luz por fibra ótica. | 52 |
| Figura 18 - Fluxograma de especificação do funcionamento do sistema híbrido..... | 53 |
| Figura 19 - Sistema de ganho direto. | 54 |
| Figura 20 - Sistema de ganho indireto. | 55 |
| Figura 21 - Parede de Trombe..... | 56 |
| Figura 22 - Sistema de ganho isolado. | 56 |
| Figura 23 - Sistema de ventilação natural cruzada..... | 57 |
| Figura 24 - Sistema de chaminé solar na cobertura. | 58 |
| Figura 25 - Sistema de ventilação de torre de vento. | 58 |
| Figura 26 - Sistema de arrefecimento pelo solo..... | 59 |
| Figura 27 - Sistema de arrefecimento evaporativo. | 59 |
| Figura 28 - Localização do Edifício em Estudo..... | 66 |
| Figura 29 - Modelo Tridimensional desenvolvido (Alçado Poente)..... | 72 |
| Figura 30 - Modelo Tridimensional desenvolvido (Alçado Norte e Cobertura)..... | 72 |
| Figura 31 - Constituição tipo das envolventes verticais exteriores..... | 80 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Taxa dependência energética da UE, %tep. | 9 |
| Tabela 2 - Consumo de energia primária em Portugal, total e por fonte. | 12 |
| Tabela 3- Cronograma Legislativo da UE. | 13 |
| Tabela 4 - Cronograma de Execução da EPBD 2002 em Portugal..... | 14 |
| Tabela 5 - As três exigências fundamentais da norma PassivHaus. | 20 |
| Tabela 6 - Atual Quadro Legislativo..... | 21 |
| Tabela 7 - Esquematização das diferentes categorias dos profissionais do SCE..... | 22 |
| Tabela 8 - Categoria de edifícios no âmbito de uma certificação energética..... | 23 |
| Tabela 9 - Responsabilidade de emissão de Pré-certificados e certificados SCE..... | 23 |
| Tabela 10 - Competências exigidas aos profissionais PQ e TIM..... | 24 |
| Tabela 11 - Casos de não necessidade de um SCE. | 27 |
| Tabela 12 - Requisitos de desempenho energético na regulamentação Dinamarquesa. | 29 |
| Tabela 13 - Comparação de características dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior com ou sem lâmina de ar. | 34 |
| Tabela 14 - Potenciais poupanças energéticas em coberturas verdes com diferentes níveis de isolamento..... | 42 |
| Tabela 15 - Sistemas de Sombreamento. | 45 |
| Tabela 16 - Médias mensais das variáveis da Zona de Coimbra (período 1951-2005). | 65 |
| Tabela 17 - Balanço Energético, kWh. | 69 |

| | |
|--|----|
| Tabela 18 - Faturação dos consumos energéticos..... | 69 |
| Tabela 19 - Custo das alterações sugeridas..... | 89 |
| Tabela 20 - Resumo do balanço anual de cada modelo simulado..... | 93 |

Índice de Gráficos

| | |
|---|----|
| Gráfico 1- Concentração de CO ₂ na atmosfera e alteração da temperatura global. | 6 |
| Gráfico 2- Procura de Energia a nível Mundial, Mtoe..... | 7 |
| Gráfico 3 - Relação entre PIB global e as emissões de CO ₂ | 7 |
| Gráfico 4 -Consumo Mundial de Energia por tipo de fonte, em Quatrilhões Btu. | 8 |
| Gráfico 5 - Produção de energia primária, % do total..... | 9 |
| Gráfico 6 - Taxa de dependência energética por estado membro (todos os produtos), %tep. | 10 |
| Gráfico 7 - Emissão de GEE em Portugal, MtCO ₂ e..... | 11 |
| Gráfico 8 - Aumento das Emissões de GEE em Portugal e relação a 1990. | 11 |
| Gráfico 9 - Percentagem de fontes de energia renovável no consumo final em Portugal..... | 12 |
| Gráfico 10 - Cronograma de desempenho energético em Portugal. | 14 |
| Gráfico 11 - Percentagem de certificações em função da categoria do Edifício..... | 15 |
| Gráfico 12 - Classe energética dos edifícios construídos até 2005..... | 16 |
| Gráfico 13 - Classe energética dos edifícios construídos após 2006. | 16 |
| Gráfico 14 - Sistemas de Climatização em Edifícios construídos após 2006. | 17 |
| Gráfico 15 - Comparação entre consumos reais e simulado. | 75 |
| Gráfico 16 - Consumo do edifício por elemento existente. | 76 |
| Gráfico 17 - Ganhos internos. | 77 |
| Gráfico 18 - Comparação entre consumo com climatização e temperaturas. | 78 |
| Gráfico 19 - Balanço anual do modelo simulado..... | 79 |
| Gráfico 20 - Balanço anual modelação com alteração nos elementos que constituem a envolvente.... | 81 |
| Gráfico 21 - Balanço anual Modelo 2 otimizado. | 82 |
| Gráfico 22 - Comparação entre consumo com climatização e temperatura no Modelo 2. | 83 |
| Gráfico 23 - Balanço anual da promoção de ventilação natural no edifício. | 84 |
| Gráfico 24 - Perdas de Energia Calorífica em laje intervencionada. | 85 |
| Gráfico 25 - Comparação dos ganhos internos e do consumo com climatização no Modelo 2 e no NZEB. | 86 |
| Gráfico 26 - Comparação entre consumo com climatização e temperaturas no Modelo NZEB. | 87 |
| Gráfico 27 - Produção energia elétrica no edifício. | 88 |
| Gráfico 28 - Balanço anual Modelo NZEB. | 88 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Propósito da Dissertação

A análise do sector da construção em Portugal permite concluir que o modelo que se iniciou na década de 70 do século XX e que vigorou até ao início do século XXI sofreu uma profunda alteração. A maioria das infraestruturas existentes no país são agora suficientes para as suas necessidades. Assim, face ao anteriormente mencionado e à crise económica e financeira que se atravessa, o investimento governamental no domínio das obras públicas no que toca mais propriamente à conceção de obra nova (pontes, edifícios de serviços, vias, tuneis, etc.) tem vindo a reduzir-se cada vez mais, sendo possível perspetivar uma forte redução de investimento em obra pública, que em alguns sectores já nem se justifica (rede rodoviária, por exemplo) [1]. Por outro lado, estando o país dotado de um parque imobiliário habitacional largamente excedentário face ao número de habitantes, cerca de 1,6 fogos por família o que representa claramente um excedente habitacional, é de prever que nos próximos anos a construção nova ocorra de forma pouco expressiva em Portugal [2]. Resta portanto olhar para o mercado do património já edificado e encará-lo como uma oportunidade atrativa. Não existindo, até ao momento, regulamentação específica relativamente a Reabilitação de Edifícios será de esperar regulamentação específica para esta vertente da Engenharia Civil. Note-se que o poder político tem vindo a produzir legislação facilitadora de operações de reabilitação, o que permitirá antever futuros desenvolvimentos que permitam impulsionar o mercado da reabilitação.

A avaliação do mercado do património já edificado, permite perceber que cerca de 30% dos edifícios clássicos existentes necessitam de ser reparados, sendo que dentro deste grupo, (o dos edifícios com necessidades de reparação) cerca de 15% necessitam de uma intervenção expressiva a curto prazo [3]. À luz do da Diretiva 2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho de 2010, transposta para o contexto nacional por intermédio do Decreto-Lei 118/2013, os edifícios que necessitam de ser intervencionados, deverão melhorar enormemente o seu comportamento do ponto de vista energético para cumprimento da mais recente regulamentação sobre a matéria. Consequentemente quer os processos construtivos, quer os materiais a utilizar, bem como os equipamentos terão de ser adequadamente estudados, de modo a garantir que em um ciclo anual o balanço energético de um edifício seja tendencialmente zero. Adicionalmente aos aspetos anteriormente focados dever-se-ão dotar os edifícios com fontes de energia renováveis, de modo a satisfazerem parte das suas necessidades energéticas.

Neste enquadramento surge o presente tema de dissertação final de mestrado que para além de aliciente se reveste da maior atualidade. Neste sentido, propõe-se aferir a capacidade de convergir um edifício já existente, de serviços com características muito específicas, ao conceito de edifício “Nearly Zero Energy Building” - NZEB, quase inexplorado em Portugal, a um edifício. O objetivo de tornar este tipo de edifício num NZEB é um objetivo ambicioso, por se tratar de um edifício construído nos anos 90 e com muito poucas preocupações do ponto de vista de consumo energético. Segundo o Decreto-Lei

nº118/2013 e artigo 9ª da diretiva já atrás enunciada (2010/31/EU) todos os Estados Membros pertencentes à União Europeia estão obrigados a que, até 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam NZEB e que até 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas deverão ser NZEB [5]. No seguimento do anteriormente referido, o objetivo da presente dissertação prender-se-á com a tentativa de traçar um caminho para a reabilitação a nível energético de um edifício de serviços. Esperar-se-á, que no fim deste estudo e para esse edifício, sejam propostas medidas, tais que o saldo energético entre a energia produzida e a consumida seja muito inferior ao presente, e que idealmente num ciclo anual seja aproximadamente zero ou seja que possa vir a ser considerado um NZEB.

1.2 Enquadramento

Desde os finais do século XX e início do século XXI, que a perceção da forma insustentável da utilização dos recursos energéticos existentes se tem vindo progressivamente a generalizar nas sociedades industrializadas. Grande parte da energia utilizada provém essencialmente da exploração de recursos naturais de origem fóssil. Com um *know-how* adquirido ao longo de décadas de utilização destes recursos, passou também a existir uma natural consciencialização e perceção de que a utilização abusiva destes recursos de cariz limitado e de génese morosa, contribuíram muito significativamente para as alterações climáticas atualmente registadas. Estas alterações provêm naturalmente do uso abusivo dos recursos energéticos fósseis, que durante a sua combustão produzem a libertação de elevadas quantidades de gases de efeito de estufa, para a atmosfera. Como exemplo, alguns gases como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) ou o óxido nitroso (N₂O) são substâncias com capacidades para a absorção de radiação infravermelha, sendo que desta forma podem ser considerados como gases com efeito de estufa.

A União Europeia como órgão representante dos diferentes Estados Membros assume-se como o representante dos diferentes Estados no que diz respeito a negociações e a acordos estabelecidos a nível europeu. Desta forma, ao abrigo do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, a União Europeia está obrigada a cumprir um valor máximo de emissões deste tipo de gases, para que a longo prazo a subida da temperatura global se situe abaixo dos 2°C. Grande parte do consumo de energia dentro da UE, cerca de 40%, é atribuída a edifícios [4]. É neste sentido, o da redução desta percentagem de consumo, que a UE através da elaboração da Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios espera vir a reduzir parte das suas emissões [5]. A utilização de energia originária de fontes renováveis no sector dos edifícios, em outros sectores e consequentemente a redução do consumo a partir de fontes de energia fósseis constituem medidas importantes para que a UE possa caminhar num sentido de redução da dependência energética de energia proveniente de fontes não renováveis. Na sequência do Decreto-Lei nº118/2013 e da diretiva atrás enunciada, surge um novo conceito, os NZEB. Este conceito remete para a futura obrigatoriedade de

projetar e construir edifícios cujo saldo energético entre as perdas/consumos existentes no edifício e ganhos provenientes de fontes renováveis seja “quase” zero. Este balanço próximo de zero, deverá ser obtido em grande parte pelo recurso a energias provenientes de fontes renováveis mas também através de reabilitações nos edifícios que os possam conduzir à redução das suas necessidades energéticas. Devido às diferentes realidades existentes em cada estado membro da União, como por exemplo, clima, economia, tipos de construção, caberá aos órgãos governamentais de cada estado membro definir os limites e requisitos máximos para que este saldo energético seja atingido [5].

Em Portugal, até 1990 não existia nenhum regulamento que impusesse ao projetista de novos edifícios ou de reabilitações profundas, a salvaguarda da satisfação de condições de conforto térmico em edifícios sem excessivas necessidades de energia nas diferentes estações. Surge então o *RCCTE* “*Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*” como forma de salvaguardar a situação atrás descrita. Este regulamento vem também apontar a resolução de algumas patologias relativas a condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente, resultantes da conseqüente diminuição de espessura das envolventes exteriores [6]. Apesar de já serem utilizados nos edifícios, principalmente nos de serviços, meios mecânicos como forma de regular a temperatura interior dos edifícios e a qualidade do ar, só oito anos mais tarde surge um regulamento que procurava evitar os sobredimensionamentos dos edifícios ao nível da potência dos sistemas neles instalados, vindo assim melhorar de forma substancial a eficiência energética dos edifícios, o *RSECE* “*Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*” [7]. O ano de 2006 representa um ano de mudança no que toca a regulamentações, sendo que nesse ano para além das alterações do *RCCTE* e do *RSECE* surge o *SCE* “*Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios*” [8]. Com essas novas alterações, pressupõe-se no *RCCTE* que uma parte significativa dos edifícios tenham meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores e é imposto um limite ao consumo que decorre do potencial do equipamento e do seu conseqüente uso [9]. Com a transposição da Diretiva 2010/31/EU no Decreto-Lei 118/2013, o *SCE*, *RCCTE* e o *RSECE* foram revogados [10].

1.3 Metodologia e Estrutura

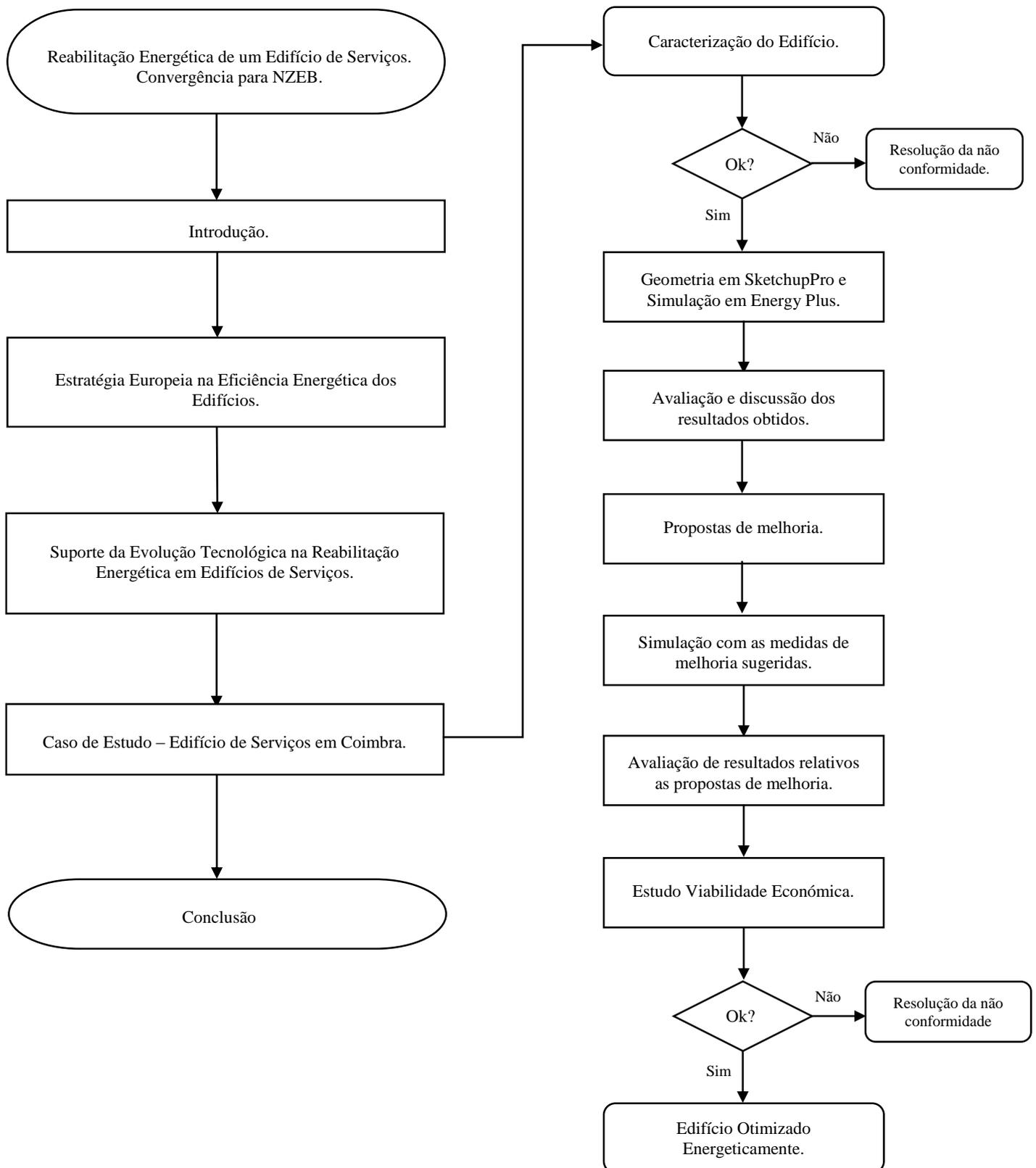
Numa primeira fase, realizou-se uma visita ao edifício a reabilitar, por forma a ter um primeiro contacto com o mesmo. Analisaram-se os projetos de arquitetura, de estrutura, das diversas especialidades, e o consumo energético dos últimos 4 anos, com o objetivo de caracterizar o edifício.

Sabendo que a maioria dos problemas referentes a consumos excessivos de energia ocorrem devido a conceções deficientes, realizou-se então numa primeira fase, um estudo do desempenho energético do edifício com recurso ao programa de simulação Energy Plus, que permitiu identificar quais os locais e componentes em que o consumo era mais elevado. Para que se pudesse proceder à simulação enunciada,

recorreu-se ao programa SketchUp Pro 2013 como forma de realizar a geometria do edifício. Seguidamente procedeu-se ao estudo da envolvente e dos sistemas que contribuem para o aumento das necessidades energéticas do edifício. Posteriormente ao estudo anteriormente mencionado, foram estudadas medidas que conduziram a uma redução das necessidades energéticas do edifício. As melhorias atrás referidas incidiram em grande parte sobre: Ventilação, Vãos envidraçados, Envolventes opacas e não opacas, Climatização e Produção de Energia. Para o dimensionamento do sistema de energias renováveis, essencialmente obrigatório em um edifício NZEB, recorreu-se a utilização do programa PVsyst.

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos. No primeiro capítulo será desenvolvida uma introdução, por intermédio de três subcapítulos onde será evidenciado o propósito da dissertação, o enquadramento da mesma bem como a sua metodologia e estrutura. No segundo capítulo será abordada a estratégia europeia para que seja possível que exista um aumento da eficiência energética nos edifícios. Para tal, serão desenvolvidas temáticas sobre os contextos legislativos nacionais e internacionais bem como serão desenvolvidas as temáticas sobre os objetivos e condicionalismos Europeus para que esta eficiência possa ser atingida. Para que a eficiência energética possa ser alcançada terá de existir uma mudança na forma como os atuais edifícios têm vindo a ser projetados, bem como deverá existir uma promoção para que novas técnicas e novos materiais venham a ser implementados. Desta forma, no terceiro capítulo serão desenvolvidas temáticas que incidiram sobre algumas destas novas estratégias de intervenção, em edifícios já edificados, que possibilitam o aumento da eficiência energética dos mesmos. No quarto capítulo, será desenvolvido um caso de estudo que consistirá na reabilitação energética de um edifício de serviços, situado em Coimbra. Consequentemente irão ser apresentadas propostas de melhoria, bem como será realizada uma caracterização exaustiva e um estudo de viabilidade económica para implementação destas propostas. No quinto capítulo serão descritas as conclusões relativas ao estudo efetuado e no sexto serão apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do estudo efetuado.

Figura 1- Esquema resumo da estrutura da dissertação.

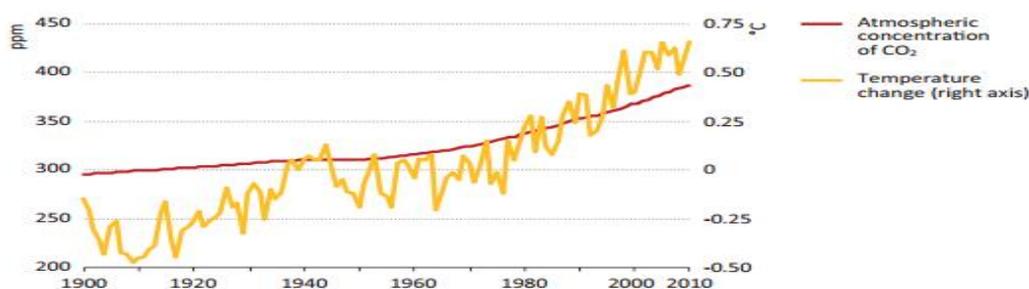


2. ESTRATÉGIA EUROPEIA PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS

2.1 Dependência energética no Mundo e na Europa

A palavra energia apareceu pela primeira vez em 1807, sugerida pelo médico e físico inglês Thomas Young. A opção de Young pelo termo energia esteve diretamente relacionada com a conceção que ele tinha de que a energia informa a capacidade de um corpo realizar algum tipo de trabalho mecânico [11]. Ao longo da história da humanidade, têm vindo a ser desenvolvidas diferentes formas de transformar, transportar e armazenar energia. Atualmente, o consumo de energia é cada vez mais elevado e o seu uso é essencial à subsistência da humanidade. Desde a era pré-industrial, 1750, que o homem tem vindo a transformar os recursos existentes no planeta como forma de obter energia. Contudo, a utilização destes recursos de origens fósseis e as desflorestações praticadas têm vindo, desde essa era, a aumentar as concentrações de gases com efeito de estufa na atmosfera. Presentemente, essas emissões continuam a crescer a um ritmo muito elevado, sendo que os níveis de CO₂ relativos a 2012, cerca de 2,7ppm, chegaram a um nível histórico de 400 ppm em Maio de 2013 [12]. Este valor é preocupante sendo que o máximo admissível está estabelecido em 450 ppm [12]. Contudo, segundo a IEA World Energy em 2008, 80% de toda a energia no mundo era obtida através de petróleo, carvão e gás. O aumento da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera veio provocar um aumento da temperatura global do planeta, que desde a época pré-industrial aumentou cerca de 0,8°C, *gráfico 1*. Estima-se, que caso não sejam tomadas medidas adicionais, possa existir um aumento de temperatura entre os 2,8°C e os 4,8°C ainda neste século [12].

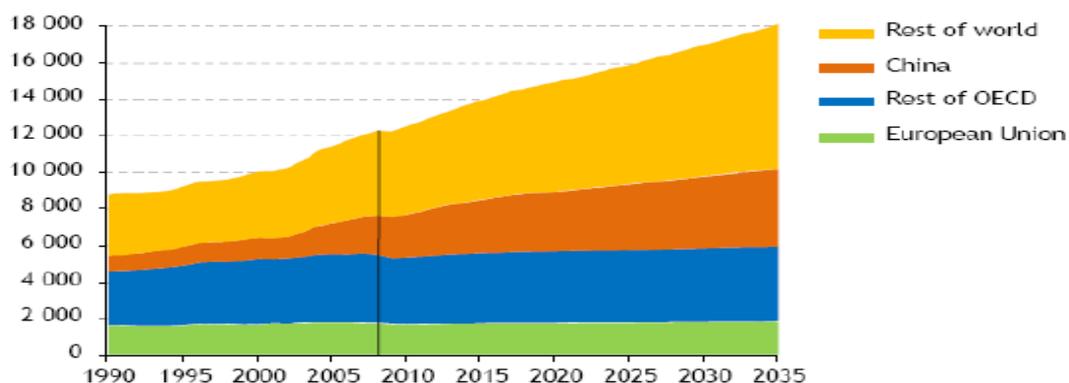
Gráfico 1- Concentração de CO₂ na atmosfera e alteração da temperatura global.



Fonte: International Energy Agency, Redrawing the Energy Climate Map.

Desde a assinatura do Protocolo de Quioto, que a comunidade mundial se tem vindo a comprometer com uma redução efetiva das emissões de gases com efeito de estufa, como forma de contrariar o aumento da temperatura mundial. Contudo, estima-se que as necessidades energéticas mundiais continuem a subir, sendo que os países fora da OCDE “Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico” e da UE apresentam o maior crescimento de necessidades energéticas, *gráfico 2*.

Gráfico 2- Procura de Energia a nível Mundial, Mtoe.



Fonte: IEA, World Energy Outlook 2010.

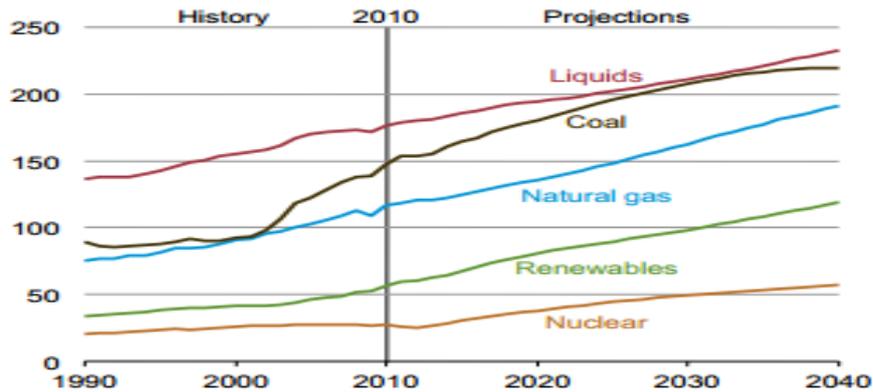
A relação energia e emissões de CO₂ continua a estar dependente da economia global, sendo que a procura de combustíveis fósseis é muito mais intensa nos países desenvolvidos, gráfico 3 [12].

Gráfico 3 - Relação entre PIB global e as emissões de CO₂.

Fonte: International Energy Agency, Redrawing the Energy Climate Map.

Embora o atual enfoque na promoção para utilização de outras fontes de energia, menos poluentes, as atuais estatísticas não são muito animadoras. Em 2010, o uso mundial de petróleo e de outros combustíveis líquidos era de 87 milhões de barris por dia, sendo que em 2020 estima-se que esse consumo diário aumente para os 97 milhões barris por dia e que em 2040 atinja os 115 milhões por dia [13]. Grande parte deste crescimento no consumo acontecerá no setor dos transportes e no setor industrial. Embora as fontes líquidas de energia continuem a ser a maior fonte de produção de energia no mundo, estima-se que a cotação no mercado mundial do consumo de energia para este tipo de recursos caia para os 28% em 2040. Devido a esta descida, os preços de petróleo deverão subir, o que muito provavelmente levará ao abandono deste meio de energia por parte de alguns usuários. Desta forma, estima-se que a percentagem de energias renováveis, no consumo total de energia mundial, suba dos 11% estimados em 2010 para em 2040 atingir os 15% do total de toda a energia usada no mundo, gráfico 4 [13].

Gráfico 4 - Consumo Mundial de Energia por tipo de fonte, em Quatrilhões Btu.



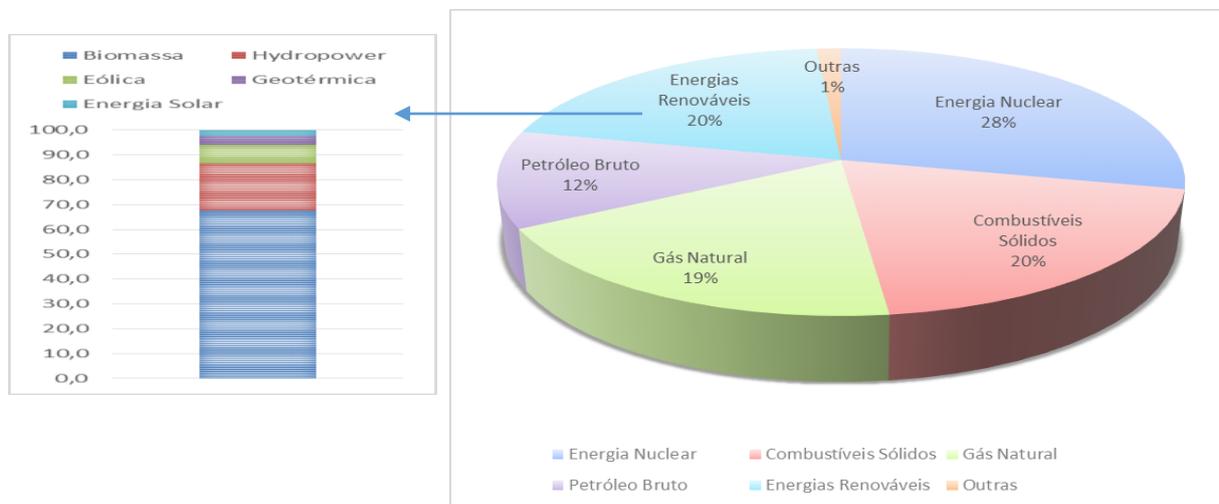
Fonte: IEA, International Energy Outlook 2013.

Na União Europeia, mais de metade do seu consumo interno bruto de energia, em 2010, cerca de 54,1%, proveio de fontes importadas [14]. Tais números revelam uma grande dependência externa, o que influencia diretamente a economia da UE. De todas as fontes de energia, destaca-se a dependência do petróleo e do gás natural. Em 2010, a produção de energia primária na UE tinha totalizado um total de 830,9 milhões tep, contudo apresentava piores números do que em 2000, cerca de menos 109,7 milhões comparativamente com igual período em 2010 [14]. Segundo a UE, esta tendência de abrandamento poderá em grande parte ser imputada às dificuldades de aprovisionamento de matérias-primas, e ao facto dos produtores considerarem inviável em termos económicos a exploração de recursos limitados. O maior produtor de energia primária de entre todos os 27 Estados Membros, em 2010, foi o Reino Unido que totalizou cerca de 17,8%, aproximadamente 147,6 milhões de tep, de toda a produção Europeia [14]. Contudo, estes números demonstram uma grande quebra de produção se forem comparados com os de igual período em 2000. Neste ano, o Reino Unido representava cerca de 28,7% de toda a produção Europeia [14]. Durante o período compreendido entre 2000 e 2010, os países que apresentaram um maior aumento na produção de energia primária foram os Países Baixos com um aumento de produção de 12,4 milhões de tep, a França com um aumento de 5 milhões de tep e a Suécia que totalizou um aumento de produção de cerca 3,1 milhões de tep [14]. De resto, em 2010 a França já se apresentava como o segundo maior produtor de energia primária na União Europeia com cerca 16,2%, 134,4 milhões de tep, de toda a produção de energia primária, seguindo-se a Alemanha com uma produção avaliada em cerca de 15,8%, 131,5 milhões de tep [14].

Devido às políticas desenvolvidas na área da eficiência energética, a UE tem tentado caminhar no sentido da independência de fontes fósseis de energia, sendo que para tal objetivo tem tentado promover outras fontes de energia. Desta forma, em 2010 a maior fonte de produção de energia primária foi a energia nuclear com cerca de 28% do total de produção, tendo tido especial enfoque em países como a França, Bélgica e Eslováquia [14]. A clara aposta em fontes de origem renovável, tem vindo a ser uma aposta que em 2010 já representava cerca de 20% do total de produção de energia primária na UE, sendo que pela primeira vez a produção de energia a partir de fontes renováveis ultrapassou o gás natural

[14]. Nota-se uma clara despromoção na utilização do petróleo bruto, que em 2010 apenas representava cerca de 12% da produção de energia primária, *gráfico 5* [14].

Gráfico 5 - Produção de energia primária, % do total.



Fonte: Eurostat.

O crescimento da produção primária de energia a partir de fontes de energia renováveis excedeu o de todos os outros tipos de energias, com um crescimento particularmente significativo forte a partir de 2002. Com efeito, parece haver uma linha de demarcação a partir de 2002, com uma aceleração da produção de energias renováveis, a qual registou um aumento de 70,9% entre 2002 e 2010 [14]. Em contrapartida, os níveis de produção a partir de outras fontes primárias de energia diminuíram entre 2000 e 2010. As maiores reduções na produção de energia primária foram registadas relativamente ao petróleo bruto (-43,6%), aos combustíveis sólidos (-26,1%), ao gás natural (-23,5%) e com uma diminuição mais modesta de 3,0% para a energia nuclear [14]. Devido a estas reduções na produção de energia primária dentro da UE, esta tem visto a sua dependência energética aumentar, sendo que as suas necessidades acabam por ser completadas através do recurso à importação de energia proveniente de outros estados fora do espaço europeu. Desta forma, as importações subiram de 40% do consumo bruto de energia em 1980 para os 54,1% em 2010 [14]. Desde 2003, que as importações líquidas de energia da UE foram superiores à produção primária, sendo que as maiores taxas de dependência energética se registaram em relação ao petróleo bruto, 85,2 %, e ao gás natural, 62,4%, *tabela 1* [14].

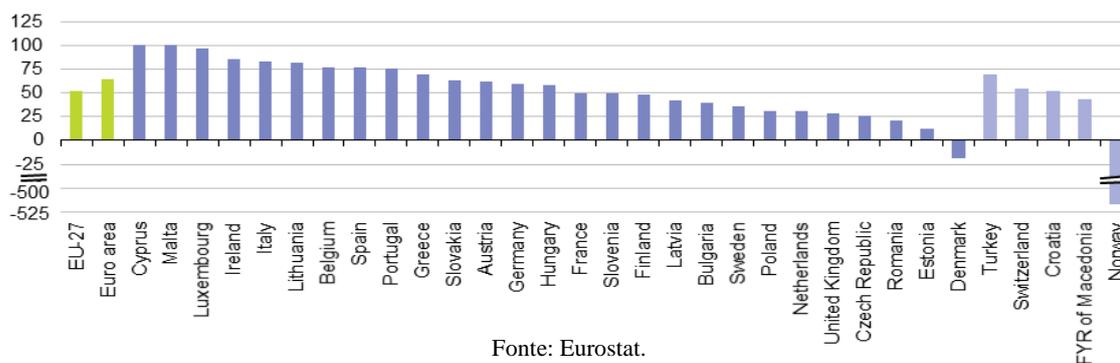
Tabela 1- Taxa dependência energética da UE, %tep.

| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Total importações | 47,8 | 48,6 | 48,8 | 50,2 | 51,6 | 53,9 | 55,2 | 54,5 | 56,3 | 55,2 | 54,1 |
| Combustíveis Sólidos | 30,5 | 33,7 | 33,1 | 34,9 | 38,1 | 39,3 | 41,0 | 41,3 | 44,7 | 41,1 | 39,4 |
| Petróleo Bruto | 75,6 | 77,7 | 76,4 | 78,7 | 80,9 | 82,4 | 84,0 | 83,5 | 85,0 | 84,2 | 85,2 |
| Gás Natural | 48,9 | 47,2 | 51,1 | 52,4 | 54,0 | 57,7 | 60,8 | 60,3 | 62,3 | 64,3 | 62,4 |

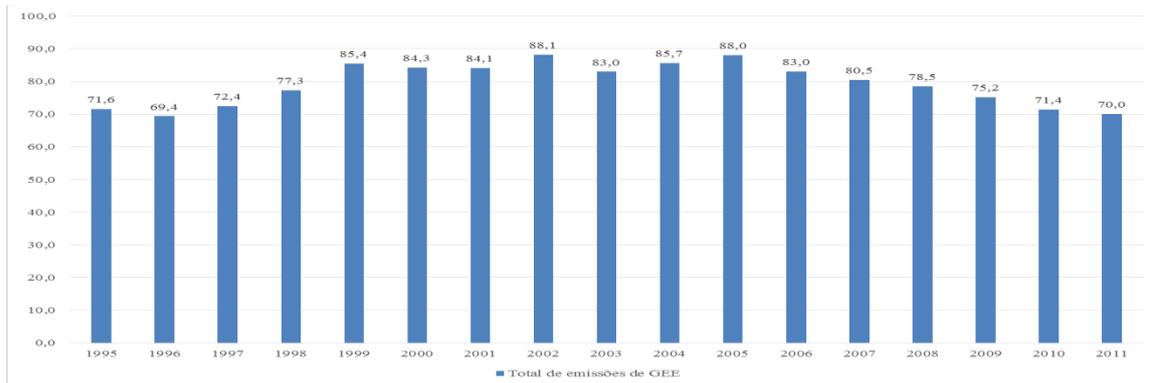
Fonte: Eurostat.

A Dinamarca é o único estado membro da EU-27, que apresenta uma taxa de dependência negativa, sendo que em sentido contrário estão países como Chipre, Malta, Luxemburgo que são praticamente totalmente dependentes de importações de energia primária, *gráfico 6*.

Gráfico 6 - Taxa de dependência energética por estado membro (todos os produtos), %step.



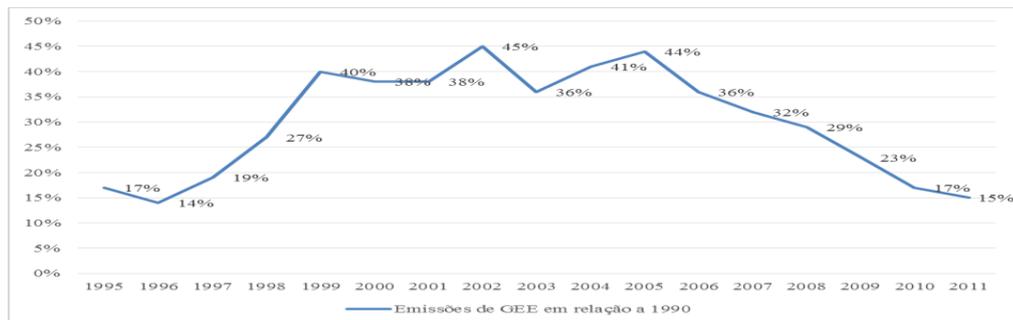
A Rússia apresenta-se como o principal fornecedor de energia primária à União Europeia [14]. De todas as importações efetuadas a partir deste país, destaca-se a predominância do petróleo bruto, do gás natural e da hulha. No que toca ao petróleo bruto, em 2010 as importações feitas a este país representavam cerca de 34,5%, tendo sido este o valor mais alto registado entre 2002 e 2010 [14]. Em igual período de 2010, as importações à Rússia de gás natural representavam cerca de 31,8% e as de hulha aproximadamente 27,1% [14]. Contudo este não é o único país que fornece a UE, sendo que também se poderão destacar a Noruega e Argélia como outros fornecedores com algum peso nesta balança económica [14]. Em 2009, estes três países juntos totalizavam cerca de 58,5% do total de todo o petróleo bruto importado na UE, sendo que relativamente ao gás natural em igual período estes mesmos países representavam cerca de 79,2% [14]. Apesar de outros países terem surgido como novas origens para importações de energia, estes ainda não apresentam números que os tornem representativos. Desta forma, destacam-se como novos fornecedores de petróleo bruto o Cazaquistão e o Azerbaijão, sendo que relativamente ao gás natural destacam-se países como a Líbia e o Qatar. Em Portugal, desde 2002 que as emissões totais de gases com efeito de estufa têm vindo a decrescer. Em 2002, Portugal fez um total de emissões estimado em cerca de 88,1 MtCO_{2e}, sendo que este valor representa um aumento em cerca de 45% em relação aos valores estimados em 1990 [15]. De facto, este acabou mesmo por ser o pior ano no que toca a emissões de GEE das últimas duas décadas em Portugal, *gráfico 7*.

Gráfico 7 - Emissão de GEE em Portugal, MtCO₂e.

Fonte: DGEG.

Contudo, devido às medidas que têm vindo a ser desenvolvidas no país desde 2002, Portugal tem conseguido reduzir as suas emissões. Em 2010, já se havia conseguido uma diminuição de 16,7 MtCO₂e em relação ao ano de 2002 [15]. Desta forma, em 2010 os valores conseguidos já eram semelhantes aos de 1995, ano em que as emissões apenas representavam mais 15% dos valores estimados em 1990, gráfico 8 [15].

Gráfico 8 - Aumento das Emissões de GEE em Portugal e relação a 1990.



Fonte: DGEG.

Segundo a Resolução do Conselho de Ministros nº20/2013, foi estabelecido para Portugal um objetivo de redução no consumo de energia primária de 25% até 2020 [16]. Até este ano, a administração pública também deverá reduzir em cerca de 30% o seu consumo total de energia primária [16]. Estima-se que na última década se tenham registado 2 ciclos distintos no que respeita ao consumo de energia primária, o primeiro compreendido entre 2000-2005 em que a taxa de crescimento média anual, t_{cma} , registou um aumento em cerca de 1,4%, e um segundo ciclo compreendido entre 2005-2010 em que se registou um decréscimo da t_{cma} para cerca de -3,3% [16].

Em termos globais, na última década em Portugal, o consumo de energia primária apresentou uma t_{cma} de menos um ponto percentual [16]. Esta tendência de decréscimo deve-se ao facto de o consumo de combustíveis fósseis ter decrescido com alguma expressão entre 2005-2010. Destes combustíveis fósseis, destacam-se a redução no consumo de carvão em cerca de 13,1% da t_{cma} e o petróleo em cerca

de 6,7% da t_{cma} [16]. Este decréscimo terá sido colmatado pela produção de energia a partir de fontes renováveis, *tabela 2*.

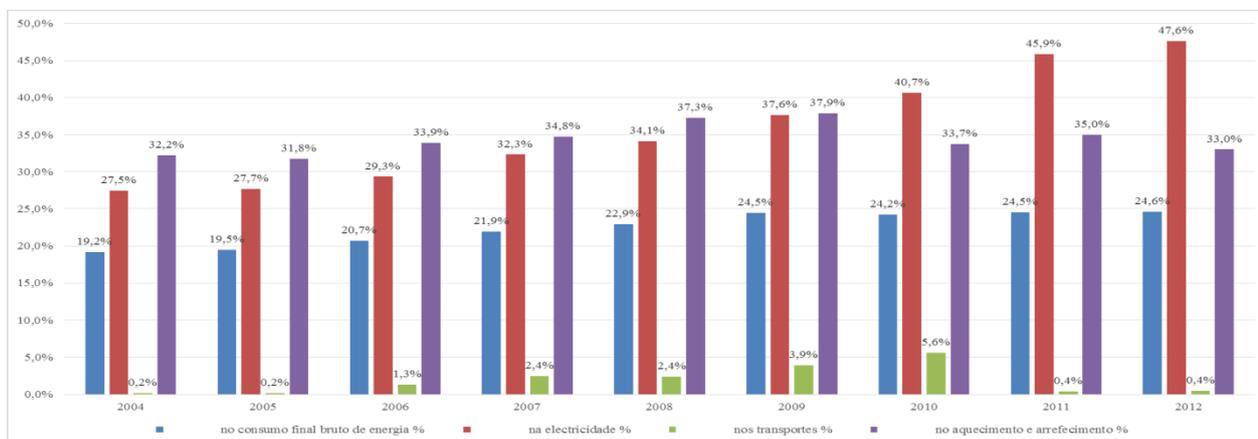
Tabela 2 - Consumo de energia primária em Portugal, total e por fonte.

| | Unid. | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Consumo Total de Energia Primária | ktep | 20 474 | 20 363 | 21 935 | 23 209 | 24 880 | 25 254 | 25 244 | 26 334 | 25 737 | 26 445 | 27 087 | 25 971 | 25 350 | 24 215 | 23 911 | 23 102 | 22 099 | 21 474 |
| Carvão | ktep | 3 604 | 3 430 | 3 513 | 3 232 | 3 747 | 3 813 | 3 201 | 3 500 | 3 355 | 3 375 | 3 349 | 3 310 | 2 883 | 2 526 | 2 858 | 1 657 | 2 222 | 2 915 |
| Petróleo e Produtos de Petróleo | ktep | 13 649 | 13 147 | 14 444 | 15 634 | 15 993 | 15 568 | 15 799 | 16 417 | 15 257 | 15 411 | 15 877 | 14 305 | 13 567 | 12 365 | 11 533 | 11 241 | 10 331 | 9 293 |
| Gás natural | ktep | 0 | 0 | 87 | 700 | 1 956 | 2 064 | 2 267 | 2 743 | 2 649 | 3 316 | 3 761 | 3 595 | 3 821 | 4 157 | 4 233 | 4 507 | 4 483 | 3 950 |
| Renováveis | ktep | 3 143 | 3 690 | 3 642 | 3 620 | 3 258 | 3 728 | 3 956 | 3 511 | 4 236 | 3 785 | 3 496 | 4 267 | 4 410 | 4 316 | 4 836 | 5 417 | 4 739 | 4 477 |
| Resíduos Industriais | ktep | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 26 | 25 | 40 | 40 | 54 | 80 | 160 |
| Saldo Importador de Eletricidade | ktep | 79 | 96 | 249 | 24 | -74 | 80 | 21 | 163 | 240 | 557 | 587 | 468 | 644 | 811 | 411 | 226 | 242 | 679 |

Fonte: DGEG.

O facto de Portugal não dispor de recursos endógenos fósseis, conduz o país a uma elevada dependência energética exterior em termos de energia primária. Em 2009, esta dependência representava cerca de 81,2%, sendo que em 2010 este valor sofreu uma redução ao ter atingido os 76,1% [16]. Estima-se que esta redução se deva à aposta nas energias renováveis, destacando-se a energia hídrica e a eólica. Em 2012, o valor de dependência energética voltou a subir, tendo nesse ano atingido os 79,4%, sendo que este aumento tem sido justificado com a diminuição da hidraulicidade e do consequente aumento de importações de carvão e eletricidade em cerca de 1,2% [16]. Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, em 2012 o saldo importador representava cerca de 7137 milhões de euros, sendo que na última década o ano de 2008 foi aquele em que este saldo importador foi maior, cerca de 8252 milhões de euros. Desde 2004, que a percentagem de energias renováveis no consumo final bruto de energia em Portugal tem vindo a aumentar, representando em 2012 cerca de 24,6% [15]. Em 2012, as energias renováveis representavam 47,6% no consumo de eletricidade e 33% de toda a energia utilizada para a satisfação de necessidades de aquecimento e arrefecimento, *gráfico 9*.

Gráfico 9 - Percentagem de fontes de energia renovável no consumo final em Portugal.



Fonte: DGEG/EUROSTAT.

2.2 Contexto Legislativo Internacional

2.2.1 EPBD – Energy Performance of Buildings Directive

O setor dos edifícios e o setor terciário representam uma grande parcela do consumo final de energia na UE. Ao abrigo do cumprimento do acordado pelo Protocolo de Quioto, a UE iniciou um caminho na procura de medidas que visem uma maior eficiência energética na Europa. De facto, a UE assume que a gestão na procura de energia é um importante instrumento que permitirá à Comunidade Europeia afirmar a sua influência no mercado global da energia e, por conseguinte, garantir a segurança do abastecimento energético, na Europa, a médio e longo prazo [17]. Neste sentido, a 16 de Dezembro de 2002 surge a primeira EPBD, a diretiva 2002/91/CE, que resultou de um plano de ação desenvolvido pela comissão para a eficiência energética. São pedidas medidas específicas para os edifícios por parte da comissão [17]. Foram as EPBD o primeiro passo para a promoção da eficiência energética nos edifícios. Esta Diretiva 2002/91/CE, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios, estabelecia a obrigatoriedade de todos os Estados Membros da união europeia, 22 em 2002, implementarem um sistema de certificação energética por forma a informar os cidadãos sobre a qualidade térmica nos seus edifícios aquando da construção, venda ou arrendamento [17]. Esta nova metodologia deverá ser aplicada a edifícios públicos e a edifícios frequentemente visitados pelo público em geral, pois estes também têm a obrigatoriedade de cumprir o sistema de certificação energética. Apesar de o objetivo principal desta Diretiva 2002/91/CE ser a promoção do desempenho energético dos edifícios, as condições climáticas externas, as locais, as exigências em matéria de conforto térmico interior e a rentabilidade económica são tidas em conta [17]. Esta diretiva foi transposta para o Direito Nacional Português a 4 de Abril de 2006 seguindo as diretrizes delineadas pela UE, bem como os prazos estabelecidos, *tabela 3*. Como se poderá observar pela *tabela 4*, a execução desta Diretiva (EPBD) em Portugal passou por três fases, podendo afirmar-se que ainda existe um grande potencial de poupança energética.

Tabela 3- Cronograma Legislativo da UE.

| Data | Atividade Política e Legislativa |
|-------------------|--|
| Dezembro 2002 | UE adota a primeira Diretiva para desempenho energético dos edifícios – EPBD 2002; |
| Janeiro 2006 | Data final para a transposição da Diretiva para o direito Nacional; |
| Novembro 2008 | Comissão propõem a revisão da EPBD 2002 – (EuroActiv 14/11/08); |
| Maio 2010 | Parlamento Europeu Aprova a nova Legislação; |
| Maio 2010 | União Europeia aprova a EPBD 2010; |
| Até final de 2018 | Todos os Edifícios Públicos terão de ser NZEB; |
| Até final de 2020 | Todos os novos Edifícios terão de ser NZEB; |

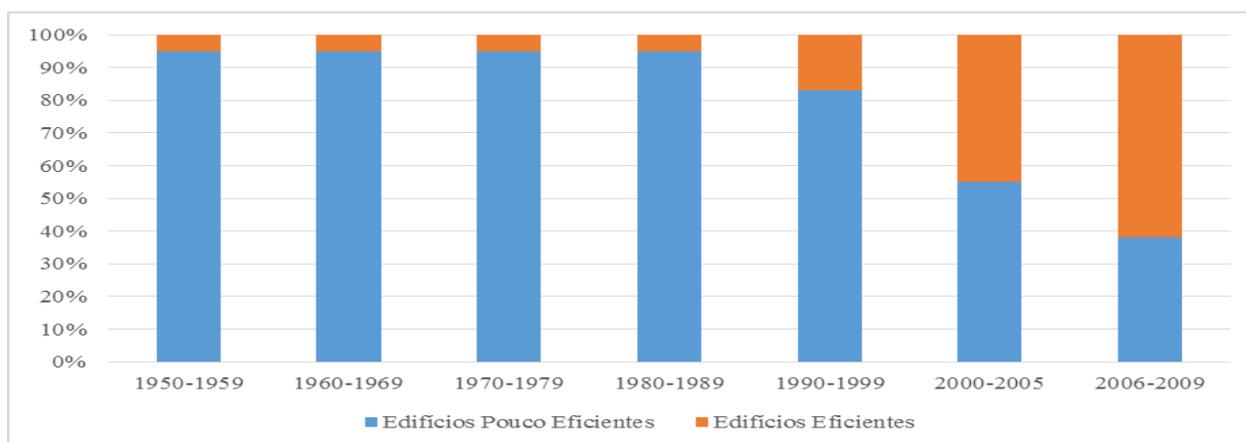
Fonte: Adaptação do disponibilizado pela Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations.

Tabela 4 - Cronograma de Execução da EPBD 2002 em Portugal.

| | |
|-------------------|--|
| 1 Julho de 2007 | Aplicação do SCE a edifícios novos com uma área total de mais de 1000m ² , registados para construção (quando solicitada a autorização de construção) depois desta data; |
| 1 Julho de 2008 | Aplicação do SCE a novos e pequenos edifícios, independentemente da área, sendo registados para construção (quando solicitada a licença de construção) depois desta data; |
| 1 Janeiro de 2009 | Exigência de uma certificação energética de todos os edifícios entra em vigor. Todos os edifícios, de habitação ou comércio, que sejam vendidos ou arrendados depois de Janeiro de 2009 devem ter um Certificado de Eficiência Energética, que inclua informação sobre o nível de eficiência do edifício. |

As alterações implementadas por meio desta primeira da EPBD 2002/91/CE, vieram promover uma melhoria das exigências relativamente aos edifícios de carácter habitacional e de serviços, *gráfico 10*. Contudo, foram também implementadas novas medidas no sentido de uma promoção da eficiência energética nos edifícios. Relativamente aos edifícios habitacionais, estas novas medidas tiveram foco na correção de pontes térmicas, na implementação de sistemas solares térmicos para AQS e no estabelecimento de requisitos para a energia primária e AQS [9]. Nos edifícios de serviços estas medidas tiveram um enfoque diferente, destacando-se como principais implementações as medidas para a qualidade do ar interior, para a inspeção periódica dos sistemas de ar condicionado e para as auditorias periódicas aos consumos energéticos e à QAI [18].

Gráfico 10 - Cronograma de desempenho energético em Portugal.



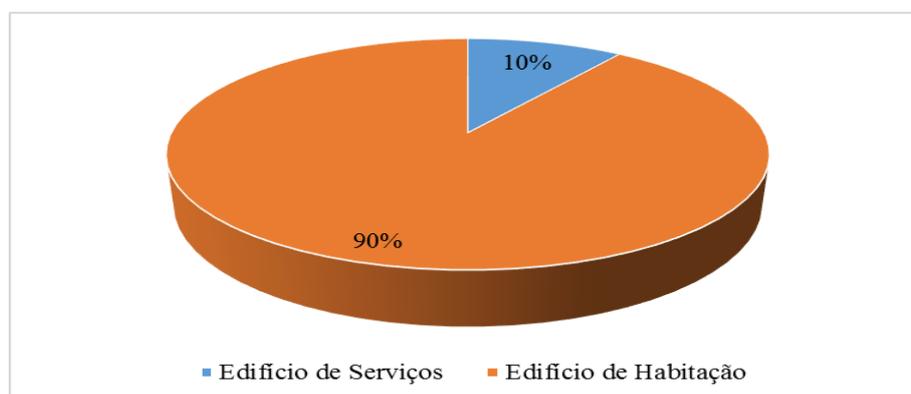
Fonte: Adaptação da apresentação EPBD (recast) e as suas implicações para Portugal, ADENE.

Todos estes esforços desenvolvidos pela UE na procura de uma gestão mais assertiva de recursos energéticos não foram efémeros. Neste sentido, surge a 19 de Maio de 2010 uma nova EPBD a fim de reformular alguns dos conceitos já anteriormente introduzidos, mas também como forma de definir

novas metas e objetivos [10]. Esta Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios definiu a obrigatoriedade de todos os Estado Membros da União estabelecerem e aplicarem requisitos de desempenho mínimos para todo o edificado. Para além disto, desenvolve diretrizes com o intuito de assegurar a certificação energética, bem como exige uma inspeção regular a caldeiras e sistemas de ar condicionado [10]. Espera-se então que em 2020 na UE exista uma redução efetiva de 20% das emissões de gases com efeito de estufa, que 20% da energia seja proveniente de fontes de energia renovável e que exista um aumento de 20% na eficiência energética [10]. Para consumir estes objetivos ambiciosos é introduzido o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia, NZEB, visto que neste setor existe um enorme potencial de poupança. Segundo o Artigo 2º desta diretiva, estes edifícios deverão apresentar um desempenho energético muito elevado, sendo que as quase inexistentes necessidades de energia a partir de rede pública de abastecimento deverão ser satisfeitas por intermédio de uma fonte própria de energia renovável.

De acordo com a Diretiva 2010/31/UE a energia deverá ser produzida no edifício ou nas proximidades do mesmo. Todos os Estados Membros terão de assegurar que até 31 de Dezembro de 2020 todos os edifícios novos sejam NZEB e que até Dezembro de 2018 que os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam NZEB [10]. Segundo o disposto no Artigo 11º desta Diretiva, o certificado de desempenho energético de um edifício deverá incluir o desempenho energético do edifício e valores de referência, como, por exemplo, requisitos mínimos de desempenho energético, para que os proprietários ou inquilinos do edifício ou da fração autónoma possam comparar e avaliar o seu desempenho energético. Este certificado deverá também incluir recomendações de melhoria rentáveis ou otimizadas em termos de custos do desempenho energético do edifício. Segundo a *European Council for an Energy Efficient Economy*, em Novembro de 2009 Portugal e a Irlanda já eram considerados como sendo dois dos casos de sucesso na aplicação e desenvolvimento do SCE. Segundo as produções estatísticas desenvolvidas pela *ADENE -Agência para a Energia*, até 2013 já teriam sido emitidos em Portugal perto de 623 mil certificados, sendo que cerca de 10% desse valor será referente aos edifícios de serviços, gráfico 11 [20].

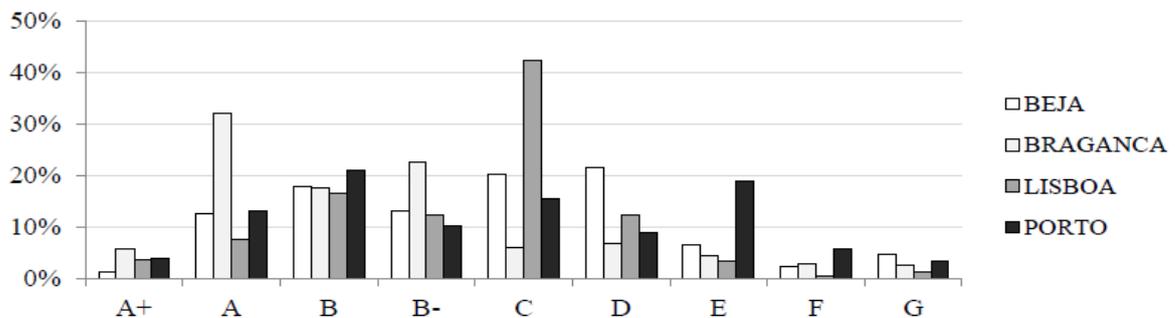
Gráfico 11 - Percentagem de certificações em função da categoria do Edifício.



Fonte: Adaptação da apresentação EPBD (recast) e as suas implicações para Portugal, ADENE.

Atualmente, devido à introdução da mais recente Diretiva Europeia, 2010/31/UE, no contexto Legislativo Português, os edifícios novos não poderão apresentar uma classe energética inferior a B-. Desde Julho de 2008, todos os edifícios novos deverão dispor de um certificado válido, sendo que desde 2009 todos os edifícios existentes obrigatoriamente devem dispor de um certificado válido na fase de celebração do respetivo contrato de venda, locação ou arrendamento [21]. O Sistema Nacional de Certificação Energética compreende a aplicação das EPBD, o que significa que os edifícios novos, públicos e todos os edifícios vendidos ou arrendados estão incluídos [8]. Um estudo realizado pela ADENE sobre as regiões de Beja, Bragança, Lisboa e Porto, indica que cerca de 40% dos imóveis certificados antes da entrada em vigor da primeira EPBD, em 2006, apresentam uma classe energética igual ou superior a B-, sendo que ao analisar-se toda a amostra verifica-se uma predominância da classe C, *gráfico 12* [22].

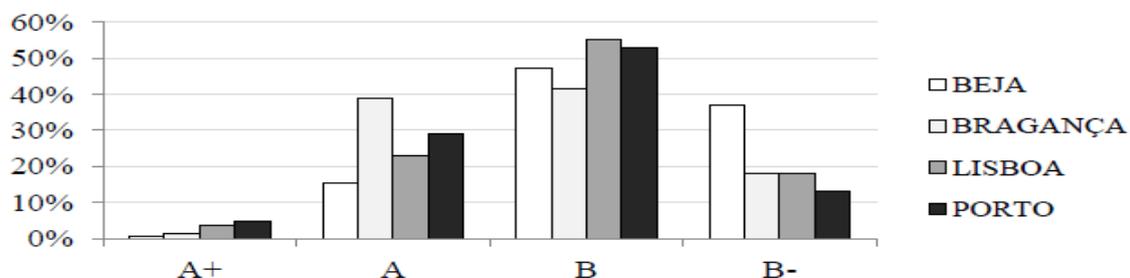
Gráfico 12 - Classe energética dos edifícios construídos até 2005.



Fonte: Impacto dos regulamentos na construção e as oportunidades de melhoria do parque habitacional, ADENE.

Já no que se refere aos edifícios posteriores a 2006 cerca de 80% dos mesmos já atingem o patamar mínimo regulamentar, sendo que a classe A+ é muito pouco expressiva, *gráfico 13* [22].

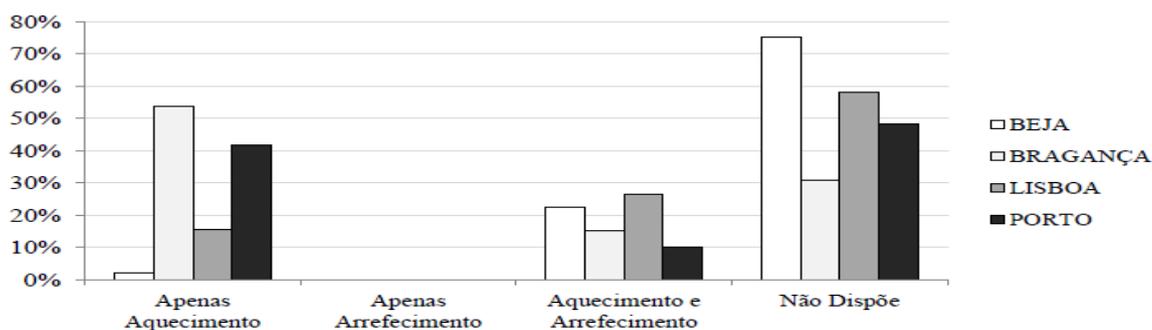
Gráfico 13 - Classe energética dos edifícios construídos após 2006.



Fonte: Impacto dos regulamentos na construção e as oportunidades de melhoria do parque habitacional, ADENE.

Contudo, no que toca aos sistemas de climatização quer na componente de aquecimento quer na componente de arrefecimento neste tipo de edifícios, cerca de 45% das frações certificadas não dispõem deste tipo de sistemas instalados, sendo que a maioria dos equipamentos utilizados nas habitações são equipamentos móveis adquiridos posteriormente, *gráfico 14*. Este tipo de equipamentos maioritariamente são ineficientes e potenciam o aumento do consumo energético [22].

Gráfico 14 - Sistemas de Climatização em Edifícios construídos após 2006.



Fonte: Impacto dos regulamentos na construção e as oportunidades de melhoria do parque habitacional, ADENE.

2.2.2 ASHRAE/ANSI/USGBC/IES 189.1 – Standards for the Design of High-Performance Green Buildings

A ASHRAE é uma associação internacional de engenheiros de climatização - AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) com membros filiados em diversos países. Estes membros estão em cada país organizados sobre a forma de capítulos. Estes capítulos, agregam voluntariamente um conjunto de membros da ASHRAE e visam o desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico, bem como a partilha de informação e experiências. Esta associação, atualmente encontra-se presente em 130 países e contém um total de 50.000 membros. Em Portugal, o capítulo Português engloba 92 membros efetivos [23].

Há cerca de 45 anos atrás surgiu nos Estados Unidos da América a normativa 90, desenvolvida pela ASHRAE “American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers” como forma de delinear as primeiras bases, nesse país, para a conservação de energia nos edifícios [24]. Esta primeira normativa foi desenvolvida como uma reação ao embargo de petróleo em 1970, o que à data desencadeou uma crise energética global, nos países desenvolvidos. Atualmente, o conjunto de normativas desenvolvidas por esta organização, serve de base ao desenvolvimento de regulamentos em todos os Estados Americanos, sendo que a regulamentação Europeia e Asiática têm por base os regulamentos Americanos neste domínio [24]. De facto, poderá afirmar-se que esta normativa apresenta grande relevância no panorama Americano, sendo que foi a primeira a definir requisitos de eficiência energética para edifícios. Em 2001, a normativa 90 foi atualizada dando lugar a 90.1. Atualmente, esta normativa 90.1, que ao longo de alguns anos também foi sendo atualizada, deu lugar em 2011 à

normativa 189.1 [25]. Esta última versão, datada de 2011, foi desenvolvida em colaboração com a USGBC “U.S. Green Building Council” e com a IES” Illuminating Engineering Society of North America” e destaca-se pelo facto de apresentar os requisitos necessários para estar em conformidade com o estabelecido pelo IGCC “ International Green Construction Code” [26]. Segundo a ASHRAE, devido à forma como esta normativa se encontra estruturada será fácil para qualquer autoridade nacional ou internacional adotá-la no seu contexto legislativo [26]. De acordo com estabelecido no documento enunciado, a adoção dos requisitos estabelecidos irá garantir os critérios mínimos e aceitáveis de projeto e em especial para edifícios com bom desempenho energética [25]. Desta forma, a nova atualização do documento 90.1 em conjunto com o IGCC definem o primeiro conjunto de normas e padrões para o desenvolvimento de edifícios de bom desempenho energético [24]. Contudo, este documento 189.1 de 2011 ainda não apresenta cariz obrigatório, sendo esperado que o mercado desenvolva voluntariamente edifícios com as diretrizes definidas no documento [27]. Devido à evolução legislativa registada, poderá definir-se que a norma 90.1 veio estabelecer as bases para o desenvolvimento da eficiência energética, sendo que a norma 189.1 desenvolve sobre essa base medidas adicionais afetas à eficiência energética nos edifícios. Para que esta eficiência seja atingida, são estabelecidas exigências relativas ao uso de energias renováveis, requisitos de sustentabilidade local, requisitos afetos à eficiência no uso de água, bem como requisitos para a qualidade ambiental e para o impacto que as construções desencadeiam sobre a atmosfera [24]. Esta alteração de diretrizes ligadas à eficiência energética americana surge em sintonia com as alterações elaboradas ao sistema legislativo Europeu. Tal como a nível Europeu, também atualmente nos EUA os edifícios são considerados como um grupo potencial onde poderá ser possível reduzir o consumo de energia bem como as emissões de GEE [25]. Os edifícios muitas das vezes interrompem ecossistemas naturais e provocam um aumento dos efeitos negativos de erosão, sendo que a sua localização poderá também de forma significativa produzir um aumento das emissões locais de GEE e de outros poluentes. Segundo o USGBC, os edifícios nos EUA são responsáveis por cerca de 39% das emissões de CO₂, por 40% do consumo total de energia, por 13% do consumo de água e são responsáveis por cerca de 15% do Produto Interno Bruto anual [25]. Estes números demonstram a grande importância que este setor representa neste país e a relevância a nível económico e ambiental que por exemplo uma redução no consumo de energia proporcionaria. No desenvolvimento e submissão da análise da normativa 189.1 de 2011, foram incorporadas algumas novas abordagens em relação à normativa que a precede. Contudo, durante este processo as novas disposições incorporadas não foram submetidas a nenhuma avaliação económica. Desta forma, está fora do foco desta norma o desenvolvimento de uma abordagem que estime um limite economicamente viável associado ao benefício energético e/ou ambiental [25]. O objetivo principal desta norma é fornecer os requisitos mínimos no que toca a condições afetas à localização, conceção, construção e estruturar uma estratégia para desenvolver edifícios de alta eficiência energética. Estes requisitos mínimos são aplicados a edifícios novos, aos que sofram grandes reabilitações e aos edifícios existentes aos quais são implementes novos sistemas [25]. Esta normativa, não é aplicável em moradias unifamiliares,

multifamiliares e a casas pré-fabricadas, bem como em edifícios que não disponham de eletricidade e não utilizem combustíveis fósseis ou água [25]. Através do desenvolvimento deste tipo de edifícios altamente eficientes, espera-se conseguir equilibrar as responsabilidades ambientais, a eficiência de recursos, o conforto e bem-estar dos ocupantes destes edifícios, bem como apoiar um objetivo de crescimento sustentado onde as necessidades presentes são satisfeitas sem que as futuras fiquem comprometidas [25].

2.2.3 PassivHaus Zero Energy

Desde a escalada do preço dos combustíveis fósseis decorrente da crise petrolífera de 1970, que muitos arquitetos e engenheiros têm tentado trilhar um caminho no sentido de uma redução da dependência deste tipo de combustíveis, desenvolvendo assim um renovado interesse em uma arquitetura que consegue moderar as condições interiores com as estações do ano por meio de um correto desenvolvimento do projeto [28]. Desta forma, no decorrer desta nova abordagem por parte dos profissionais ligados à área construtiva desenvolve-se uma abordagem de projeto que tem em conta as diversas especificidades ambientais exteriores na forma como o edifício é projetado. Assim, as condições interiores vêm-se melhoradas, bem como passará a existir um aumento da eficiência energética devida a uma redução na dependência dos meios mecânicos e elétricos que suprimem as diversas necessidades no decorrer das várias estações. Contudo, recorde-se que na arquitetura tradicional algumas técnicas, como a utilização de paredes brancas, já eram utilizadas como forma de melhorar as condições interiores nas habitações. Apesar disto, com o passar dos anos algumas destas metodologias foram sendo colocadas de parte, sendo que a partir da década de setenta do século XX, houve como que uma redescoberta e adaptação das mesmas. Desta forma, estas novas perceções da forma como os edifícios deverão interagir com o meio ambiente levam a alterações a nível de projeto. Estas alterações assentam principalmente num correto posicionamento das aberturas, no posicionamento do edifício e na implementação de materiais com bom desempenho térmico. Denominou-se este tipo metodologias como projeto passivo. O projeto passivo procura maximizar os benefícios térmicos e ambientais que podem surgir através de uma consideração pensada do desempenho dos componentes e sistemas do edifício de modo a minimizar as perdas de calor no inverno e os ganhos de calor no verão. Um “Desenho Passivo” puro não considera sistemas ativos [28]. Contudo isto não é por vezes o mais apropriado, tendo em consideração que a incorporação de sistemas mecânicos e elétricos (principalmente com a função de controlo) é normalmente desejável de modo a permitir que os elementos 'passivos' funcionem corretamente [28]. O 'Desenho Passivo' é assim um termo genérico, que é usado para definir uma abordagem estratégica de projeto, com o objetivo de minimizar o consumo energético de combustíveis fósseis para aquecimento, ventilação, iluminação e arrefecimento dos edifícios [28].

Grande parte da investigação ligada a esta temática começou a ser desenvolvida nos EUA nos anos setenta durante a administração de Jimmy Carter. Nos anos oitenta, a Europa através do financiamento da Comissão Europeia continuou e aprofundou a investigação que havia sido iniciada nos EUA [28]. É neste contexto, que surge o conceito PassivHaus [28]. Em 1991 na Alemanha, por intermédio de Wolfgang Feist e Bo Adamson é pela primeira vez na Europa do norte aplicado um modelo passivo a uma casa em Darmstadt. Este primeiro passo teve como objetivo desenvolver um caso de estudo de uma casa que apresentasse um boa relação custo/benefício entre o custo construtivo para o clima Alemão e o baixo consumo energético [29]. Este projeto piloto demonstrou ser um sucesso de tal forma que um outro projeto foi desenvolvido em 1995 em Groß-Umstadt. É então neste ano que Wolfgang Feist baseado na experiência decorrente dos dois primeiros projetos desenvolve a norma PassivHaus, sendo que esta assenta em três princípios fundamentais, *tabela 5* [28]. Esta primeira versão, já incluía todas as características que a atual norma PassivHaus na Alemanha contém, nomeadamente indicações para a utilização de elevados níveis de isolamento (incluindo pontes térmicas reduzidas e janelas bem isoladas), espaços reduzidos para infiltrações de ar e um sistema de ventilação com um sistema eficiente de recuperação de calor [30]. Atualmente está ainda considerada a utilização de energias renováveis como forma de diminuir a emissão de CO₂ [29].

Tabela 5 - As três exigências fundamentais da norma PassivHaus.

| Requisitos Fundamentais PassivHaus |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Limites à energia utilizada como fonte de aquecimento e arrefecimento; • Exigência de qualidade como forma de promover o conforto térmico; • Cumprir um limite energético de qualidade sem a necessidade de um custo elevado. |

Fonte: PassivHaus.

O facto de este modelo demonstrar ter grande sucesso na Alemanha e em países situados na Europa central, cedo levantou alguns questões nomeadamente ligadas a perceção de se este modelo teria também sucesso em países mais a sul da Europa, onde ao contrário dos do centro as necessidades de arrefecimento são superiores as de aquecimento durante grande parte do ano. Desta forma, surge o projeto Passiv-On financiado pela Comissão Europeia como forma de perceber se esta metodologia poderá ser aplicada em países do Sul da Europa. Deste consórcio resulta uma proposta para a aplicação deste conceito em climas quentes Europeus. Em climas centrais da Europa, verifica-se que estas melhorias de eficiência energética resultam numa possibilidade de simplificar o sistema de aquecimento, sendo possível manter o edifício confortável apenas com o aquecimento do ar que é necessário fornecer ao edifício de forma a garantir uma boa qualidade do ar interior. Assim, todo o sistema de distribuição de calor pode ser reduzido a um pequeno sistema com recuperador de calor [28]. Esta solução resulta num sistema com alta eficiência energética e com um bom custo/benefício.

2.3 Contexto Legislativo Nacional

No contexto atual, Portugal é um dos 28 estados membros da União Europeia, pelo que para além dos benefícios inerentes também se vê obrigado a cumprir com as Diretivas. Neste sentido, muitos dos Decretos-Leis em vigor derivam de Diretivas anteriormente delineadas no parlamento europeu e posteriormente transcritas para o panorama legislativo nacional. Estas Diretivas apresentam diretrizes que os estados deverão seguir. Caberá a cada Estado Membro adaptar as Diretivas em função da sua realidade. Atualmente Portugal procedeu à adaptação da Diretiva 2010/31/EU de 19 Maio o que se traduziu pelo novo Decreto-Lei nº118/2013, de 20 Agosto, que alterou a regulamentação referente à eficiência energética e à certificação energética de edifícios em Portugal, como poderá ser observado pela análise da *figura 2* e da *tabela 6*.

Figura 2 - Evolução cronológica da Legislação afeta a eficiência energética nos edifícios.

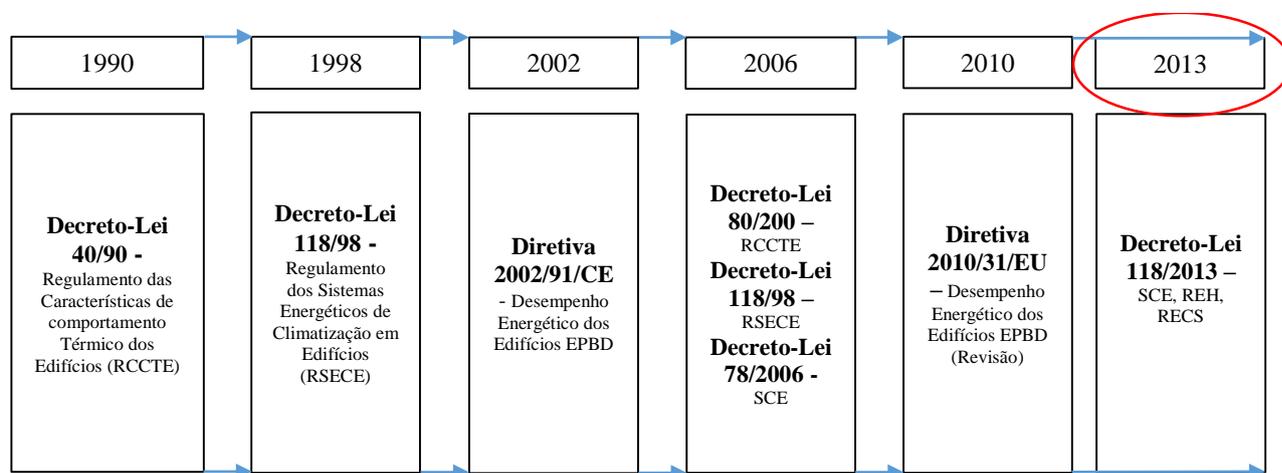


Tabela 6 - Atual Quadro Legislativo.

| | |
|------------------|---|
| Decretos | Lei 58/2013 – Técnicos do SCE; Lei 118/2013 – SCE, REH, RECS. |
| Portarias | 349-A/2013 – SCE - Funcionamento do SCE; 349-B/2013 - REH – Requisitos; 349-C/2013 - Licenciamento – Procedimentos, Licenciamentos e folhas de cálculo; 349-D/2013 - RECS - Requisitos e Metodologias; 353-A/2013 - Ventilação e Qualidade do Ar Interior – Requisitos e Metodologias. |
| Despachos | 15793-D/2013 – Fatores de conversão entre energia (Fpu); 15793-E/2013 – Regras de simplificação; 15793-F/2013 – Dados climáticos; 15793-G/2013 – Receção de instalações e Plano de Manutenção; 15793-H/2013 – Energia renovável; 15793-I/2013 – Necessidades REH; 15793-J/2013 – Classificação energética; 15793-K/2013 – Parâmetros térmicos; 15793-L/2013 – Viabilidade económica. |

2.3.1 Decreto-Lei nº58/2013 de 20 de Agosto

Serve o presente decreto-lei como instrumento regulador de competências para os profissionais, que de forma legal podem desempenhar a atividade de perito qualificado (PQ) para a certificação energética e de técnico de instalação e manutenção de edifícios e sistemas (TIM). Os profissionais anteriormente referenciados são ao abrigo do disposto no decreto 118/2013, de 20 de Agosto, considerados técnicos de sistemas de certificação energética (SCE). Estas duas classes profissionais encontram-se organizadas em diferentes categorias, como se poderá observar na *tabela 7*, sendo que quanto maior for essa categoria, maior é a complexidade dos trabalhos que por estes poderão ser executados. Os TIM, vêm-se obrigados à realização de uma prova prática para aceder à profissão [36]. Já os PQ para que o possam fazer, obrigatoriamente terão de ser arquitetos, engenheiros ou engenheiros técnicos inscritos nas respetivas associações públicas profissionais [37].

Tabela 7 - Esquematização das diferentes categorias dos profissionais do SCE.

| Qualificações Profissionais dos técnicos do SCE | | |
|---|---|---|
| Categoria | Campo de atuação | Exigências Profissionais |
| PQ-I | Em edifícios de habitação no âmbito do REH, e em pequenos edifícios de serviços dotados de sistemas de climatização com potência nominal igual ou inferior a 25 kW no âmbito do RECS. | <ul style="list-style-type: none"> Arquitetos, engenheiros civis, engenheiros técnicos civis, engenheiros mecânicos, engenheiros técnicos mecânicos, engenheiros eletrotécnicos, engenheiros técnicos de energia e sistemas de potência, especialistas em engenharia de climatização ou energia; Cinco anos de experiência profissional em atividade de projeto ou construção de edifícios; Aprovação em exame realizado pela entidade gestora do SCE. |
| PQ-II | Em edifícios de serviços dotados de sistema de climatização com potência nominal superior a 25Kw no âmbito do RECS. | <ul style="list-style-type: none"> Engenheiros mecânicos, engenheiros técnicos mecânicos, engenheiros eletrotécnicos, engenheiros técnicos de energia e sistemas de potência, especialistas em engenharia de climatização ou energia; Cinco anos de experiência profissional em atividade de projeto ou construção ou manutenção de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), ou de auditorias energéticas em edifícios abrangidos pelo RECS; Aprovação em exame realizado pela entidade gestora do SCE. |
| TIM - II | Qualificado para atuar em edifícios com sistemas técnicos instalados ou a instalar limitados a 100Kw de potência térmica nominal. | <ul style="list-style-type: none"> Deverá possuir qualificações de nível 2 do Quadro Nacional de Qualificações em eletromecânico de refrigeração e climatização do Catalogo Nacional de Qualificações. |
| TIM - III | Qualificado para atuar em edifícios com sistemas técnicos instalados ou a instalar com mais de 100Kw de potência térmica nominal. | <ul style="list-style-type: none"> Deverá possuir qualificações de nível 4 do Quadro Nacional de Qualificações em técnico de refrigeração e climatização do Catalogo Nacional de Qualificações. |

Fonte: Adaptação do disposto no Artigo 2º, do Decreto-Lei nº58/2013 de 20 de Agosto.

Para efeitos do nº1 do Artigo 15º, do Decreto-Lei nº118/2013, de 20 de Agosto, um edifício ou fração poderá para efeitos de uma certificação energética, ser integrado numa de quatro diferentes categorias, *tabela 8* [38].

Tabela 8 - Categoria de edifícios no âmbito de uma certificação energética.

| Categoria | Descrição do edifício |
|---|---|
| Hab – Habitação | Edifícios ou frações de edifícios de habitação, independentemente de dispor ou não de sistema de climatização. |
| PESsC – Pequeno edifício de comércio e serviços sem climatização | Pequeno edifício ou fração destinado a comércio e serviços que não disponha de sistema de climatização, ou cujo sistema de climatização tenha uma potência térmica correspondente à maior das potências de aquecimento ou arrefecimento, igual ou inferior a 25 kW. |
| PEScC – Pequeno edifício de comércio e serviços com climatização | Pequeno edifício ou fração destinado a comércio e serviços que disponha de sistema de climatização, com potência térmica correspondente à maior das potências de aquecimento ou arrefecimento, superior a 25 kW. |
| GES – Grande edifício de comércio e serviços | Grande edifício destinado a comércio e serviços, independentemente de dispor ou não de um sistema de climatização. |

Fonte: Adaptação do predisposto no Anexo III, da Portaria nº 349-A/2013 de 29 Novembro.

Como se poderá observar na *tabela 9*, a emissão de pré-certificados e de certificados SCE, passa a estar dependente da categoria do PQ e da categoria do edifício [38]. Assim sendo, um Perito Qualificado de categoria I não poderá emitir este tipo de documentos para todo tipo de edifícios. Apesar de os Peritos Qualificados de categoria II estarem aptos para emitir estes documentos para edifícios de maior complexidade, estes também o poderão fazer para os edifícios de categoria PESsC.

Tabela 9 - Responsabilidade de emissão de Pré-certificados e certificados SCE.

| Emissão de Pré-certificados e Certificados SCE | |
|---|------------------------------|
| Categoria do Técnico SCE | Categoria de edifício |
| PQ-I | Hab e PESsC |
| PQ-II | PEScC e GES |

Fonte: Adaptação do predisposto no Anexo III, da Portaria nº 349-A/2013 de 29 Novembro.

Para além do já anteriormente enunciado, ambos os técnicos SCE deverão cumprir com o predisposto no Artigo 5.º do presente Decreto-Lei 58/2013, de 20 de Agosto e que é devidamente exemplificado pela *tabela 10*.

Tabela 10 - Competências exigidas aos profissionais PQ e TIM.

| Competências exigidas aos técnicos do SCE | |
|---|--|
| PQ | TIM |
| <ul style="list-style-type: none"> • Identificar avaliar as oportunidades e recomendações de melhoria de desempenho energético dos edifícios; • Fazer a avaliação do desempenho energético dos edifícios a certificar no âmbito do SCE, registando as oportunidades e recomendações de melhoria de desempenho energético no pré-certificado ou certificado emitido e na demais documentação complementar; • Emitir os pré-certificados e certificados SCE; • Colaborar nos processos de verificação de qualidade do SCE; • Verificar e submeter ao SCE o plano de racionalização energética. | <ul style="list-style-type: none"> • Coordenar ou executar as atividades de planeamento, verificação, gestão da utilização de energia, instalação e manutenção relativas a edifícios e sistemas técnicos, nos termos do disposto no Decreto-Lei nº118/2013, de 20 de Agosto. • É permitido aos TIM-III a prática dos atos próprios dos TIM-II. |

Fonte: Adaptação do disposto no Artigo 5º, do Decreto-Lei 58/2013 de 20 Agosto.

2.3.2 Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de Agosto

O decreto-lei acima referenciado surge como a transposição da Diretiva nº 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios [10]. Com a introdução deste documento a legislação nacional foi revista e alterada, no sentido de abranger de forma mais clara, assertiva e eficiente uma variadíssima gama de edifícios que esta regula. Uma das alterações mais significativas é o facto de os três regulamentos que desde 2006 estavam em vigor, *figura 2*, passarem a estar concentrados num único documento. Com esta alteração, promove-se a harmonização concetual, terminológica e a simplificação. Foram revogados os Decretos-Leis nº78/2006, nº 79/2006 e nº80/2006 de 4 Abril [10]. Com a entrada em vigor deste novo regulamento e como se poderá observar pela análise da *figura 3*, a separação entre edifícios de serviços e de habitação é óbvia, sendo possível que cada edifício passe a ter um diferente tratamento técnico em função da sua utilização [10]. São assim desenvolvidos dois grupos distintos de avaliação, um constituído pelos edifícios de habitação e outro pelos edifícios de serviços, sendo que cada um passa a ser regulamentado por um método específico que contempla as suas necessidades. Desta forma, os edifícios de carácter habitacional passam a ser regulamentados pelo REH “Regulamento de Desempenho Energético dos

Edifícios de Habitação”, e os edifícios de serviços pelo RECS “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços”.

Figura 3- Esquema de simplificação legislativa.



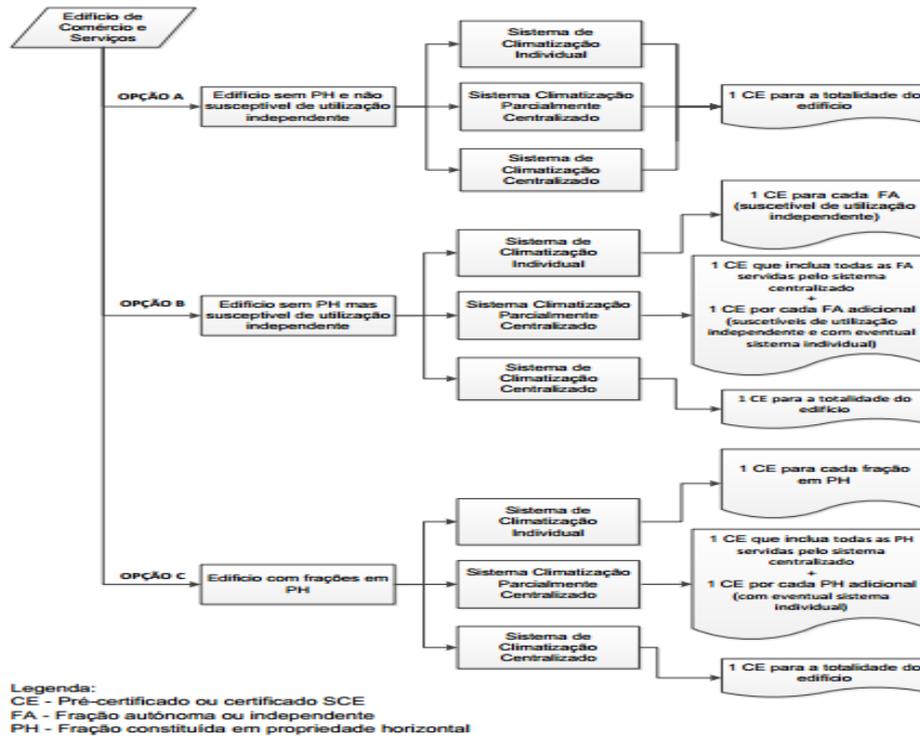
Segundo o Artigo 22º do Decreto-Lei 118/2013, o REH estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente [10]. Esta metodologia de determinação da classe energética anteriormente enunciada, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios devem ser definidos segundo o estabelecido na Portaria nº349-B/2013, de 29 de Novembro [39]. Por sua vez, o RECS segundo o Artigo 32º do decreto anteriormente enunciado estabelece as regras a observar no projeto, construção, alteração, operação e manutenção de edifícios de comércio e serviços e os seus sistemas técnicos, bem como os requisitos para a caracterização do seu desempenho, no sentido de promover a eficiência energética e a qualidade do ar interior [10]. Em edifícios deste género, deverá ter-se em atenção que o seu desempenho energético é estimado através da determinação de um Indicador de Eficiência Energética (IEE). Este IEE é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento [40]. Para que se possa emitir um pré-certificado ou um certificado SCE para estes dois grupos de edifícios será necessário determinar a classe energética do edifício, sendo que esta deverá ser estabelecida segundo o definido no Despacho nº15793-J/2013. A classe energética é determinada através de um rácio de classe energética, sendo que a fórmula de cálculo para este rácio diverge consoante o tipo de edifício em questão. Posteriormente, deverá comparar-se o valor do rácio encontrado com os valores tabelados para assim encontrar a letra representativa à classe energética do edifício [41].

Poderá então assumir-se que o presente decreto se apresenta de forma sólida, constituindo uma ferramenta essencial numa procura assertiva de um caminho de melhoria da eficiência energética com especial enfoque no edificado. A nível internacional existe um conhecimento muito mais vasto nestas

temáticas. Conhecimento que deriva essencialmente de uma larga experiência na concretização e aplicação de medidas deste âmbito. Desta forma, o Decreto-Lei 118/2013 segue algumas das boas práticas desenvolvidas e comprovadas internacionalmente, bem como desenvolve instrumentos e metodologias de suporte à definição de estratégias, planos e mecanismos de incentivo à eficiência energética [10]. Outra elação importante a retirar da análise deste documento é o facto de os pré-certificados e os certificados SCE passarem a ser reconhecidos como certificações técnicas, o que proporciona a clarificação da sua aplicação em matéria de consultorias e vistorias. Tornam-se assim certificações técnicas de carácter obrigatório na instrução de operações urbanísticas [10]. É da competência da ADENE (Agência para a Energia) a gestão do SCE, contudo a fiscalização destas certificações será sempre da responsabilidade da DGEG “ Direção-Geral de Energia e Geologia”. Desta forma a ADENE, como entidade gestora vê-se obrigada a cumprir com o predisposto na Portaria nº349-A/2013, de 29 de Novembro que determina no Anexo I as competências da entidade gestora do Sistema de Certificação Energética nos Edifícios [38]. No que toca a qualidade do ar interior nas edificações é notória a clara e evidente preferência por uma ventilação natural em claro detrimento da atual e muito utilizada ventilação mecânica. Esta modificação surge como uma clara estratégia de otimização de recursos e/ou redução de custos, sendo que o objetivo da manutenção de valores mínimos de caudal de ar novo é sempre tido em foco [10]. É de salientar que com esta nova regulamentação, a certificação de edifícios de serviços passa a estar diretamente dependente da natureza do seu sistema de climatização, sendo que valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior devem estar de acordo com o preconizado na Portaria nº 353-A/2013, de 4 de Dezembro. Como se poderá observar na *figura 4*, um edifício de serviços que contemple um sistema de climatização centralizado passa a necessitar apenas de um único certificado.

Caso o edifício esteja sujeito a utilizações independentes e disponha de um sistema de climatização individualizado, então passará a existir a necessidade de este vir a ser avaliado individualmente e necessariamente terão de existir diferentes certificações para cada fração autónoma. É obrigatória a afixação do certificado energético na entrada dos edifícios de serviços, em posição visível, segundo o preconizado no Artigo 8º do decreto em análise [10]. Os edifícios de habitação, deverão ser certificados fração a fração independentemente da natureza do seu sistema de climatização [10].

Figura 4 - Esquema de certificação em edifícios de serviços.



Fonte: ADENE- Agência para a energia.

Existem critérios de exclusão no regulamento. De acordo com o disposto no Artigo 4º há edifícios que dispensam certificação, conforme indicado na tabela 11.

Tabela 11 - Casos de não necessidade de um SCE.

| | |
|-------------------------------|--|
| Casos de não aplicação | <ul style="list-style-type: none"> • Instalações industriais, agrícolas ou pecuárias; • Os edifícios utilizados como locais de culto ou para atividades religiosas; • Os edifícios ou frações exclusivamente destinados a armazéns, estacionamento, oficinas e similares; • Os edifícios unifamiliares com área útil igual ou inferior a 50m²; • Os edifícios de comércio e serviços devolutos, até à sua venda ou locação depois da entrada em vigor do presente diploma; • Os edifícios em ruínas; • As infraestruturas militares e os edifícios afetos aos sistemas de informações ou a forças e serviços de segurança que se encontrem sujeitos a regras de controlo e de confidencialidade; • Os monumentos e os edifícios individualmente classificados ou em vias de classificação, ou situados dentro de zonas de proteção, nos termos do Decreto-Lei nº309/2009, de 23 de Outubro, alterado pelos Decretos-Leis nºs 115/2011, de 5 de Dezembro e 265/2012, de 28 de Dezembro, e aqueles a que seja reconhecido especial valor arquitetónico ou histórico pela entidade licenciadora ou por outra entidade competente para o efeito; • Os edifícios integrados em conjuntos ou sítios classificados ou em vias de classificação, ou situados dentro de zonas de proteção, nos termos do Decreto-Lei nº309/2009, de 23 de Outubro, alterado pelos Decretos-Leis nºs 115/2011, de 5 de Dezembro e 265/2012, de 28 de Dezembro, quando seja atestado pela entidade licenciadora ou por outra entidade competente para o efeito que o cumprimento de requisitos mínimos de desempenho energético é suscetível de alterar de forma inaceitável o seu caráter ou o seu aspeto; • Os edifícios de comércio e serviços inseridos em instalações sujeitas ao regime aprovado pelo Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril, alterado pela Lei nº7/2013, de 22 de Janeiro. |
|-------------------------------|--|

Fonte: Adaptação do disposto no Artigo 4º, do Decreto-Lei 118/2013 de 20 Agosto.

2.4 Relevância dos NZEB como estratégia de eficiência energética

O setor dos edifícios apresenta-se como fundamental para que a União Europeia consiga atingir as metas que definiu relativamente à emissão de GEE. Nos edifícios residenciais e de serviços, estima-se que estas reduções representem, respetivamente, cerca de 88% e 99%, em 2050, relativamente aos valores estimados em 1990 [31]. Contudo, para que a UE consiga concretizar os objetivos pretendidos para 2020 e para que consiga levar por diante os seus objetivos de descarbonização até 2050, será necessário que exista um maior e sustentado investimento por parte de entidades públicas ou privadas [4]. Em 2007, os Estados Membros da UE comprometeram-se em 2020 a atingir uma redução de 20% na emissão de GEE em relação aos níveis de 1990, em aumentar em 20% a participação das Energias Renováveis no consumo energético da UE e em reduzir 20% no seu consumo de energia proporcionando assim uma melhoria da eficiência energética da UE [4]. Para que essas metas sejam concretizadas até 2020, estima-se que sejam necessários investir cerca de 100 bilhões de euros anuais, sendo que 70% deste valor deverá de ser diretamente canalizado para o setor dos edifícios [32]. Desta forma, será facilmente perceptível que ainda é necessário trilhar um longo e árduo caminho, para que as metas de 2020 sejam atingidas visto que atualmente só cerca de metade deste valor estará a ser investido por parte da UE [4]. Considerando os atuais níveis de construção, demolição e de grandes reabilitações por toda a Europa, prevê-se que cerca de 70% da cidade de 2050 já se apresente edificada [4]. Desta forma, torna-se essencial que seja desenvolvida uma correta escolha relativamente às tecnologias a aplicar e aos investimentos a realizar nos edifícios a necessitar de intervenções [4]. É neste panorama que o conceito NZEB se apresenta como uma ferramenta essencial para que exista uma redução de custos e um aumento da Eficiência Energética da UE. Um *Nearly Zero Energy Building* é um edifício que apresenta um elevado desempenho energético, sendo que as suas necessidades energéticas deverão ser supridas pelo recurso a fontes de energias renováveis. Estas energias deverão ser produzidas no local ou nas proximidades deste [5]. Deverá contudo, desenvolver-se uma clara desmistificação de dois conceitos que embora semelhantes caracterizam abordagens diferentes. O conceito *Nearly Zero Energy Building* e o conceito *Net Zero Energy Building*, não têm o mesmo significado. Os edifícios “Nearly”, são edifícios que têm um saldo energético ligeiramente negativo [33]. Para que tal seja possível, impõe-se que estes edifícios sejam eficientes energeticamente e que apresentem um bom tratamento da envolvente [33]. Os edifícios “Net”, são edifícios em que o diferencial entre a energia produzida e consumida, num ano, será igual a zero. Poderá ainda definir-se outro conceito ainda menos referenciado que são os *Energy-plus Building* [33]. Este conceito, define os edifícios cujo saldo energético é positivo. Segundo a EPBD de 2010, o desempenho energético de um edifício deverá ser determinado com base na energia anual estimada ou efetivamente consumida como forma de satisfazer as diferentes necessidades associadas à sua utilização típica e refletindo ainda as necessidades de energia de aquecimento e de arrefecimento como forma de manter as condições de temperatura previstas no edifício [5]. Em edifícios de comércio e serviços o desempenho energético é aferido pela determinação de um Indicador de Eficiência Energética, IEE, sendo que por sua vez este é determinado com base no

somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento [40]. O IEE deverá ser expresso em kWh/m².ano. Em Portugal, até ao momento não existe qualquer informação sobre os requisitos de desempenho energético nem qual deverá ser a contribuição das energias renováveis. Portugal não é o único país que não apresenta no seu panorama nacional legislativo estes valores estabelecidos. Neste momento, apenas o Chipre, a Eslováquia, a Bélgica, a França, a Irlanda, a Holanda, a Dinamarca, a Estónia, a Letónia e a Lituânia, estabeleceram os indicadores relativos ao desempenho energético que os edifícios devem apresentar [34].

Uma outra abordagem, com vista a alcançar os mesmos objetivos que outros Estados Membros (EM) parece ter o Reino Unido. Segundo o plano nacional deste país, a definição de NZEB de acordo com o Artigo 9º da Diretiva 2010/31/UE não impõe a obrigatoriedade de satisfazer as necessidades deste tipo de edifícios através do recurso a uma grande quantidade de energias renováveis. A justificação para esta diferente visão, prende-se com o facto de nesse artigo da Diretiva ser utilizada a palavra deve, “should” (e não “must”) em inglês, sendo que consideram que esta palavra é uma matéria de prática jurídica comunitária utilizada para definir uma aspiração e não uma obrigação [35]. Na Dinamarca os requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios já se encontram definidos. Estes requisitos foram estabelecidos tendo em conta etapas para 2010, 2015 e 2020, focando-se numa distinção desses requisitos aplicáveis às necessidades energéticas dos edifícios residenciais, não residenciais, bem como na evolução dos seus fatores de conversão de energia primária [33]. A redução das necessidades de energia primária nos edifícios é acompanhada, para além do aumento de eficiência energética nestes, pela redução dos fatores nacionais de conversão para energia primária e por via da expectativa de aumento do contributo de fontes de energia renováveis, no local ou nas proximidades do mesmo, *tabela 12* [33].

Tabela 12 - Requisitos de desempenho energético na regulamentação Dinamarquesa.

| VALORES PARA | | 2010 (KWH/M ² .ANO) | 2015 (KWH/M ² .ANO) | 2020 (KWH/M ² .ANO) |
|--|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| LIMITE DE NECESSIDADES DE ENERGIA PARA | EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS | 52,5+1650/A | 30+1000/A | 20 |
| | EDIFÍCIOS NÃO RESIDENCIAIS | 71,3+1650/A | 41+1000/A | 25 |
| FACTORES DE CONVERSÃO PARA | ELECTRICIDADE | 2,5 | 2,5 | 1,8 |
| | REDE URBANA DE CALOR | 1,0 | 0,8 | 0,6 |

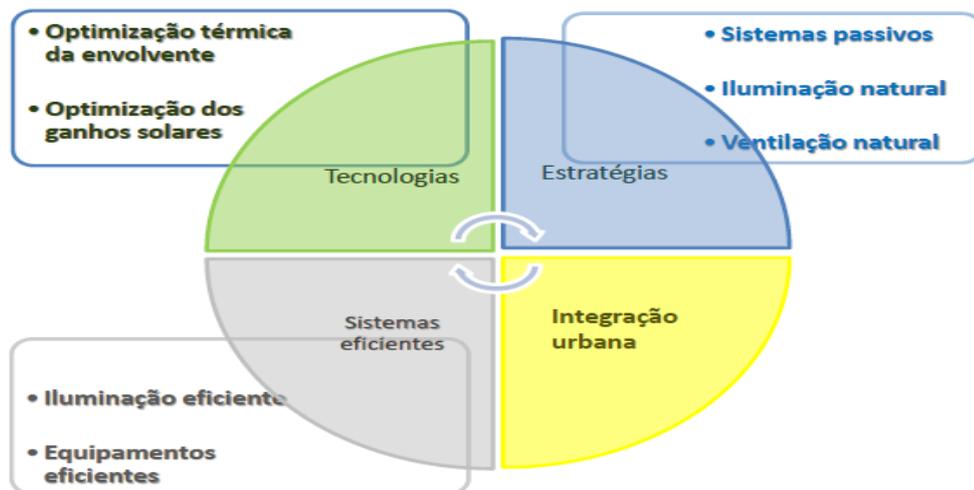
A= área bruta aquecida

Fonte: Paulo Santos (ADENE), em “o que vai mudar com os NZEB?”.

Este método, apresenta-se assente em valores absolutos em vez de uma escala relativa face a um edifício ou a soluções de referência [33]. Em Portugal, os valores deverão vir a ser estabelecidos tendo em conta as condições climáticas, técnicas e económicas.

Ao avaliar-se o património já edificado, facilmente se percebe que não será expectável que todos os edifícios se possam vir a tornar-se um NZEB. O desempenho energético de um edifício é fortemente influenciado pelo ano da sua construção, sendo os edifícios residenciais os que apresentam pior desempenho [4]. Muitos edifícios da mesma época construtiva irão necessitar de medidas de reabilitação semelhantes o que conseqüentemente levará a potenciais poupanças igualmente semelhantes [4]. Tal facto ajudará a definir quais os edifícios que mais aptos estarão para sofrer reabilitações profundas [4]. Durante a análise a realizar ao atual parque edificado, muito provavelmente se chegará à conclusão que não será viável economicamente transformar alguns destes edifícios em NZEB. Esta inviabilidade estará fortemente conectada às técnicas e tecnologias construtivas existentes em cada edifício. Desta forma, para que se possa transformar um edifício já edificado num NZEB, o primeiro passo a dar será o de tentar reduzir muito significativamente as necessidades de consumo, sendo que para isto se deverão eliminar os desperdícios energéticos, *figura 5*. Para que esta redução possa efetivamente acontecer, algumas medidas como o tratamento das envolventes, ventilação, coberturas verdes entre outras, poderão ser estudadas e aplicadas. O segundo passo, será proceder à exploração das condições naturais existentes, como forma de produzir energia.

Figura 5 - Redução dos desperdícios energéticos.



Fonte: Jornadas de climatização, Ordem dos Engenheiros, 13 Outubro de 2011.

O mercado relativo aos edifícios onde a Eficiência Energética poderá ser alcançada ou melhorada é muito vasto na União Europeia [4]. Contudo, algumas barreiras para além das que já anteriormente foram referenciadas poderão levar a que o conceito NZEB tenha algumas dificuldades de se afirmar. Algumas estratégias e mecanismos de financiamento poderão ser utilizados como forma de estimular o mercado de investimentos para a energia sustentável [4]. Será então um passo crucial conseguir demonstrar a viabilidade dos projetos relativos à Eficiência Energética e às Energias Renováveis aos investidores através das economias de energia realizadas e às receitas geradas [4]. Durante o

desenvolvimento dos programas de financiamento em cada EM, estes deverão ter em atenção o conjunto de barreiras que afetam o mercado da reabilitação. Segundo o estudo “ Financing the energy renovation of buildings with Coehsion Policy funding” desenvolvido pela DG Energy para a UE, as principais barreiras ao mercado da reabilitação são:

- As barreiras financeiras, como o acesso limitado ao financiamento, os custos iniciais e períodos de recuperação relativamente longos;
- As barreiras institucionais e administrativas, tais como as questões de regulamentação e planeamento, bem como a complexidade devida a uma grande variedade de entidades envolvidas;
- Barreiras devido a falta de informação e sensibilização, dificuldade de compreensão e falta de conhecimento sobre o financiamento promovido pelos programas relativos à energia sustentável e aos seus benefícios;
- O problema conhecido como o "incentivo dividido" voltado para os proprietários e os seus inquilinos, bem como outros investidores, e que leva a uma desconexão entre aqueles que fazem o investimento e os que beneficiam da poupança de energia.

3. SUPORTE DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS

3.1. Envolventes

Os edifícios encontram-se expostos a um enorme conjunto de variáveis climáticas capazes de influenciar o seu desempenho energético. As variáveis que mais influenciam este desempenho energético são a temperatura do ar e a radiação solar [42]. A temperatura do ar assume-se como uma variável indutora de trocas de calor através da envolvente do edifício, o que determina o estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior do edifício [42]. Por outro lado, a radiação solar é um fator determinante no conforto térmico, sendo que no inverno constitui uma fonte de calor muito importante pois contribui para o aumento da temperatura interior dos edifícios [42]. Já nas estações de arrefecimento, para que não exista um aumento descontrolado das temperaturas interiores deverão reduzir-se os ganhos térmicos que derivam do aumento da intensidade da radiação solar. Devido à posição solar, nesta estação, e à grande área que ocupam, as envolventes horizontais são aquelas onde será de assinalar uma maior aptidão para a existência de ganhos térmicos. Assim, este tipo de envolventes deverão ser avaliadas criteriosamente para que daí não se propiciem situações de desconforto e aumentos substanciais das necessidades energéticas, para arrefecimento dos espaços interiores.

Seguidamente, serão abordadas técnicas construtivas que no desenvolvimento de uma reabilitação para além de melhorarem o conforto térmico podem proporcionar uma redução dos consumos energéticos dos edifícios.

3.1.1. Envolventes Verticais

A envolvente dos edifícios é predominantemente constituída por elementos verticais, pelo que é expectável que estes elementos forneçam ao edifício condições de conforto térmico, acústico, favoráveis, sem que as características estéticas dos mesmos sejam afetadas [43]. Assim, o consumo energético dos edifícios é fundamentalmente afetado pela resistência térmica, R , destes elementos verticais, sendo que este facto é especialmente notório nos grandes edifícios nos quais o rácio entre a área destes elementos e os restantes é muito elevado [43]. O primeiro passo para atingir uma redução do consumo energético passa por um correto isolamento térmico das envolventes. Este isolamento poderá ser idealizado através do recurso a soluções como o reforço do isolamento das envolventes pelo interior ou pelo exterior bem como através do recurso a elementos construtivos que apresentem uma menor condutibilidade térmica [44]. Mais recentemente, soluções como o desenvolvimento de fachadas verdes também têm vindo a ser desenvolvidas com algum sucesso. Cumulativamente, poderão também ser concebidas soluções que conduzam a uma substituição dos materiais que constituem os vãos

envidraçados dos edifícios. Esta opção poderá ser realizada em conjunto com qualquer uma das outras enunciadas, sendo que mais concretamente passa pela substituição dos materiais antigos, com comportamento térmico inadequado, por outros de génese mais recente, com capacidades para garantir isolamentos térmicos de elevado desempenho bem como o controlo sobre os ganhos solares e sobre a iluminação natural. O reforço do isolamento térmico das envolventes pelo exterior apresenta-se como uma opção mais vantajosa do que a de proceder ao reforço térmico pelo interior. A execução do isolamento térmico pelo exterior proporciona que as envolventes apresentem temperaturas permanentemente semelhantes as temperaturas do ambiente interior, sendo portanto submetidas a pequenas amplitudes térmicas sazonais [44]. Em sentido inverso, quando o isolamento térmico é aplicado pelo interior as envolventes ficam sujeitas a grandes variações térmicas, visto que a temperatura estará sempre próxima das temperaturas do ambiente exterior [44]. Sendo assim, para além das vantagens já enunciadas relativamente à aplicação do isolamento pelo exterior, em contexto de reabilitação a sua concretização desta forma permite que no interior das habitações não ocorram reduções da área habitável e proporciona ainda uma melhoria significativa do isolamento térmico e da impermeabilização [44]. Os principais sistemas de isolamento térmico pelo exterior são [44]:

- Sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado sobre isolante;
- Sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso sobre isolante;
- Sistemas de isolamento térmico por revestimento de elementos descontínuos de fixação mecânica com isolamento na caixa-de-ar;
- Sistemas de isolamento por revestimentos de ligantes hidráulicos armados e independentes com isolante na caixa-de-ar;

Estas técnicas são ainda classificadas consoante a possibilidade de desenvolvimento de uma lâmina de ar ventilada entre o revestimento e o isolante, sendo as suas diferenças mais relevantes demonstradas na *tabela 13* [44].

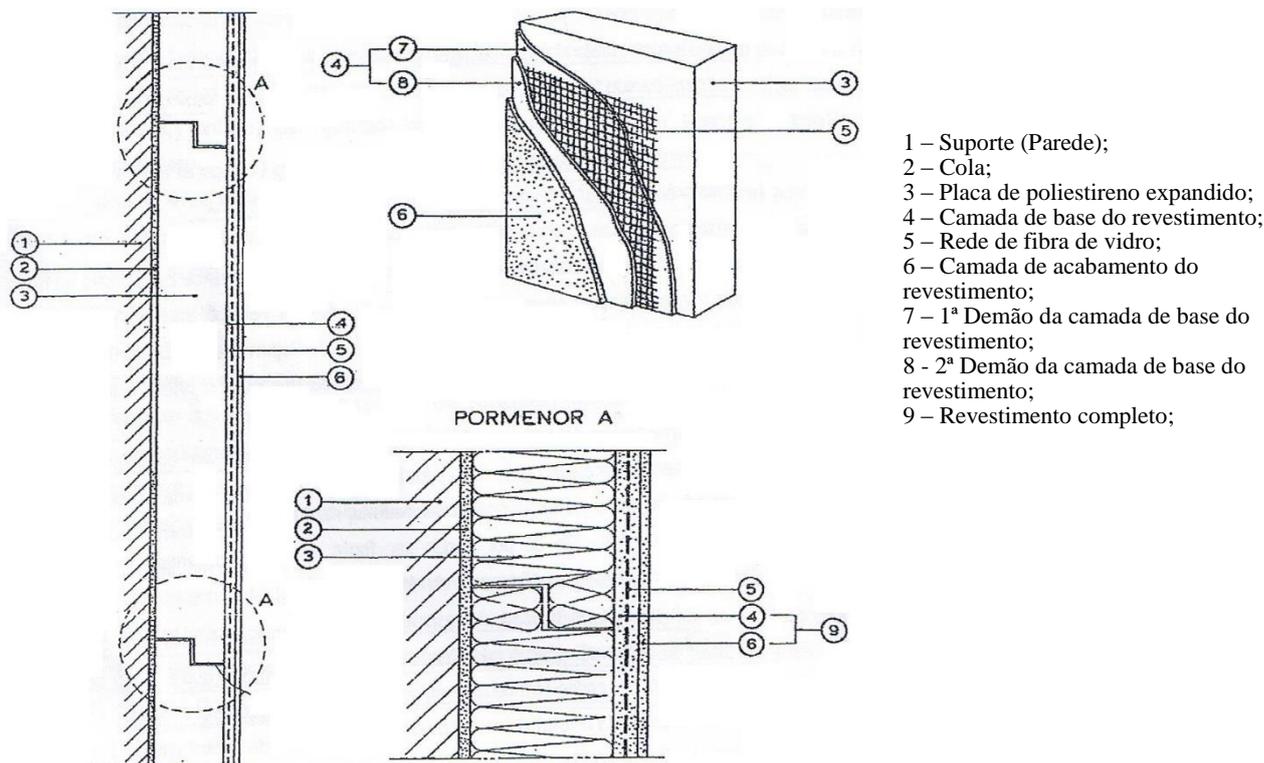
Tabela 13 - Comparação de características dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior com ou sem lâmina de ar.

| Características a comparar | Tipos de sistemas de isolamento térmico | |
|--|---|--|
| | Com lâmina de ar ventilada | Sem lâmina de ar |
| Funções do isolante | - Isolamento térmico | - Isolamento térmico - Suporte do revestimento - Impermeabilização à água |
| Processo de fixação ao suporte | - Fixação por pontos | - Colagem |
| Elementos responsáveis pela impermeabilização | - Revestimento - Lâmina de ar | - Revestimento - Isolante |
| Resolução do problema das variações dimensionais diferenciais | -Variações absorvidas pela geometria da ligação revestimento-estrutura de fixação | - Necessidade de escolha de revestimento e isolante compatíveis |
| Dificuldades de aplicação | - Fachadas com vãos numerosos - Paredes inadequadas à fixação mecânica | - Deficiências de planeza ou de regularidade superficial do suporte - Existência de revestimento antigo não aderente ao suporte |
| Possibilidade de eliminação de riscos de condensação no isolante | - Ventilação da lâmina de ar | -Compatibilidade das permeabilidades ao vapor de água do revestimento e do isolante |

Fonte: Adaptação do preconizado no ITE 24.

Os *sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado sobre isolante* são constituídos por um isolante em placa colado a um suporte, normalmente poliestireno expandido, por um revestimento delgado de ligante misto, em que predomina o ligante orgânico, armado com uma rede flexível, normalmente fibra de vidro, e por um revestimento de acabamento de ligante orgânico, *figura 6* [44]. Este sistema deverá apresentar uma resistência térmica, própria, nunca inferior a $0,5\text{m}^2\text{K/W}$ sendo que geralmente a espessura total do revestimento sobre o isolante é inferior a 7mm [44]. A armadura utilizada neste sistema de isolamento serve como meio de restringir as variações dimensionais da camada base do revestimento, de melhorar a resistência aos choques e assegura a resistência à fissuração do revestimento sobre as juntas, entre as diversas placas do isolante.

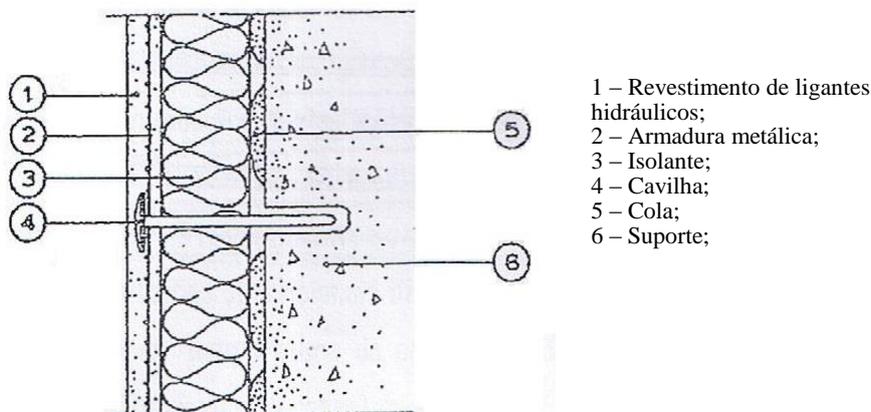
Figura 6 - Sistema de isolamento térmico por revestimento delgado sobre isolante.



Fonte: Adaptação do preconizado no ITE 24.

O sistema de isolamento térmico por revestimento espesso sobre isolante é constituído por um isolante em placa colado ao suporte e por um revestimento de ligante hidráulico armado com uma rede metálica, figura 7. O isolante que se afigura mais apropriado a este tipo de revestimento é o poliestireno expandido [44]. A armadura deste revestimento apresenta ligações pontuais, de índole mecânica, ao suporte, sendo normalmente constituída por aço galvanizado [44].

Figura 7 - Sistema de isolante térmico por revestimento espesso sobre isolante.



Fonte: Adaptação do preconizado no ITE 24.

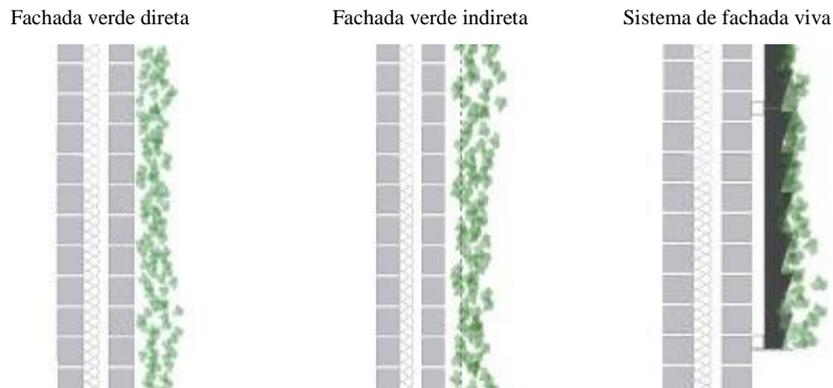
Nos sistemas de isolamento por revestimentos de ligantes hidráulicos armados e independentes com isolante na caixa-de-ar, a fixação de uma armadura metálica a uma estrutura de madeira ou de metal permite a formação de uma caixa-de-ar entre a parede e o revestimento [44]. A fixação da armadura a estrutura, normalmente é perfeita por intermédio de agrafos. Neste tipo de sistema, se a superfície a revestir for contínua e apresentar uma grande área, deverão ser acauteladas a existência de juntas de fracionamento do revestimento e da armadura como forma de limitar ou evitar o desenvolvimento de fissurações [44].

Por sua vez, os sistemas de isolamento térmico por revestimento de elementos descontínuos de fixação mecânica com isolamento na caixa-de-ar, são muitas das vezes constituídos por uma estrutura de madeira ou de metal o que permite os desenvolvimento de uma caixa-de-ar e a inserção do correspondente isolamento térmico entre a parede e o revestimento. Dependendo do tipo de revestimento, a fixação do mesmo poderá ser diferente da anterior mencionada. Assim, poderão também ser utilizados como forma de fixação elementos como “gatos”.

O uso de uma fachada verde, corretamente projetada e concebida, poderá também desempenhar uma boa metodologia de apoio, na climatização dos edifícios, em que as questões relativas à economia de energia sejam uma prioridade [45]. Contudo, para que através destes sistemas se consiga atingir alguma poupança energética, alguns aspetos fundamentais terão de ser tidos em consideração durante o desenvolvimento destes sistemas. Em uma primeira fase deverá selecionar-se o tipo de sistema de fachada verde, tendo em conta a existência de algumas diferenças significativas entre os diversos sistemas. Assim o comportamento energético do sistema irá depender da forma como é construído, da manutenção, da tipologia do sistema e do tipo de espécies vegetais [45]. De facto, a escolha do tipo de espécie vegetal deverá ser um fator muito relevante a ter em consideração. Ao optar-se por uma fachada deste género deverão ser escolhidas espécies do tipo folha caduca. No verão a folhagem deste tipo de plantas irá desenvolver um papel importante na redução do efeito da radiação solar que atinge a envolvente vertical do edifício [46]. Já no inverno, como estas plantas perderão a folhagem, permitirão que a radiação solar incida diretamente sobre a envolvente e assim garantir-se-á um aumento dos ganhos energéticos [46]. Para a avaliação do comportamento energético do sistema, deverão ser tidos em consideração aspetos como a radiação solar que o sistema irá conseguir intercetar bem como as sombras que o mesmo produzirá, o isolamento térmico e o arrefecimento evaporativo que proporcionará [45]. Este arrefecimento deve-se a fenómenos de evapotranspiração originados pela interação entre as plantas e o solo. Os diversos tipos de fachadas poderão ser classificadas em dois diferentes grupos: fachadas verdes e fachadas vivas, figura 8 [47]. O sistema de fachada verde é baseado num conjunto de cabos metálicos fixados diretamente no edifício, pelos quais as plantas se vão desenvolvendo [47]. Este sistema poderá ainda ser classificado como indireto, no caso de o sistema pelo qual as plantas crescem não estar fixado ao edifício. O sistema de fachada viva, também conhecido como jardim vertical, é constituído por um conjunto de painéis modelares que contém o solo e as plantas [47]. Esta técnica

ainda não é muito utilizada e muito menos de uso corrente em Portugal, contudo já têm surgido alguns elementos que permitem afirmar que esta produzirá efeitos benéficos em climas como o português. Neste sentido, alguns estudos demonstram que no clima Mediterrânico esta técnica possibilita uma redução das necessidades energéticas em cerca de 40 a 60% em relação a utilização do ar-condicionado [47]. Esta redução deve-se ao facto de o ar existente no espaço entre a envolvente exterior e o sistema verde estagnar, acabando assim por funcionar como uma camada extra de isolamento térmico [47].

Figura 8 - Sistemas de fachada verde.



Fonte: Adaptação do preconizado em *Cost-benefit analysis for green façades and living Wall systems*. Building and Environment, 2013.

Os vãos envidraçados como parte integrante das envolventes verticais desempenham um papel fulcral no desempenho energético dos edifícios. Na arquitetura atual, a área envidraçada poderá chegar a representar uma parte muito significativa de toda a área vertical, sendo de notar esta tendência especialmente em grandes edifícios de serviços. Recentemente têm surgido avanços significativos nas tecnologias associadas ao vidro. Assim, hoje em dia já se poderão encontrar no mercado, vidros com capacidades de controlo solar, vidros com propriedades isolantes, vidros com baixa emissividade, entre outros. Por exemplo, caso se pretenda favorecer o aquecimento passivo, deverão optar-se por vidros com um pequeno coeficiente de transmissão térmica e com uma grande capacidade de transmitir energia solar incidente [43]. Por outro lado, caso se pretenda o favorecimento da iluminação natural, deverá optar-se por vidros com uma baixa emissividade que permitam a penetração da luz visível do espectro solar e que ao mesmo tempo impossibilitem a penetração de outros comprimentos de onda que geralmente promovem os ganhos solares [43]. Seguidamente, serão evidenciados alguns tipos de vidros que pelas suas características poderão desempenhar um papel relevante em reabilitações que tenham como finalidade a melhoria do desempenho energético.

- **Vidro de vácuo** – Vidro de pano duplo com um espaço em vácuo entre os dois panos. Permitem eliminar as transferências por condutividade e convecção entre os dois panos. Geralmente o coeficiente de transmissão térmica é inferior a $1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Estudos recentes apontam que é possível atingir coeficientes de transmissão térmica inferiores a $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ com a utilização de panos triplos [43].
- **Vidros Refletivos**- Vidro de tonalidade variável, adequado para utilizações em edifícios onde ocorram grandes ganhos solares pelos vãos envidraçados como forma de melhorar as necessidades de arrefecimento. Estes vidros têm a capacidade de controlar a quantidade de luz que é transmitida, sendo que alteram as suas propriedades óticas em função da radiação solar incidente. Estas alterações óticas podem ocorrer devido a uma corrente contínua mas de baixa intensidade que é aplicada ao material [43].
- **Vidros com dispositivos de partículas suspensas**- Vidro de pano duplo em que no espaço compreendido entre os diferentes panos se encontra um filme de partículas suspensas. Estas partículas ao absorverem a luz incidente alinham-se de forma aleatória criando um barreira opaca. Ao aplicar-se uma determinada tensão, as partículas alinham-se perpendicularmente ao plano do vidro permitindo assim que este se torne transparente [43].

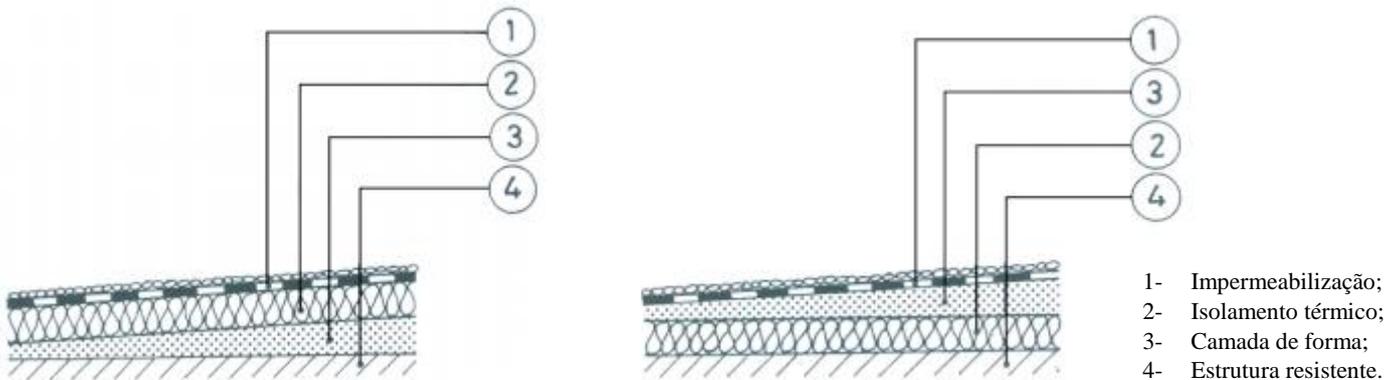
3.1.2. Envolventes Horizontais

As envolventes horizontais de um edifício estão fortemente suscetíveis à radiação solar e a outras mudanças ambientais. Desta forma, acabam por influenciar de forma muito significativa as condições de conforto interior nos edifícios ao serem responsáveis por um conjunto importante de trocas energéticas [43]. Por outro lado, estas trocas energéticas são diretamente afetadas pela área da cobertura e pelas condições climáticas na zona de implantação do edifício [43]. A disposição construtiva adotada nas envolventes horizontais desempenha um papel fundamental na determinação do desempenho energético, pelo que será importante atentar para os materiais que a compõem. Muitas das disposições construtivas adotadas atualmente nos edifícios, levam ao desenvolvimento de espaços acessíveis sobre as coberturas. Quanto a acessibilidade, as envolventes horizontais poderão ser classificadas como: não-acessíveis, acessíveis a pessoas, acessíveis a veículos e especiais (terraços jardim) [48]. Para que esta acessibilidade possa ser garantida, deverão ser correntemente implementados sobre estas envolventes materiais, que dependendo do seu albedo poderão contribuir para uma melhoria da eficiência energética dos edifícios. O albedo poderá ser definido como sendo a razão entre o valor da radiação solar refletida e o valor da radiação total recebida [49]. A intensidade da reflexão da radiação solar é influenciada por diferentes superfícies de solo, pela sua cor, textura e composição [49]. Assim, os materiais que perfazem as coberturas deverão ser materiais que durante os períodos em que estão expostos a altas temperaturas têm uma alta capacidade de refletir a radiação solar incidente e que ao mesmo tempo durante os períodos

noturnos dispõem de uma alta capacidade de emitir a radiação que absorvem [43]. Tal como nas envolventes verticais, o isolamento térmico assume um papel fundamental no desempenho das envolventes horizontais. Nas envolventes horizontais o isolamento poderá ser disposto em diversas zonas. A solução mais comum consiste na aplicação do isolamento térmico em uma camada intermédia, como suporte da impermeabilização, *figura 9* [48]. De forma menos usual, esta ultima solução poderá ainda ser concebida recorrendo a utilização do isolamento como suporte de uma camada de forma, *figura 10* [48].

Figura 9 - Isolamento térmico como suporte da impermeabilização.

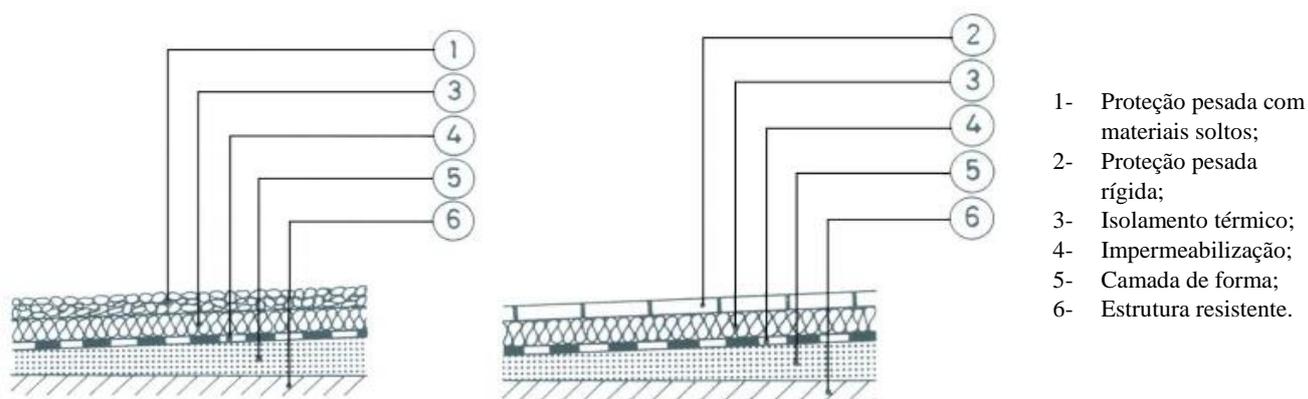
Figura 9 - Isolamento térmico como suporte de uma camada de forma.



Fonte: Adaptação do preconizado no ITE 34.

Uma outra solução vulgarmente designada por cobertura invertida poderá também ser utilizada, sendo que neste caso o isolamento térmico é colocado sobre o sistema de impermeabilização, *figura 11* [48]. Neste sistema, são normalmente consideradas a utilização de placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) [50]. O isolamento poderá ainda ser colocado na face inferior de uma estrutura resistente, em tetos falsos ou como revestimento aderente a esta mesma estrutura [48]. Contudo, esta última solução poderá não ser muito recomendável, visto que proporciona o agravamento das solicitações termomecânicas na estrutura resistente e no revestimento exterior da cobertura [48]. Poderá ainda, conduzir a uma redução da inercia térmica interior e consequentemente aumentar a probabilidade de ocorrência de condensações de humidade no interior do elemento construtivo [50].

Figura 10 - Isolamento térmico sobre impermeabilização, cobertura invertida.



Fonte: Adaptação do preconizado no ITE 34.

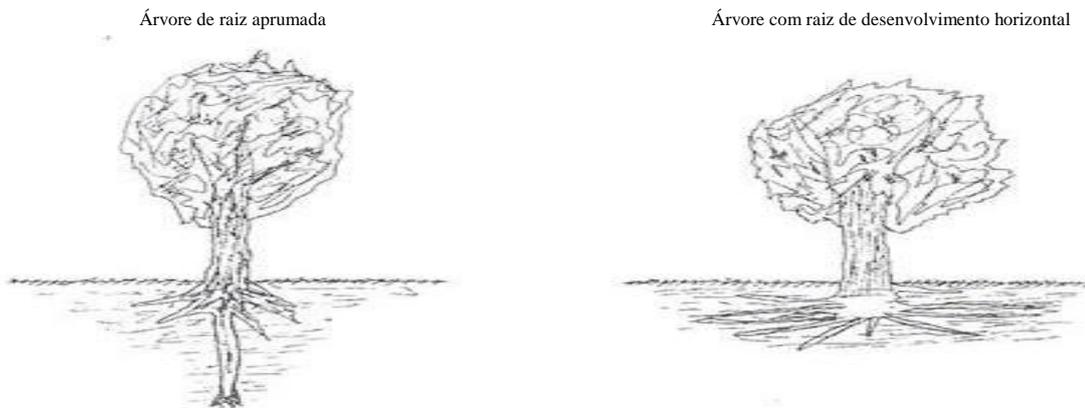
Em países como Portugal, onde as condições climáticas são potencialmente favoráveis em grande parte do ano, o desenvolvimento de coberturas ventiladas poderá levar a poupanças energéticas na ordem dos 30% [55]. Este valor estimado tem por base um estudo realizado em Pisa, Itália, durante um verão, em que foram comparados os desempenhos energéticos de uma cobertura ventilada e de uma outra cobertura convencional [55]. Este sistema de cobertura ventilada é particularmente útil em situações em que os edifícios apresentem uma altura relativamente elevada bem como uma ampla área de cobertura [43]. Estas coberturas são caracterizadas por duas lajes, que juntas perfazem um canal que permite a circulação do ar [43]. No Inverno, em que a temperatura poderá atingir valores muito baixos torna-se aconselhável selar o canal que permite a circulação do ar. Este canal poderá ser selado por intermédio de amortecedores, adequados, que permitem a ocorrência de ventilação [43]. Assim evita-se a ocorrência de condensações naquele local, contudo, caso ocorram, também se torna exequível o encaminhamento das mesmas para o exterior.

Nos últimos anos, alguns estudos têm vindo a ser desenvolvidos no sentido de procurar técnicas construtivas que possam ser desenvolvidas nas envolventes horizontais, como forma de potenciar ou melhorar as necessidades de refrigeração. Na grande maioria, estes estudos apontam as coberturas verdes como um meio de atingir os objetivos enunciados [43]. As coberturas verdes são então apontadas como uma técnica de arrefecimento passivo [43]. Este tipo de solução está diretamente dependente do clima, sendo que este influencia as características dos diversos elementos que a constituirá. Desta forma, uma solução por exemplo preconizada na Austrália poderá potencialmente ser diferente de uma outra que seja preconizada na Europa [52]. Os primeiros exemplos documentados deste tipo de coberturas, foram os jardins suspensos da Babilónia, datados de 590 aC, e mencionados na história de Heródoto, no século V aC, como sendo uma das sete maravilhas do mundo antigo [46]. Nos EUA, a primeira cobertura verde a ser desenvolvida foi preconizada em Nova Iorque, no topo do edifício Rockefeller em 1930. Contudo, as primeiras tentativas de quantificação dos benefícios energéticos deste tipo de solução foram realizadas por volta de 1960 na Alemanha [46]. A solução foi amplamente adotada em edifícios do sector terciário e em novos edifícios, devido ao aparecimento no panorama construtivo da utilização

intensiva do betão armado [46]. Os benefícios energéticos que esta solução proporciona, devem-se a fenómenos de evapotranspiração que ocorrem devido à interação entre o solo e as plantas o que origina o arrefecimento da cobertura. Adicionalmente, esta solução permite ainda melhorar o isolamento acústico e proteger a camada de impermeabilização [46].

Segundo as diretrizes estabelecidas no documento Roof-Greening Guideline, de Janeiro de 2002, as coberturas verdes são caracterizadas em três tipos: Extensiva, Semi-Intensiva e Intensiva [53]. A tipologia extensiva é caracterizada por ter uma espessura de terra vegetal compreendida entre 50 a 150mm, sendo que esta espessura acaba assim por limitar a dimensão das plantas que poderão ser aplicadas numa cobertura deste género [54]. Apesar disto, possibilita que as estruturas não tenham de ser reforçadas, pelo que é um sistema aconselhado em edifícios já edificadas [54]. A tipologia intensiva é normalmente caracterizada por dispor de uma espessura de terra vegetal compreendida entre os 150 a 1200mm [54]. Nesta solução, já serão admitidas plantas de grande porte. Como forma de diminuir a probabilidade de que a impermeabilização venha a ser deteriorada, deverão optar-se por árvores cujas raízes se desenvolvam preferencialmente na horizontal, em detrimento de outras em que as suas raízes se desenvolvam de forma apumada, *figura 12* [48].

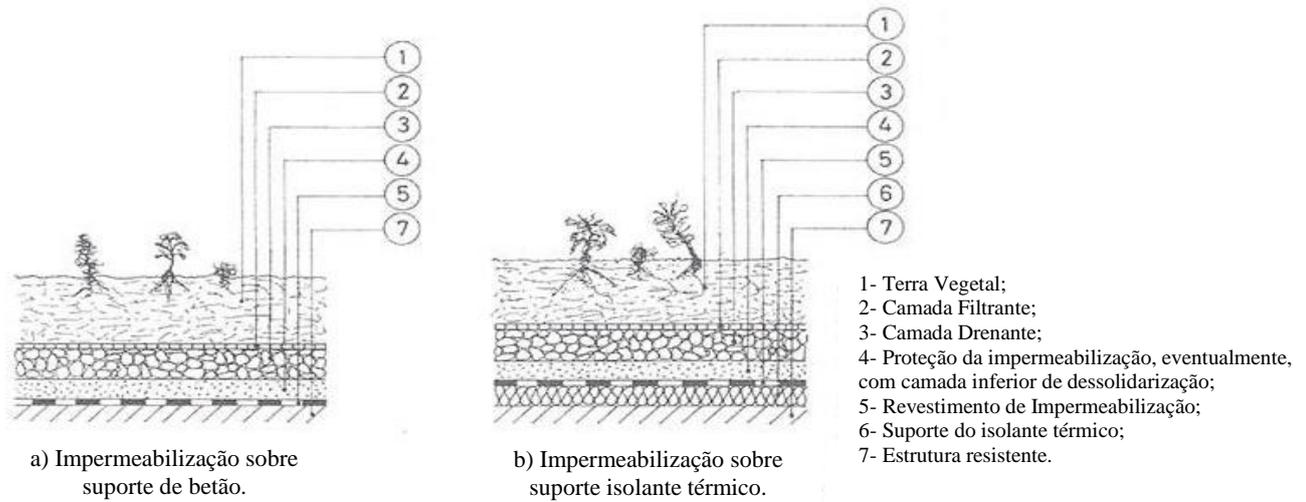
Figura 11 - Tipo de árvore a escolher para uma cobertura verde.



Fonte: Adaptação do preconizado no ITE 34.

Estas soluções requerem investimento inicial significativo, sendo que ao longo do seu período de vida útil irão ainda necessitar de manutenção [46]. Adicionalmente, caso se pretenda desenvolver este sistema em edifícios já edificadas, deverá sempre, previamente, realizar-se uma avaliação estrutural [46]. Independentemente do tipo de cobertura vegetal que se venha a aplicar, uma cobertura verde deverá ser constituída segundo o ilustrado na *figura 13*. Este tipo de solução deverá dispor de pendentes compreendidas entre os 1 e 2%, para que assim sejam evitadas acumulações de águas que em último caso podem provocar a morte das próprias plantas por asfixia [48]. A camada filtrante poderá ser constituída por argila expandida ou por placas de poliestireno expandido, sendo que a camada filtrante poderá ser composta por feltro de lã de vidro ou por um feltro não-tecido de fibras de polipropileno [48].

Figura 12 - Constituição de uma cobertura verde.



Fonte: Adaptação do preconizado no ITE 34.

Segundo o trabalho realizado por Niachou et al. [51], a capacidade de poupar energia numa cobertura verde está dependente da solução adotada. As cargas de aquecimento e de arrefecimento apresentam-se menores nos edifícios com este tipo de cobertura, e são independentes do tipo de isolamento existente na cobertura. Verifica-se, que quando se aplica uma cobertura verde num edifício não isolado que a poupança energética é mais significativa. Um outro foco de especial relevância é o facto de que os resultados obtidos indicam uma maior poupança relativamente às necessidades de aquecimento, o que leva a concluir que esta técnica não poderá apenas ser vista como uma metodologia de arrefecimento passivo, *tabela 14*. O estudo realizado por Niachou et. Al., teve em consideração dois edifícios em Atenas com diferentes coberturas mas com propriedades de isolamento térmico semelhantes, tendo-se registado as temperaturas internas nos dois edifícios durante três dias no mês de Julho [56].

Tabela 14 - Potenciais poupanças energéticas em coberturas verdes com diferentes níveis de isolamento.

| Tipo de cobertura | Coeficiente de transmissão térmica, W/m ² K | | Poupança energética anual, % | | |
|--------------------|--|---------------------|------------------------------|---------------|-------------|
| | Sem cobertura Verde | Com cobertura Verde | Aquecimento | Arrefecimento | Total |
| Bom Isolamento | 0,26 - 0,4 | 0,24 - 0,34 | 0,08 - 0,09 | 0 | 0,02 |
| Isolamento Mediano | 0,74 - 0,8 | 0,55 - 0,59 | 0,13 | 0 - 0,04 | 0,03 - 0,07 |
| Sem Isolamento | 7,76 - 18,8 | 1,73 - 1,99 | 0,45 - 0,46 | 0,22 - 0,45 | 0,31 - 0,44 |

Fonte: Green roofs; Building energy savings and potencial for retrofit.

3.1.3. Sombreamento de Fachadas

Em climas quentes, como o português, a radiação solar torna-se uma fonte de energia natural que em muito potencia os ganhos energéticos pelas diversas envolventes. Assim, um controlo eficaz da radiação incidente nos edifícios, proporcionará reduções no consumo total de energia especialmente notórias em grandes edifícios em que as necessidades de climatização são em grande parte suprimidas pelo recurso a sistemas de climatização mecânica [57]. O facto de existir uma redução das necessidades de climatização poderá proporcionar que a potência e a dimensão dos sistemas de climatização diminuam, o que conduzirá de uma forma direta a uma redução de custos [57]. Neste tipo de climas quentes, torna-se ainda especialmente complexo proceder ao favorecimento da iluminação natural nos edifícios, pelo facto de que para o realizar se terá de aumentar a exposição das envolventes, o que consequentemente poderá levar a um aumento das necessidades de arrefecimento. Os meios de sombreamento para além de assumirem um papel fundamental na redução da radiação incidente, influenciam de forma direta a intensidade da iluminação natural nos edifícios. Ao nível de projeto, os elementos de sombreamento são considerados um dos principais meios de controlar a penetração excessiva da luz solar e consequentemente um dos principais meios de reduzir ganhos energéticos [58]. Nos países do sul da Europa, os sistemas de sombreamento não parecem ser muito apelativos para a grande maioria dos usuários dos edifícios, pelo que parece existir um certo estigma cultural pois estes elementos são vistos como uma clara e indesejável intrusão visual [59].

Os sistemas de sombreamento bem como o seu posicionamento estarão sempre dependentes do tipo de clima para onde são projetados, do tipo de edifício e do tipo de fonte luminosa que se pretenda eliminar (luz solar, luz difusa ou luz refletida) [59]. Quanto à sua localização, os sistemas de sombreamento poderão ser classificados como exteriores ou interiores, podendo ainda ser vir a ser caracterizados em relação ao seu manuseamento como fixos ou móveis [60]. Os sistemas de sombreamento exterior são aqueles que apresentam melhor desempenho na redução de ganhos solares [59]. Os sistemas interiores têm como principal finalidade proteger os ocupantes dos edifícios contra os efeitos imediatos da luz solar e do brilho intenso que esta provoca, contudo permitem a penetração da radiação infravermelha que ao penetrar no edifício apenas poderá vir a ser dissipada através do recurso a meios de ventilação mecânica [59]. Os meios interiores de sombreamento são tendencialmente mais económicos, mais facilmente ajustáveis e poderão ser utilizados como forma de manter a privacidade dos seus usuários [59]. Contudo, estes sistemas são normalmente manuseados pelos utilizadores dos edifícios, o que poderá levar a que estes sistemas acabem por não ser utilizados de forma eficiente e que as vantagens que estes poderiam produzir não venham a ser conseguidas. Uma solução poderá passar pela automatização destes sistemas que assim poderão responder de forma instantânea às constantes mudanças do ângulo solar [59]. Por outro lado, os sistemas exteriores de sombreamento acarretam um maior investimento inicial bem como uma manutenção mais dispendiosa. Apesar destes fatores, para o clima português estes sistemas poderão proporcionar aos edifícios uma melhor gestão energética, sendo que os sistemas interiores poderão funcionar como um bom sistema complementar

[60]. Um sistema de sombreamento fixo funciona como uma parte integrante do exterior do edifício, pelo que em fase de projeto deverão ser tidos em consideração alguns fatores como forma de obter o máximo de benefícios solares no inverno [60]. Contudo, este sistema apresenta algumas desvantagens visto que apenas protege o edifício da luz solar em determinados ângulos, bem como poderá servir de obstrução à iluminação natural que por exemplo em dias de nevoeiro interessa garantir ao edifício [59]. Os sistemas móveis poderão evitar estes problemas, contudo em edifícios de serviços os movimentos executados por estes sistemas deverão ser devidamente planeados [59]. Recentemente, Tylor Short desenvolveu um sistema amovível denominado *Penumbra Kinetic Shading System*, *figura 14*, cujas persianas conseguem rodar em três direções, podendo ainda cada persiana ser ajustada individualmente para que seja possível maximizar a proteção solar, mesmo quando o sol se apresenta em uma posição demasiadamente elevada [61].

Figura 13 - Penumbra Kinetic Shading System.



Fonte: Green Savers.

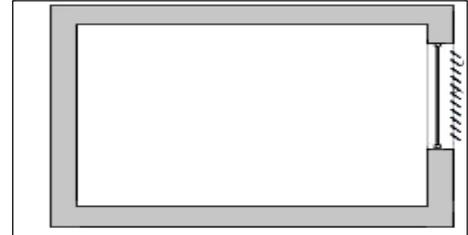
Quando o sol se encontra numa posição muito elevada, as persianas verticais convencionais tornam-se inúteis, sendo que neste novo sistema quando tal acontece as persianas rodam para cima [61]. Uma outra vantagem deste sistema é que poderá ser controlado tanto de forma automatizada como de forma manual [61]. Devido às atuais preocupações ambientais é perfeitamente natural que tal como este novo sistema anteriormente mencionado, outros venham a surgir. Contudo como se poderá observar na *tabela 15*, já existem no panorama construtivo português sistemas de sombreamento de eficiência variável, que poderão servir de forma correta os propósitos de sombreamento e de melhoria do desempenho energético dos edifícios.

Tabela 15 - Sistemas de Sombreamento.

Vidros avançados de controlo solar – Sistema utilizado quando se pretende que uma fachada revele transparência e leveza. Solução dispendiosa sendo que o vidro necessita de conter propriedades de baixa transmissibilidade espectral por forma a reduzir os ganhos caloríficos e ao mesmo tempo deverá ter alta transmissibilidade de luz visível para que a luz natural não seja comprometida;



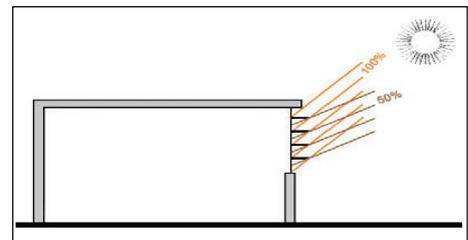
Venezianas – Sistema comum e económico, composto por um conjunto de lâminas de dimensão standard, inclinadas e paralelas. Permite a ventilação permanente dos ambientes, impede a visibilidade do exterior e a entrada da água da chuva.



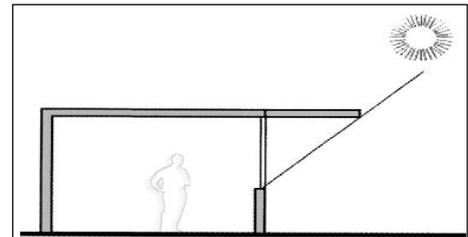
Malhas Metálicas – Tela de proteção solar que procura filtrar e reduzir a entrada dos raios solares e em simultâneo proporciona a luminosidade se torne mais difusa nos espaços interiores. A sua utilização poderá estender-se a todos as tipologias de edifícios mas normalmente a sua utilização é associada a grandes vãos envidraçados;



Lamelas – Sistemas vertical ou horizontal que normalmente é aplicado pelo exterior em planos de fachada, em coberturas ou em palas de sombreamento. Quando amovíveis, podem ser orientados individualmente possibilitando assim a controlar e otimização os fluxos de calor e a iluminação natural;



Palas Horizontais – Elementos de aplicação fixa no exterior. Normalmente fazem parte o próprio corpo construtivo, sendo que também poderão ser posteriormente agregados aos edifícios. Solução muito vantajosa em fachadas orientadas a sul visto a sua eficácia na proteção contra os raios solares de maior inclinação. Frequentemente muito utilizadas em lojas e em edifícios de carácter público.



Fonte: Sistemas de Sombreamento em Arquitetura: Proposta de um novo método de conceção e dimensionamento.

3.2. As Potencialidades dos novos materiais

3.2.1. Nanomateriais

A recente mudança dos paradigmas afetos a questões ambientais e energéticas na sociedade moderna tem proporcionado o estudo e o desenvolvimento de tecnologias que permitam melhorar a eficiência energética dos diversos elementos construtivos dos edifícios. Assim, nos últimos anos têm vindo a ser desenvolvidos estudos em número significativo, ligados à utilização de nanomateriais na construção. Contudo, ainda não são conhecidos os seus potenciais térmicos, esperando-se divulgação relevante por parte das entidades investigadoras e fabricantes. O custo dos nanomateriais será um fator decisivo na sua aplicação na indústria da construção. Os nanomateriais parecem ter potencialidades para poderem proporcionar uma melhoria das condições ambientais no interior dos edifícios [62]. A satisfação destas condições interiores é deverás muito importante, pois quanto mais desfavoráveis estas forem obrigatoriamente maior será a energia que irá ser necessária despende para que seja possível garantir um ambiente interior adequado. Ao avaliar-se o tempo médio que atualmente o homem nas sociedades desenvolvidas despende no interior de edifícios, cerca de 90%, facilmente se percebe que relevância do fator conforto interior [62]. Um estudo recente, refere que os nanomateriais são uma maneira alternativa e atrativa de usar a energia solar de forma a manter a satisfação das condições interiores [62]. Assim para que este objetivo seja conseguido, esse estudo refere a possibilidade de utilizar materiais electrocrómicos caracterizados por uma estrutura específica de nanomateriais em vãos envidraçados, a utilização de sensores constituído por nanomateriais como forma de manter a qualidade do ar interior e a utilização de fotocatalizadores nanoestruturados usados para a purificação do ar e consequente redução de necessidades de ventilação [62].

Os vãos envidraçados com propriedades electrocrómicas permitem evitar o excessivo aquecimento devido à exposição solar bem como quando necessário permitem retirar as vantagens inerentes da exposição solar e consequente aquecimento [62]. O protótipo deste tipo de vão, *figura 15*, apresenta uma dimensão de 30x30cm² sendo constituído por um pano de vidro duplo que entre os dois panos dispõem de uma película com propriedades electrocrómicas [62].

Figura 14 - Protótipo de janela com propriedades electrocrómicas.



Fonte: "Nanomaterials for benign indoor environments"

Os diferentes painéis que constituem este protótipo podem alterar a sua coloração, entre o opaco e o translúcido, em cerca de um minuto, em função das condições de iluminação [62]. O tempo que cada painel necessita para alterar a sua coloração é o tempo que o olho humano necessita para se adaptar às diferentes condições de iluminação [62]. Segundo os resultados obtidos durante um estudo efetuado a este protótipo em três cidades distintas: Roma, Bruxelas e Estocolmo, às quais correspondem três diferentes tipos de climas, conclui-se que é possível anualmente atingir reduções entre os 40 a 50% na energia necessária para o arrefecimento [62].

A avaliação da qualidade do ar interior é atualmente uma imposição regulamentar. Verifica-se que deficientes soluções construtivas que têm vindo a ser desenvolvidas em grande parte do parque edificado dificultam ou inviabilizam a renovação passiva do ar interior [59]. A solução para resolver este tipo de dificuldades, poderá passar pela utilização de sensores, de baixo custo, capazes de indicar o momento exato em que a ventilação mecânica do edifício é realmente necessária [62]. A ideia deste sistema passa então pela realização da ventilação mecânica apenas quando esta é necessária ao invés de a mesma ser concretizada segundo um determinado número de renovações de ar por hora [62]. Estes sensores são constituídos por películas de óxidos de nanopartículas, sendo que já têm vindo a ser testadas películas de óxidos de partículas nanoporosas cujas propriedades elétricas se alteram quando entram em contacto com moléculas gasosas ou com micro-organismos transportados pelo ar [62].

Os fotocatalizadores nanoestruturados são uma outra forma de proceder à purificação do ar interior [62]. O ar poluído ao entrar em contacto com a superfície dos fotocatalizadores é absorvido e posteriormente é decomposto [62]. Atualmente, estas superfícies apenas têm vindo a ser utilizadas na parte exterior dos vãos envidraçados como forma de diminuir as suas necessidades de limpeza. O material utilizado é em geral o nano dióxido de titânio (Ti O₂).

3.2.2. PCM

O armazenamento de energia nos diferentes elementos construtivos, como as envolventes exteriores e interiores, poderá ser melhorada através do recurso a materiais, designados por “materiais de mudança de fase” - Phase Change Material, PCM, aplicados nesses elementos construtivos. O recurso a estes materiais permite aumentar a capacidade destes elementos captarem a energia solar e em simultâneo diminuir as alterações da temperatura interior [63]. Os PCM permitem o armazenamento de uma maior quantidade de energia calorífica por unidade de volume, comparativamente aos materiais que mais vulgarmente são dispostos nas envolventes [64]. Estes tipo de material, permite ainda que o armazenamento e a recuperação de energia calorífica ocorra isotermicamente, o que torna este material uma boa opção para a climatização passiva dos edifícios [64]. A grande capacidade destes materiais armazenarem e libertarem energia deve-se às propriedades das suas ligações químicas [64]. As transferências de energia térmica ocorrem quando o material altera o seu estado físico [64]. Quando o material altera o seu estado físico de sólido para líquido, armazena energia calorífica sendo que é esta

a responsável pela alteração do seu estado físico [65]. À medida que o PCM passa de um estado líquido para um estado sólido, a energia que anteriormente tinha armazenado é libertada para o ambiente que o rodeia [65]. Estes materiais são assim denominados de mudança de fase, sendo que poderão ser utilizados tanto para finalidades passivas como ativas [64]. Normalmente o ponto de fusão destes materiais encontra-se situado no intervalo de 20°C a 31°C [64]. Os PCM a aplicar num edifício com o intuito de melhorar as suas propriedades térmicas, deverão dispor de um conjunto específico de propriedades termofísicas, cinéticas e químicas [64].

Estes materiais poderão ser classificados como orgânicos, inorgânicos e eutéticos [64]. Os PCM orgânicos apresentam uma baixa condutibilidade térmica mas poderão ser inflamáveis [65]. Por outro lado, os inorgânicos possuem uma grande capacidade de armazenar energia calorífica, uma alta condutibilidade térmica e são tipicamente não inflamáveis [65]. Contudo, apresentam segregação e grandes mudanças de volume quando mudam de fase [65]. Já os eutéticos, possuem elevada capacidade para o armazenamento de calor apresentando rendimentos um pouco superiores aos orgânicos, contudo não existe ainda muita informação sobre as suas propriedades térmicas e físicas [65].

Geralmente, há duas formas de aplicar os PCM nos diversos elementos construtivos. Recorrendo a métodos de impregnação direta ou então através de encapsulamento [65]. A impregnação direta poderá ser realizada através da imersão dos materiais construtivos porosos em um banho de PCM, ou então através da colocação dos PCM durante o processo de fabrico dos materiais [65]. Já o encapsulamento consiste numa posterior junção do PCM ao material construtivo [65].

A parede de trombe é um bom exemplo de um sistema de armazenamento energético passivo, que devido à utilização de PCM vê as suas valências melhoradas [64]. Experimentalmente, este tipo de parede com PCM apresenta uma maior capacidade de armazenar energia térmica por unidade de massa, comparativamente às paredes de trombe tradicionais [64]. Neste sistema não tradicional, a parede ao ser aquecida durante o dia levará a que o PCM atinja o seu ponto de fusão [64]. Já durante o período noturno, o calor que havia sido posteriormente absorvido é transferido para o edifício [64].

A substituição dos mais vulgares materiais e elementos construtivos, por outros constituídos por PCM, fará com que estruturalmente o edifício perca alguma da sua massa, contudo também lhe proporcionará um grande aumento da sua inercia térmica [64].

3.3. Iluminação

O aparecimento da iluminação por meio de lâmpadas fluorescentes aliado a um acesso económico à eletricidade marcou um período construtivo que se estendeu até a grande crise petrolífera de 1970 [59]. Durante este período o rácio entre a área útil dos edifícios e a área das envolventes externas foi levado ao extremo [59]. Adicionalmente, os edifícios começaram a ser equipados com meios de climatização mecânica e as suas envolventes seladas, o que veio a dificultar/impossibilitar a ventilação natural nos edifícios [59]. Até ao desenvolvimento da iluminação fluorescente, aproximadamente em 1938, as questões relacionadas com a iluminação natural nos edifícios eram criteriosamente determinadas durante o planeamento do edifício [59].

A luz natural assume especial relevância, visto ser a luz a que o ser humano está naturalmente adaptado, facto que leva a comparar todos os outros tipos de luz com esta [59]. Atualmente, a iluminação natural passou novamente a ser encarada como um elemento de especial relevância no projeto de um edifício [59]. A luz natural nos edifícios deverá ser uma prioridade visto que: promove um clima interior mais saudável e agradável; permite conservar os recursos energéticos fósseis; permite poupar energia o que consequentemente significa poupança financeira [59].

3.3.1. Iluminação Natural

Poderá afirmar-se que ao longo dos anos alguns esforços têm vindo a ser desenvolvidos no sentido de tentar encontrar uma relação que comprove que a produtividade poderá ser aumentada devido a um aumento da luz natural nos edifícios [59]. Luz natural que será obtida por intermédio de um conjunto de vãos envidraçados tais, que permitam observar a vista circundante à área de trabalho [59]. Contudo, os resultados afetos a este tipo de estudos têm vindo a ser inconclusivos [59]. Apesar de esta relação não poder ainda ser comprovada, algumas pesquisas desenvolvidas demonstram que existe uma clara valorização da presença da iluminação natural por parte dos diversos usuários dos edifícios [59]. O conforto visual deverá ser o principal requisito a determinar aquando do estabelecimento de sistema de iluminação natural [59]. Uma iluminação natural favorável promoverá uma adequada intensidade e direção da iluminação nas diversas áreas de trabalho [59].

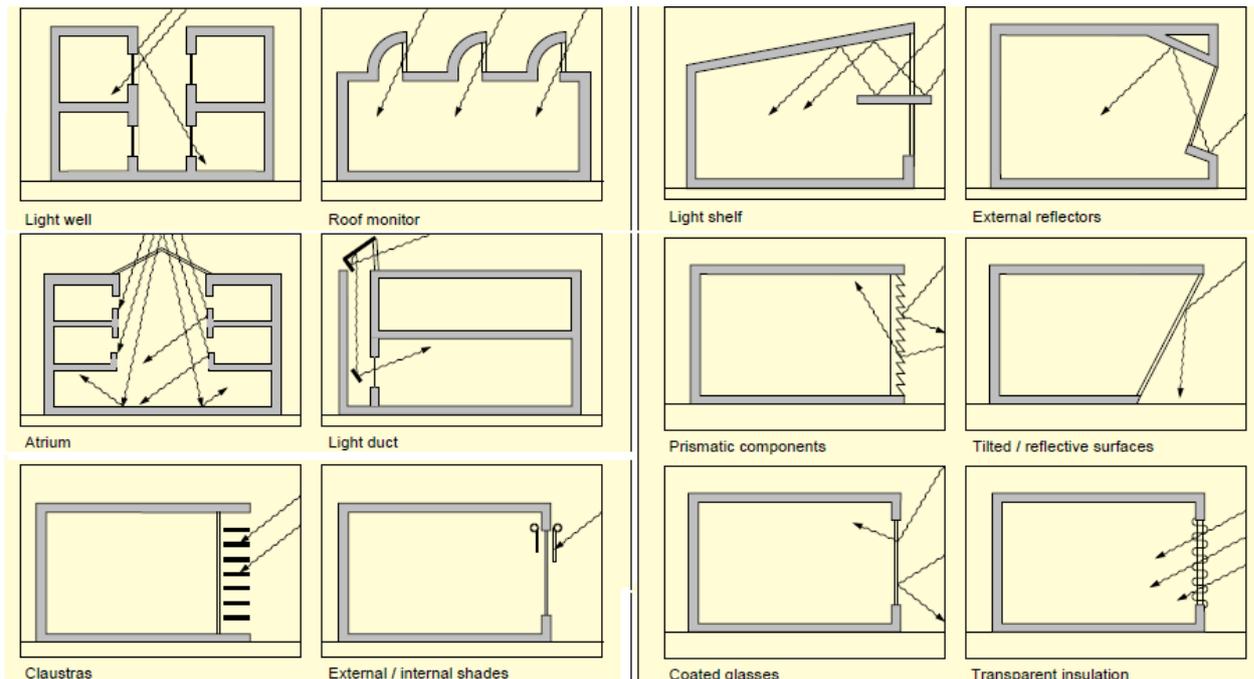
O sol emite um fluxo energético de cerca de 63 MW, o equivalente a 600 milhões de lumens (lux) por cada m² da sua área de superfície [59]. Deste total, cerca de 134 kilolux atingem a atmosfera exterior da terra [59]. Por sua vez, a atmosfera absorve cerca de 20% do total desta luz e reflete cerca de 25% de volta para o espaço [59]. Os remanescentes 55% representam a iluminação natural disponível [59]. Este total de luz natural que é recebida pela superfície terrestre varia com a localização [59]. Por outro lado, a duração e a intensidade da luz natural dependem da latitude, do clima e da qualidade do ar [59]. Adicionalmente, a qualidade e quantidade da luz natural em qualquer local, irá variar consoante a hora do dia, a estação do ano e as condições meteorológicas [59]. Apesar de tudo isto, a percentagem de luz natural que cada edifício poderá receber, estará sempre dependente das condições circundantes do

mesmo, como por exemplo da refletividade das superfícies adjacentes, presença ou ausência de obstáculos e orientação e inclinação das superfícies do próprio edifício [59]. Assim, as envolventes interiores e exteriores dos edifícios deverão dispor de valores refletivos tão altos quanto possível para que assim a luz natural ao entrar no edifício seja refletida repetidamente [59]. Parte desta iluminação, será sempre absorvida pelos elementos constituintes pelo que as perdas de iluminação natural estarão sempre dependentes da cor e textura dos diversos elementos que constituem o edifício [59].

Devido as especificidades existentes nos edifícios de serviços o seu consumo de energia elétrica é muito elevado. Em Portugal, este setor é o maior consumidor, responsável por cerca de 36% do consumo total de energia elétrica [15], o setor industrial apresenta a segunda maior percentagem de consumo, cerca de 33% [15], seguido do setor doméstico com cerca de 28 % [15]. Para o consumo referente a edifícios de serviços, contribuem por ordem decrescente de valores, a climatização, a iluminação e outros equipamentos. A iluminação natural e artificial, bem como a ventilação e climatização são fatores que se apresentam interdependentes, sendo que esta sua dependência apresenta profundas implicações na forma como o edifício se comporta energeticamente [59]. Por exemplo, uma grande área de vãos envidraçados concretizada com um tipo de vidro não apropriado às condições locais e colocado de forma incorreta poderá produzir ganhos e perdas energéticas excessivas que posteriormente terão de ser compensadas por meio de climatização mecânica [59], com custos adicionais de exploração. De facto, é possível através de adequada conceção na fase de projeto, proceder ao favorecimento da iluminação natural, *figura 16*. A conceção da iluminação natural deverá ocorrer na fase de projeto. Privilegiar a iluminação natural em edifícios edificados pode revelar-se de dificuldade apreciável.

A reabilitação da eficiência e qualidade da luz solar em um edifício existente, envolve um conjunto de medidas de custo e complexidade elevados [59]. A articulação da iluminação natural e artificial apresenta especial relevância neste setor. Durante uma reabilitação com este intuito, deverá ser dada especial atenção aos elementos existentes. Por exemplo, um vão envidraçado onde a falta de manutenção seja notória, o que poderá apenas significar a acumulação de detritos, poderá levar a que este reduza a sua eficiência em cerca de 10% [59]. É assim importante que se definam, durante uma operação deste género, objetivos realistas e uma escala temporal apropriada para efeitos de cálculo do retorno financeiro [59]. Este retorno financeiro irá sempre estar dependente da localização do edifício e dos respetivos preços de acesso à energia da rede pública [59].

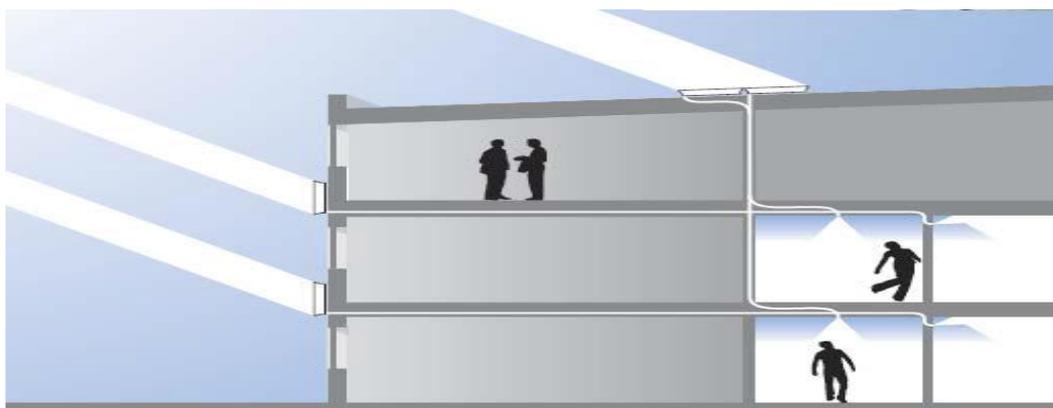
Figura 15 - Técnicas de favorecimento de iluminação natural.



Fonte: “Daylighting in Buildings, A Thermie Programme Action.”

Para além dos elementos anteriormente indicados, poderão também desenvolver-se nos edifícios sistemas que possibilitam o transporte de luz. Desta forma, torna-se possível iluminar zonas onde os vãos envidraçados não existam ou seja, onde não existe um contacto direto com o exterior. Estes sistemas de canalização e transporte de luz, são considerados sistemas de iluminação natural avançados que possibilitam a recolha e a concentração da luz solar direta sendo que posteriormente a distribuem em forma de luz difusa para os diversos espaços interiores do edifício [66]. Geralmente, estes sistemas são compostos por três partes: coletor/concentrador- dispositivo que segue, capta e concentra a luz solar direta; sistema de transporte – túnel de luz ou fibras óticas, através do qual é transportada a luz solar captada pelo coletor; emissor – dispositivo que transmite e difunde a luz para os espaços interiores do edifício, [66]. Normalmente, estes sistemas recebem a designação do dispositivo utilizado como coletor/concentrador ou então do sistema utilizado para efetuar o transporte de luz [66]. Um exemplo de um sistema deste género poderá ser um sistema de iluminação com fibra ótica, *figura 17*. Neste sistema, as fibras óticas têm como principal objetivo efetuar o transporte da luz natural durante longas distâncias para os espaços interiores do edifício nos quais a iluminação natural não é possível ou então insuficiente [66].

Figura 16 - Sistema de transporte de luz por fibra ótica.



Fonte: “Sistemas avançados de iluminação natural: Estudo comparativo de Vidros Prismáticos, Laser-cut Panels e Channel Panels.”

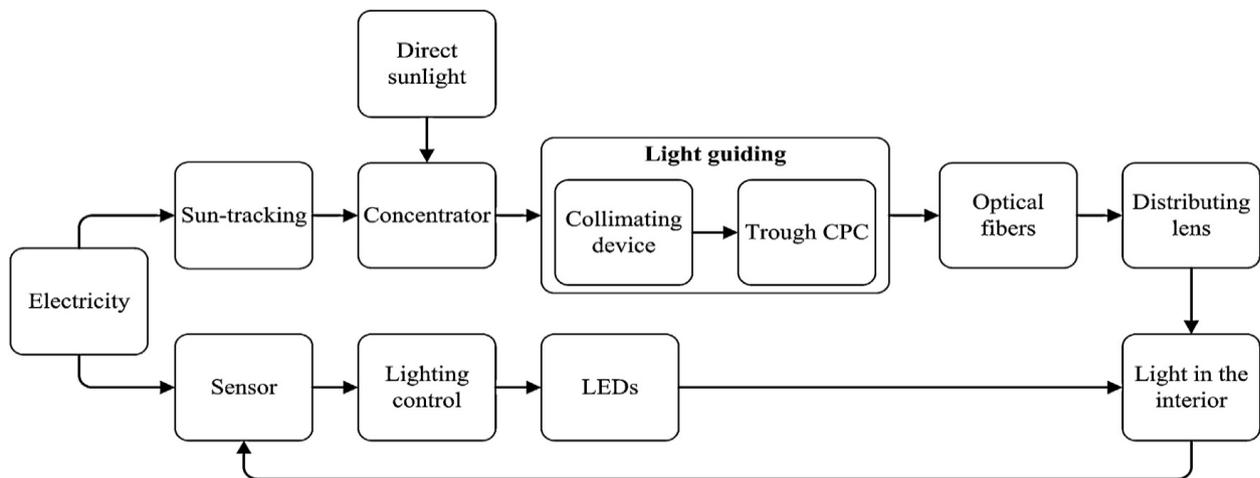
3.3.2. Iluminação LED

Qualquer edifício, em determinados períodos de um dia irá necessitar de sistemas de iluminação artificial, independentemente de o edifício dispor ou não de um bom sistema de iluminação natural [59]. Contudo, devido à mútua dependência entre os sistemas de iluminação artificial e natural, torna-se essencial que os edifícios ao serem projetados tenham em consideração uma boa harmonia conceptual entres estes dois sistemas de iluminação. De acordo com as normas Europeias, a iluminação em um edifício de serviços deverá alcançar uma média de 500 lux no plano de trabalho dos utilizadores [67]. Torna-se muito difícil conseguir atingir este valor durante todo o dia nos espaços de trabalho do edifício, apenas com o recurso a meios de promoção de iluminação natural. Os sistemas de iluminação artificial deverão dispor de controlos elétricos como forma de reduzir o consumo de energia [67]. Estes controlos são constituídos por sensores devidamente programados que possibilitam o controlo automático dos diversos sistemas de iluminação, consoante o espaço está a ser ou não ocupado. Estes sensores podem ainda de forma automatizada assumir o controlo sobre os sistemas de sombreamento existentes ao orientar a sua posição em função do ângulo de incidência dos raios solares [68]. Uma outra forma de diminuir o consumo elétrico nos edifícios de serviços, consiste na substituição de lâmpadas incandescentes, altamente ineficientes, por uma iluminação Light-Emitting Diode, LED [67]. A iluminação LED é atualmente considerada como sendo a futura principal fonte de iluminação dos edifícios, sendo que para além de ser uma eficiente fonte de iluminação permite uma boa flexibilidade ao nível de projeto bem como apresenta um longo período de vida útil [59]. Uma lâmpada LED de 6 W consegue proporcionar a mesma capacidade de iluminação que uma lâmpada incandescente de 75 W e que uma lâmpada compacta fluorescente de 15 W [67], o que demonstra a grande eficiência deste tipo de solução. Assim, nos edifícios de serviços será fundamental a implementação de um sistema híbrido, combinando: iluminação natural, fluorescente compacta e LED. Na *figura 18*, apresenta-se um sistema

que combina a iluminação natural com a iluminação LED, sendo que os níveis de iluminação mínimos são garantidos pelos controlos elétricos da iluminação [67]. Este sistema permite reduzir o consumo de energia elétrica e ao mesmo tempo manter o requisito de 500 lux no plano de trabalho dos utilizadores.

Este sistema permite que a luz natural seja encaminhada para o interior do edifício, sendo que nas áreas onde a iluminação mínima não é atingida, esta passa a ser compensada com a iluminação LED [67]. Na cobertura dos edifícios é instalado um sistema mecânico que permite seguir as diversas posições solares. A luminosidade captada é concentrada e posteriormente conduzida até um conjunto de fibras óticas que proporcionam a distribuição da iluminação pelo edifício [67]. A energia necessária para que o sistema funcione provém de um conjunto de painéis solares fotovoltaicos instalados na cobertura que garantem a produção da energia elétrica [67].

Figura 17 - Fluxograma de especificação do funcionamento do sistema híbrido.



Fonte: “Highly concentrated optical fiber-based daylighting systems for multi-floor office buildings”

3.4. Climatização Passiva

Os edifícios projetados de acordo com as técnicas solares passivas, poderão ser descritos como edifícios que conseguem retirar vantagens da sua exposição solar e que em conjunto com as condições climáticas locais e adequados materiais construtivos, possibilitam que as condições térmicas no interior dos edifícios sejam favoráveis [69]. Na maioria dos climas torna-se possível atingir uma redução líquida no consumo energético através da implementação de arquitetura solar passiva [69]. Esta forma de projetar os edifícios deverá ter em consideração um conjunto de elementos fundamentais como a correta orientação do edifício, a sua dimensão, a sua forma, o tipo de vãos envidraçados e as obstruções existentes [69]. De todos estes aspetos, o mais relevante é a orientação do edifício. Por exemplo, um vão envidraçado durante a estação de Inverno será um fator relevante a ter em consideração pelo facto de que este possibilita a obtenção de energia calorífica o que consequentemente proporciona uma

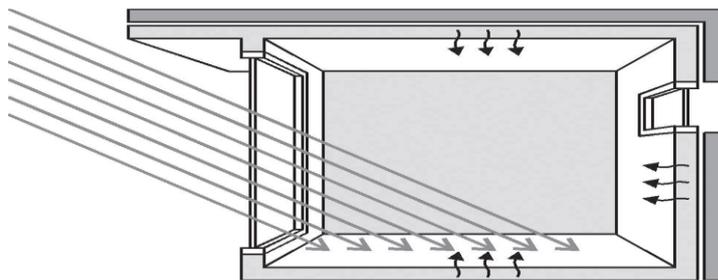
redução na dependência dos sistemas ativos [69]. Contudo, a energia que poderá ser obtida por intermédio destes vãos, irá sempre depender da orientação do edifício [69].

3.4.1. Sistemas de Aquecimento Passivo

Os sistemas de aquecimento passivo têm como principal finalidade maximizar a capacidade de captação de energia solar nas estações de aquecimento, nomeadamente através de vãos envidraçados corretamente orientados e dimensionados, sendo que a estes poderão ser associados elementos massivos que permitirão o armazenamento de energia solar para posterior utilização [42]. Poderão definir-se três diferentes tipos de aquecimento passivo: o ganho direto, o ganho indireto e o ganho isolado [42].

A maioria dos edifícios funciona segundo um sistema de ganho direto mesmo que de forma não intencional [70]. Este sistema tem como principal finalidade a potencialização da absorção da radiação solar através dos vãos envidraçados, devidamente orientados, e que propiciam o armazenamento de calor nos diversos elementos construtivos, *figura 19* [70].

Figura 18 - Sistema de ganho direto.

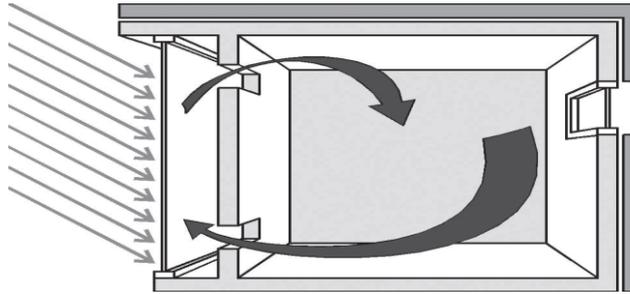


Fonte: “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”

O sistema de ganho direto é potencialmente vocacionado para edifícios em que exista uma ocupação tanto diurna como noturna [42]. De todos os tipos de sistemas, este é o que proporciona um maior rendimento energético, sendo em geral de custo razoavelmente atrativo. [70]. Para que este sistema funcione de forma eficiente algumas questões deverão ser asseguradas, tais como: correta orientação dos vãos envidraçados; dispositivos de sombreamento; redução de perdas caloríficas pela implementação de isolamento térmico em elementos opacos [70].

Os sistemas de ganho indireto, *figura 20*, vocacionados para utilizações em zonas do edifício com ocupações noturnas, consiste na colocação de uma massa térmica entre o espaço a aquecer e a superfície que proporciona os ganhos térmicos [42]. A massa térmica entreposta entre as duas superfícies, ao absorver a radiação incidente transforma-a em energia térmica sendo que posteriormente a transmite para a superfície a aquecer [42]. Assim, como a radiação solar não é recebida diretamente no edifício, torna-se muito mais fácil proceder ao controlo das oscilações de temperatura e consequentemente evitar sobreaquecimentos [70].

Figura 19 - Sistema de ganho indireto.

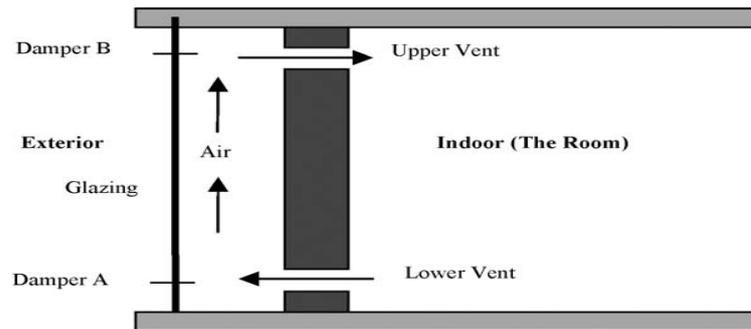


Fonte: “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”

A parede de trombe é um bom exemplo de um sistema de ganho indireto, *figura 21*. Neste sistema de parede, é instalado sobre a parte exterior das paredes que se encontram orientadas a sul um pano de vidro, vidro este que tanto poderá ser simples como duplo [71]. Normalmente, a parte exterior da parede maciça dispõe de uma coloração mais escura, como forma de potencializar a absorção solar [71]. O ar compreendido no espaço criado entre a parede maciça e o pano de vidro, é aquecido devido a radiação solar incidente [71], criando-se assim uma zona em que geralmente são atingidas temperaturas muito elevadas, entre 30°C e 60°C [42]. Superiormente, esta parede é constituída por um conjunto de orifícios que devido a fenómenos de ventilação natural permitem transferir a energia absorvida, de imediato, para o interior do edifício [42]. Assim a energia absorvida, poderá ser transferida para o interior do edifício por convecção e condução quando estes orifícios se encontram abertos, sendo que quando estes se encontram fechados as transferências para o interior ocorrem, exclusivamente, devido a fenómenos de condução [70]. Durante os períodos diurnos de inverno, estes orifícios apenas deverão ser abertos quando a temperatura, no espaço de ar criado, exceda a temperatura do compartimento e seja necessário o aquecimento [70]. Durante a noite, para que as perdas de calor sejam reduzidas, os orifícios de ventilação deverão estar fechados [70]. No verão, durante o período diurno, estes orifícios de ventilação deverão ser fechados, sendo que também deverá ser previsto o sombreamento do sistema [70]. Durante os períodos noturnos, como forma de facilitar o arrefecimento da parede, os orifícios deverão estar abertos [70].

Um outro exemplo de um sistema indireto são as paredes de água. Contudo, neste sistema as transferências de calor ocorrem muito rapidamente o que implica um maior controlo sobre a distribuição de calor no interior do espaço a aquecer [70]. O funcionamento deste sistema é semelhante ao da parede de trombe, visto que tem como finalidade a absorção da radiação solar que posteriormente é transferida ao interior do edifício [70]. A principal diferença entre estes sistemas reside no material que permite o armazenamento de energia, que neste caso é a água [70].

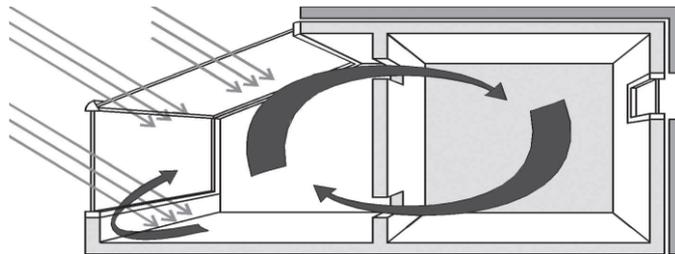
Figura 20 - Parede de Trombe.



Fonte: "Review of passive solar heating and cooling technologies"

Os sistemas de ganho isolado, *figura 22*, são sistemas em que a captação da energia solar é realizada num espaço ou elemento que se encontra separado da zona habitável do edifício [70]. A sua conceção destina-se a edifícios com ocupação diurna e com um grande número de utilizadores [70]. Os coletores de ar são um bom exemplo de um sistema deste género. Estes coletores são constituídos por uma superfície de vidro e por uma outra absorvedora sem qualquer capacidade de armazenamento térmico [42]. Os coletores de ar permitem a introdução de ar quente em espaços com grandes necessidades de renovações de ar durante a estação de aquecimento [42]. Durante a estação de arrefecimento estes coletores permitem a extração do calor no interior dos edifícios para o exterior sempre que desejável [42].

Figura 21 - Sistema de ganho isolado.



Fonte: "Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal"

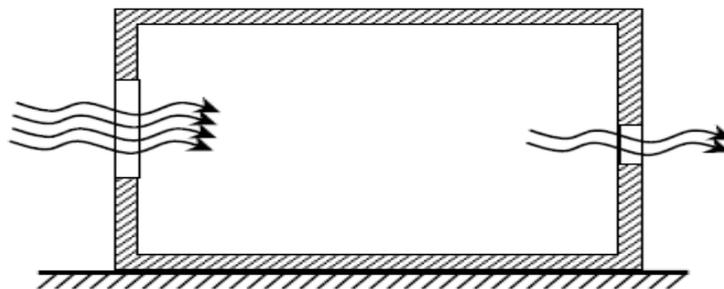
3.4.2. Sistemas de Arrefecimento Passivo

Tal como no sistema de aquecimento passivo, as técnicas de arrefecimento passivo tentam tirar partido do meio ambiental que envolve o edifício como forma de lhe proporcionar condições de arrefecimento. Neste tipo de técnica passiva a orientação do edifício é fundamental bem como o isolamento das envolventes horizontais sendo que na estação de arrefecimento são estas as que apresentam uma maior exposição a radiação solar [70]. Durante o desenvolvimento deste tipo de sistemas poderá tornar-se essencial, como forma de favorecimento das condições de arrefecimento, a implementação de técnicas como por exemplo o sombreamento de vãos envidraçados que possibilitará a redução de ganhos solares e o isolamento pelo exterior que possibilitará a promoção de um edifício com uma inércia térmica elevada [42].

A ventilação natural é uma das formas de arrefecimento passivo existente. A circulação do ar nos edifícios é garantida por intermédio de fenómenos físicos, naturais, capazes de originar diferenças de pressão que provocam o deslocamento de caudais de ar [72]. Estes fenómenos são designados por efeito de chaminé e efeito da ação do vento [72]. O efeito chaminé ocorre quando existe uma variação entre a temperatura interior e exterior [72]. O ar interior, mais quente que o exterior, ascende à cobertura por onde posteriormente é extraído, sendo que o ar exterior tende a entrar pelas aberturas existentes nas partes inferiores dos edifícios [72]. O efeito ação do vento desenvolve-se devido a ocorrência de pressões positivas aquando da incidência do vento nas fachadas dos edifícios, sendo que os dispositivos de admissão de ar deverão então estar localizados nestes locais [72]. Por outro lado, nos vãos opostos à incidência do vento bem como nas coberturas desenvolve-se um conjunto de pressões negativas. Será então nestes locais em que as pressões são negativas que se deverão localizar os dispositivos por onde o ar é extraído dos edifícios [72].

São conhecidas algumas técnicas de ventilação natural como por exemplo a ventilação cruzada, a chaminé solar ou até as torres de vento. Os sistemas de ventilação cruzada têm como objetivo o favorecimento do movimento do ar de um determinado espaço mediante a colocação de aberturas em fachadas opostas, *figura 23* [70]. Este sistema é recomendável em climas secos e temperados como forma de promoção de um arrefecimento noturno durante o verão [70].

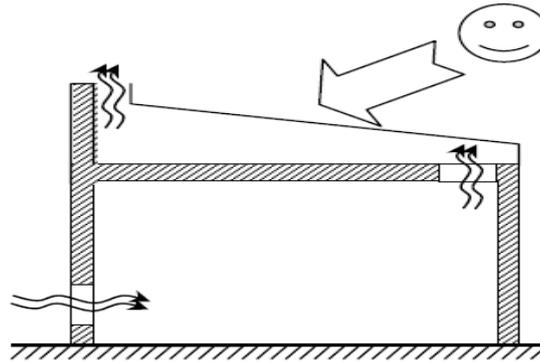
Figura 22 - Sistema de ventilação natural cruzada.



Fonte: “Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares em climas temperados”

No sistema de chaminé solar o espaço a condicionar deverá possuir, na cobertura, uma câmara com um captador de cor escura e que se encontre protegido por uma cobertura de vidro [70]. O ar dentro desta câmara é aquecido, o que proporciona que a sua densidade seja reduzida e que exista um efeito de sucção nas aberturas inferiores, que estão em contacto com o ambiente interior, *figura 24* [70].

Figura 23 - Sistema de chaminé solar na cobertura.

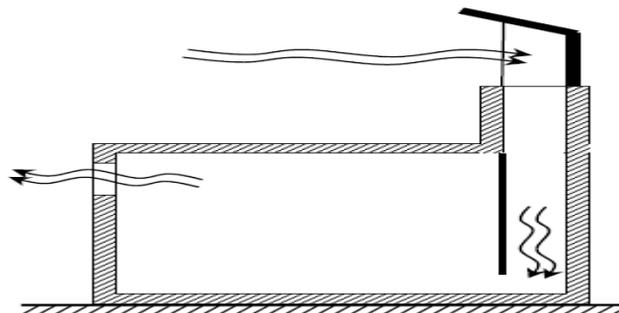


Fonte: “Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares em climas temperados”

Nas torres de vento o movimento do ar é contrário ao dos outros dois sistemas anteriormente enunciados. O ar exterior é introduzido no ambiente interior por intermédio de uma torre que se encontra instalada na cobertura do edifício e que possibilita a recolha do vento onde este é mais intenso, *figura 25* [70]. O ar captado é conduzido para as partes inferiores do edifício mediante sistemas de condutas [70]. É em geral um sistema válido para climas quentes e com ventos frequentemente intensos [70].

Um outro sistema que potencializa a ventilação natural é o arrefecimento por evaporação de água. Este sistema baseia-se em um incremento da humidade do ar proporcionado por fenómenos de evaporação [70]. Neste processo, a água absorve calor sob forma de calor latente de evaporação sem que exista um incremento de temperatura [70]. Assim, produz-se um efeito de refrigeração e humedificação do ambiente [70].

Figura 24 - Sistema de ventilação de torre de vento.

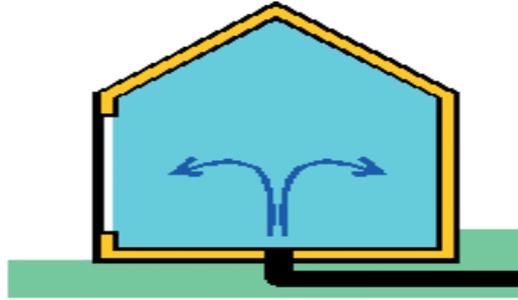


Fonte: “Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares em climas temperados”

No solo reside uma outra forma de potencializar o arrefecimento de uma habitação. Em geral, o solo durante o verão apresenta temperaturas inferiores à temperatura ambiente da superfície [42]. Desta forma, o arrefecimento pelo solo, *figura 26*, poderá nos períodos de verão intervir como uma forma de dissipar energia calorífica [42]. Esta dissipação poderá ocorrer de uma forma direta ou de uma forma indireta [42]. A dissipação direta ocorre pelo facto de o solo se encontrar a uma temperatura inferior à

do edifício. Isto faz com que devido à interação entre o solo e o edifício ocorram trocas energéticas por condução o que proporciona o arrefecimento [42]. Neste sistema o solo é o responsável pela transferência de calor para o exterior [42]. Já no sistema indireto o arrefecimento é originado por um conjunto de condutas subterrâneas dispostas geralmente entre um a três metros de profundidade [42]. Neste sistema de condutas existe um espaço exterior à superfície do terreno que permite a admissão de ar, e um outro no interior do edifício que funciona como a saída de ar [42].

Figura 25 - Sistema de arrefecimento pelo solo.

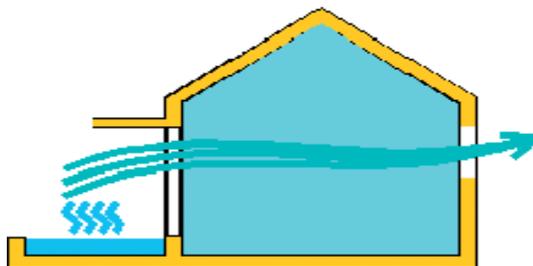


Fonte: “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”

O desempenho deste sistema depende das dimensões das condutas e da profundidade a que estas são colocadas, ou seja, da temperatura a que se encontra o solo, da temperatura e da velocidade do ar que circula no seu interior e ainda das propriedades térmicas das condutas e do solo [42].

Já o sistema de arrefecimento evaporativo, *figura 27*, utiliza a evaporação de uma massa de água como forma de arrefecer uma massa de ar [71]. Este arrefecimento deve-se ao facto de a água absorver o calor existente na massa de ar durante a fase em que passa de um estado líquido para um gasoso [71]. Num estudo realizado com este tipo de solução passiva foi possível atingir uma redução da temperatura interna do ar em um edifício, em cerca de 9,6°C [73]. Este arrefecimento poderá ocorrer de forma direta ou indireta [42]. No tipo direto o arrefecimento acontece quando ocorre uma diminuição de temperatura e esta é acompanhada de um aumento do conteúdo de vapor de água [42]. Neste caso, o ar exterior é arrefecido pela evaporação da água antes de ar entrar no edifício [42]. O arrefecimento indireto consiste na injeção de água sob a forma de *spray* no ar exterior. Isto proporcionará o arrefecimento do ar exterior ao edifício sendo este ar, aquele que consequentemente irá entrar no edifício [42].

Figura 26 - Sistema de arrefecimento evaporativo.



Fonte: “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”

3.5. Produção de Energia

3.5.1. Energia Solar

Devido à sua localização no continente Europeu, Portugal surge como um dos países com enormes potencialidades para o aproveitamento de energia solar. Portugal dispõe de um número médio anual de horas de sol compreendidas entre as 2200 a 3000 horas/ano [74], sendo assim um dos países Europeus com índices mais elevados de radiação solar por unidade de superfície [75]. A Alemanha surge como o 1º país da Europa no aproveitamento da radiação solar, contudo apenas dispõe de cerca de 1200 a 1700 horas/ano de exposição solar [75]. Comparando este país com Portugal, facilmente se percebe que Portugal apresenta um elevado potencial energético de aproveitamento da energia solar que se tem vindo lentamente a desenvolver.

Apesar deste potencial, a exploração de energia solar em grande escala, em Portugal tem como limitação o facto de que as centrais solares atingirem não só custos de construção muito elevados, como custos de produção por kWh não competitivo com a produção de energia a partir de outras fontes.

A energia solar poderá contudo ser aproveitada numa escala mais reduzida (edifício) como forma de produzir energia térmica através de coletores solares ou para a produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos. Desde os finais da década de 90, que os sistemas fotovoltaicos começaram a poder ser integrados nos elementos construtivos dos edifícios que correntemente são denominados como *Building Integrated Photovoltaic Systems*, BIPV [76]. Apesar desta evolução, atualmente a maior parte dos sistemas fotovoltaicos são montados posteriormente nos edifícios, *Building Mounted*, e não integrados nos mesmos [76]. O custo da instalação à *posteriori* é mais elevado, decorrente das necessárias adaptações. Independentemente do tipo de instalação do sistema solar fotovoltaico, potencializa-se a produção de energia a partir de um recurso natural disponível, não poluente e consequentemente reduz-se a dependência energética do edifício.

Os sistemas BIPV apresentam a vantagem de poderem ser integrados na maior parte dos elementos construtivos, tais como coberturas, fachadas, clarabóias e dispositivos de sombreamento por exemplo [76]. Por outro lado, os sistemas BM apresentam uma maior dificuldade de instalação devido a eventuais restrições físicas e espaciais nas coberturas já edificadas.

Atualmente, os módulos fotovoltaicos são na sua maioria constituídos por produtos cristalinos sendo que as células fotovoltaicas são na sua maioria constituídas por silício cristalino que propiciam uma produção de 75 a 140 W/m², ou então por produtos de filmes finos que incorporam nanomateriais com uma capacidade produtiva de 40 a 65 W/m² [76]. A captação de energia solar a partir de sistemas fotovoltaicos proporciona que a energia elétrica possa ser gerada diretamente na célula solar [75]. Adicionalmente, os sistemas fotovoltaicos permitem ainda que exista um aproveitamento da radiação solar difusa em situações de fraca nebulosidade [75].

A radiação solar infravermelha que alcança a superfície terrestre sob a forma de calor, poderá ser captada e transferida através de coletores solares [75]. Este sistema de captação de energia é muito utilizado para AQS e climatização do ar interior, utiliza essencialmente a radiação solar direta estando assim por isso dependente da insolação (número de horas de sol descoberto acima do horizonte) [75]. Em Portugal, a insolação aumenta de norte para sul em função da influência da latitude na altura do sol e do litoral para o interior devido à diminuição de nebulosidade [75]. Existem vários tipos de coletores solares, dos quais se destacam o coletor plano, o coletor concentrador parabólico, CPC, e os coletores de tubo de vácuo. Os coletores planos são os mais comuns e destinam-se à produção de águas quentes até temperaturas inferiores a 60°C [77]. Os CPC combinam as propriedades dos coletores planos com uma maior capacidade de aquecimento, o que potencia a obtenção de temperaturas de aquecimento superiores a 70°C [77]. Os coletores de tubo de vácuo permitem a obtenção de rendimentos superiores a temperaturas elevadas devido a menores coeficientes de perda [77].

3.5.2. Energia Eólica

O vento é uma fonte de energia renovável que se apresenta dependente de alguns fatores como a altitude, por exemplo, mas que poderá ser explorado como forma de produzir energia elétrica. Como qualquer outra tecnologia, os elementos mecânicos que permitem o aproveitamento desta fonte de energia encontram-se em permanente evolução. É possível produzir energia elétrica num contexto urbano com recurso a microturbinas ou miniturbinas eólicas instaladas em edifícios. Contudo, a análise do seu potencial produtivo poderá revelar-se complexa devido a potenciais obstáculos existentes, quer técnicos, quer estéticos [78].

As entidades públicas poderão colocar entraves devido ao enquadramento dos edifícios e à “poluição” arquitetónica que uma mini eólica pode representar. Do ponto de vista técnico há a considerar a localização do edifício e o regime de ventos em meio urbano, de difícil avaliação, a capacidade resistente das coberturas dos edifícios, a segurança estrutural devido às vibrações produzidas pelas turbinas e o conforto dos ocupantes devido ao ruído das mesmas. Em contexto urbano, esta fonte de energia poderá vir a ser explorada através de sistemas não integrados nos edifícios, semelhantes aos utilizados em um contexto não urbano e que permitem uma produção a grande escala, embora se afigure de muito difícil implementação, face ao ambiente urbano edificado, ou então através de sistemas integrados nos edifícios, cujos constrangimentos, não desprezáveis, foram mencionados [79].

Focando-se apenas os sistemas que poderão vir a ser integrados nos edifícios, poderão definir-se três diferentes tipos de configurações de turbinas conhecidas internacionalmente por *Building-Augmented Wind Turbines*, BAWT [79]. Assim as BAWT poderão ser instaladas no topo dos edifícios, entre os edifícios com perfil aerodinâmico ou então como parte integrante das fachadas dos edifícios [79]. As turbinas que venham a ser instaladas no topo dos edifícios assumem-se como um bom sistema a implementar em edifícios já edificados, com as condicionantes referidas [79]. Outro foco de atenção,

deverá insurgir sobre o posicionamento estratégico das turbinas. Uma correta disposição dos sistemas eólicos possibilitarão uma boa produção de energia durante os períodos de funcionamento. Assim, a altura da torre que sustenta a turbina deverá ter uma elevação tal, que permita evitar zonas onde se verifiquem elevados níveis de turbulência e baixas velocidades de vento [79].

Embora possível, o desenvolvimento de sistemas em que as turbinas se encontrem entre edifícios, poderá não conduzir a uma elevada eficiência do sistema produtivo [79]. Neste sistema, o desempenho das turbinas estará fortemente dependente da localização dos edifícios e das suas formas arquitetónicas [79]. Consequentemente, o sistema estará dependente de uma interação entre dois elementos, vento e edifício, sendo o edifício responsável pelo potencial de energia cinética o que consequentemente afetará a eficiência do sistema. Em contexto urbano que possivelmente já se encontrará fortemente edificado, o correto desenvolvimento de um sistema desta natureza será sempre muito complicado sendo que o vento acabaria sempre por ser influenciado por um conjunto de obstáculos que já se encontrariam em redor do edifício. Tal facto condicionará o potencial da produção energética.

Os sistemas integrados em fachadas poderão ser um bom sistema a desenvolver em edifícios a construir, embora as condicionantes estéticas e técnicas, enunciadas, se apliquem.

3.5.3. Fornecimento de energia a veículos elétricos

Como já foi referenciado nos subcapítulos anteriores, Portugal é um país com potencial a desenvolver na exploração de recursos naturais, com foco no recurso solar. Esta exploração de recursos naturais é de grande relevância para o sector dos edifícios em que o consumo energético é elevado. Por outro lado, o facto de os edifícios poderem ser eles próprios geradores de energia elétrica, faz com que estes vejam a sua dependência energética, relativamente à energia fornecida pela rede, reduzida. Contudo, a independência total da energia fornecida pela rede será provavelmente inatingível, visto que em alguns períodos do dia e do ano a produção por meio de fontes naturais poderá não ser suficiente para satisfazer as necessidades do edifício. Apesar de tudo isto, em outros períodos poderá gerar-se um excedente de energia produzida. Caberá as entidades gestoras dos edifícios, e ao poder público, analisar qual o melhor fim para estes potenciais excedentes.

É possível introduzir os excedentes de produção na rede pública, passando os edifícios a daí obter dividendos que consoante a quantidade de energia introduzida na rede, poderão reduzir o período do retorno do investimento inicial para instalar sistemas produtores (solar térmico, solar fotovoltaico) e medidas conducentes à redução de consumo energético (tratamento da envolvente, climatização passiva, etc.). Apesar disto, a venda de energia elétrica, no caso da energia fotovoltaica e da eólica, está limitada a 2,4 MWh/ano por cada kW instalado [80]. Assim, poderão existir casos em que mesmo vendendo o seu excedente produtivo poder-se-á proceder ao armazenamento de energia. Contudo, devido ao elevado custo da instalação de um sistema de baterias que possibilitam o armazenamento da energia, esta solução poderá torna-se menos atrativa. Uma possível solução, que permitirá contornar o

anteriormente referido, poderá ser o aproveitamento destes excedentes para carregamento das baterias dos veículos elétricos.

4. CASO DE ESTUDO – EDIFÍCIO DE SERVIÇOS EM COIMBRA

O principal objetivo do estudo realizado prende-se ao aferimento da possibilidade de que o edifício em estudo possa vir a atingir uma convergência para NZEB. Assim, proceder-se-á numa primeira fase a uma exposição muito pormenorizada de todos os elementos existentes no edifício, no momento, bem como será executada uma análise aos consumos anuais que o edifício tem vindo a apresentar. O presente capítulo dedica-se à exposição de resultados, metodologias e caracterização das diversas variáveis que de forma direta influenciam o comportamento térmico do edifício em estudo. A grande maioria dos resultados que mais a frente serão expostos resultam de análises técnicas aos valores obtidos durante as diversas simulações realizadas. Todas as análises enunciadas têm a objetividade concreta de avaliar e posteriormente melhorar a performance térmica do edifício. Espera-se assim, que com as melhorias propostas o consumo de energia elétrica no edifício venha a diminuir, resultando daí não só notórias melhorias ambientais como também uma diminuição dos recursos económicos que anualmente são despendidos para assegurar o bom funcionamento do edifício. Recorde-se contudo que o principal objetivo deste estudo será o de tentar convergir o máximo possível este edifício para um NZEB.

4.1. Caracterização do Edifício

4.1.1. Caracterização Climática da região de Coimbra

Através de uma análise pormenorizada das diferentes variáveis climáticas que caracterizam a região onde o edifício se encontra implantado, tornou-se possível perceber a forma como estas influenciam o balanço energético anual. Recorde-se, que um projeto em que sua geometria interaja de forma “saudável” com estas diversas variáveis produzirá um efeito benéfico no balanço energético anual sendo que este benefício derivará essencialmente de uma redução das necessidades de climatização dos edifícios.

Para que se pudesse observar de forma gráfica e posteriormente caracterizar climaticamente esta região de Portugal, recorreu-se a um programa informático denominado *Climate Consultant*. Este programa, utiliza como base de dados um ficheiro para a zona de Coimbra que se encontra disponível *online* no site do Departamento Americano para a Energia. O *Climate Consultant* permite traduzir um conjunto de informação complexa, num conjunto de informação gráfica. A utilização desta ferramenta torna mais acessível a organização e representação de um conjunto de informação climática, permitindo desta forma avaliar e perceber o efeito do clima sobre as construções. Na *tabela 16*, poderá observar-se um conjunto de variáveis climáticas, mais precisamente médias mensais, para a zona em estudo que posteriormente serão utilizadas durante a simulação energética. O facto de estas variáveis influenciarem os ganhos diretos e a produção de energia no edifício faz com que as mesmas se apresentem como muito relevantes aquando do desenvolvimento de estratégias passivas para o edifício.

Tabela 16 - Médias mensais das variáveis da Zona de Coimbra (período 1951-2005).

| | Temperatura de Bulbo seco | Temperatura de Bulbo Húmido | Radiação Horizontal Global | Radiação Direta normal | Radiação Difusa | Velocidade Vento | Direção Vento |
|-----------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|------------------|---------------|
| | °C | °C | Wh/m ² | Wh/m ² | Wh/m ² | m/s | Graus |
| Janeiro | 9.6 | 7.8 | 219.5 | 312.3 | 95.5 | 1.9 | 174.0 |
| Fevereiro | 11.0 | 9.1 | 251.0 | 241.2 | 141.6 | 2.7 | 151.3 |
| Março | 12.7 | 9.6 | 346.2 | 308.0 | 164.3 | 2.8 | 157.6 |
| Abril | 13.1 | 10.2 | 406.9 | 347.9 | 175.1 | 2.5 | 221.2 |
| Mai | 15.6 | 12.9 | 407.3 | 289.0 | 198.4 | 2.5 | 217.8 |
| Junho | 19.0 | 15.8 | 451.6 | 342.7 | 193.5 | 2.1 | 248.8 |
| Julho | 20.8 | 17.7 | 469.6 | 407.3 | 162.2 | 2.0 | 259.0 |
| Agosto | 21.1 | 16.7 | 463.6 | 425.5 | 156.2 | 2.4 | 244.1 |
| Setembro | 20.6 | 17.2 | 388.7 | 347.3 | 162.6 | 2.0 | 204.1 |
| Outubro | 16.9 | 14.8 | 305.3 | 323.4 | 136.0 | 1.5 | 194.2 |
| Novembro | 12.2 | 10.6 | 209.1 | 195.0 | 124.5 | 2.5 | 183.9 |
| Dezembro | 11.2 | 9.4 | 183.0 | 216.6 | 104.3 | 2.8 | 149.7 |

Fonte: U.S. Department of Energy.

Segundo o despacho nº 15793 – F /2013 que define os parâmetros de zonamento climático, o edifício pertence a NUTSIII do Baixo Mondego e encontra-se inserido em uma zona climática I2V2.

4.1.2. Caracterização das envolventes interiores e exteriores

O edifício em estudo funciona como sede de uma empresa de serviços na cidade de Coimbra. Encontra-se localizado na periferia da zona urbana desta cidade, na Avenida Urbano Duarte, a uma distância da costa marítima de 38,49 km e implantado a uma cota de 44m. O pé-direito ponderado é de 3,63m e a área útil de pavimento é de 9465,4 m². Como se poderá observar pela *figura 28*, o edifício é constituído por um Corpo A e por um Corpo B que no piso 1 são independentes um do outro. Estruturalmente é constituído por sete pisos edificadas: quatro acima do solo, relativamente ao acesso principal de entrada no edifício (pisos 1 e 4), um piso a cota inferior mas com acesso também pelo exterior, pelo alçado lateral do Corpo A (piso 0), e dois pisos abaixo do solo (pisos -1 e -2). Estes dois pisos que se encontram totalmente abaixo do solo são utilizados como garagens, salas técnicas e armazéns. No piso 0, a parte correspondente ao Corpo B também se encontra abaixo do nível do solo sendo esta zona também utilizada como garagem. Na parte correspondente ao Corpo A localiza-se um auditório. No piso 1, Corpo A, para além de alguns escritórios, situa-se a receção do edifício e um outro pequeno auditório. No Corpo B encontra-se um posto médico para uso dos funcionários. Os pisos 2 e 3, Corpo A e B, são destinados maioritariamente a serviços administrativos e caracterizados por “*open space*” assim como alguns gabinetes coletivos e individuais e salas de reuniões/formação. O piso 4, do Corpo A, é destinado à administração, encontrando-se alguns gabinetes assim como uma sala de refeições e respetiva copa. O edifício não se encontra isolado, sendo confinante com outras edificações em alguns pisos. As fachadas do edifício dispõem de diferentes orientações, tais como: Norte, Sul, Este, Oeste, Noroeste e Sudeste. A fachada principal do edifício encontra-se orientada a Sul sendo que os

vãos envidraçados que compõem esta fachada dispõem de palas horizontais de sombreamento. Este sistema de sombreamento perfaz um ângulo de cerca de 45° com o elemento opaco que o sustém.

Figura 27 - Localização do Edifício em Estudo.



Fonte: Google Maps.

Nos Anexos I e II, estão contidas as especificações referentes aos diferentes elementos que constituem as diversas envolventes bem como um conjunto de peças desenhadas que permitiram a realização do estudo. Numa fase inicial as simulações realizadas terão como base os elementos disponibilizados na última auditoria energética realizada ao edifício em 30 de Março de 2011 (Modelação 1). Visto verificar-se que as informações descritas no certificado energético não se encontram completas, optou-se em simulações posteriores por utilizar as especificações que resultaram de um levantamento presencial e de um estudo pormenorizado de todas as peças desenhadas existentes. Assim os elementos utilizados nas Modelações 2 e 3 não seguiram todas as especificações indicadas no certificado energético, encontrando-se as respetivas constituições dos diversos elementos especificados no Anexo VI e VII.

4.1.3. Sistemas de Climatização

A climatização das diversas áreas deste edifício é prioritariamente centralizada, contudo existem em alguns locais do edifício unidades de climatização individual do tipo Split. O sistema de climatização

centralizada é caracterizado por um conjunto de unidades de fluido (ar) variável (VAV) interligadas a um conjunto de unidades de tratamento de ar (UTA) que se encontram diretamente dependentes das unidades produtoras de água quente e gelada, chillers. No edifício estão em operação, dois chillers, com possibilidades de operação distintas. Um destes chillers poderá funcionar produzindo apenas água arrefecida, como bomba de calor apenas aquecendo água, ou como recuperador de calor produzindo simultaneamente água arrefecida e água aquecida. O outro chiller produz água gelada. Por sua vez, o edifício dispõe de quatro UTA's sendo que a energia consumida por estes aparelhos provem dos chillers. As UTA's permitem que exista insuflação de ar novo no interior do edifício e permitem extrair o ar viciado em proporção equitativa. Estes aparelhos são automaticamente controlados por um *software* que permite uma gestão técnica centralizada. Assim as UTA encontram-se programadas para que automaticamente atuem da seguinte forma:

- Até 14°C de temperatura exterior, o ajuste de temperatura de insuflação é de 22,0°C.
- Acima de 24°C de temperatura exterior, o ajuste de temperatura de insuflação é de 15°C.
- Entre 14°C e 24,0°C o ajuste de temperatura de insuflação é automaticamente ajustado em rampa linear entre 22,0°C e 15,0°C.

As VAV encontram-se distribuídas por todos os compartimentos do edifício estando localizadas entre os tetos falsos existentes e as lajes. Estas unidades permitem regular o caudal de ar que é disponibilizado na sua admissão, mediante ajuste de um valor mínimo e máximo. Têm a possibilidade de efetuar a correção da temperatura do ar através da serpentina de aquecimento com que são munidas, contudo, não têm a possibilidade de realizar um arrefecimento adicional ao ar proveniente das UTA. Em cada VAV existe um controlo local que permite além de outras funções o ajuste local da temperatura com uma variação de +2,5°C/-2,5°C relativamente ao valor pré-fixado no controlador (22°C).

No Anexo III, encontram-se referenciadas as características técnicas dos elementos acima mencionados.

4.1.4. Equipamentos Existentes

Para além dos equipamentos mecânicos existentes que permitem a climatização do edifício, este dispõe de uma vasta gama de equipamentos elétricos que possibilitam que o edifício desempenhe as funções para as quais foi concebido. Segundo, a certificação energética realizada a 30 de Março de 2011 estimou-se que o consumo nominal de energia primária destes aparelhos conjuntamente com os elementos que perfazem a iluminação exterior seja de cerca 125376 kgep/ano. No Anexo III, especifica-se de forma discriminada os equipamentos existentes.

4.1.5. Sistemas de Iluminação Existentes

O edifício em estudo possui dois tipos distintos de iluminação: Iluminação Interior e Iluminação Exterior. Devido ao sistema de gestão técnica centralizada a iluminação também é controlada de forma automática. Este controlo da iluminação é realizado em cada zona através de sensores de presença. O sistema de gestão centralizada integra variada informação, nomeadamente: presença de pessoas e climatização em operação. Este sensor ao ser ativado dentro do horário de ocupação pré-programado autoriza a iluminação dessa zona durante duas horas (período de ocupação normal) ou 15 minutos (período de ocupação STANDBY). Se não for detetado nenhum movimento na zona monitorizada pelo sensor durante estes períodos (15m ou 2h) a iluminação é desligada automaticamente. Poderá no entanto o utilizador do local desligar ou ligar a iluminação sempre que o deseje premindo o pulsor existente no controlador local existente em cada zona. O sistema de gestão técnica encontra-se programado para controlar a iluminação de segunda-feira a sexta-feira no período horário compreendido entre as 7h e as 22h. Cada sala possui um sensor de índice de iluminância, regulado para 7000 lux, sendo que acima deste valor a iluminação de um sector é desligada por completo, o que poderá incluir várias salas. O controlo dos circuitos de iluminação das zonas comuns é efetuado através de programas horários existentes nos diferentes controladores os quais são livremente programáveis pelo responsável pela condução da instalação.

Do levantamento realizado poderá assumir-se que o tipo de iluminação existente é constituída essencialmente por lâmpadas fluorescentes compactas com balastros eletrónicos, do tipo lâmpadas fluorescentes tubulares T5-Eco e TLD-Master Eco, lâmpadas de tecnologia LED e lâmpadas de halogéneo. No Anexo II, procede-se à especificação detalhada da quantidade, tipologia e potência das diferentes lâmpadas que perfazem a iluminação interior bem como a exterior.

4.1.6. Análise do Consumo Energético do Edifício

Atualmente, este edifício apresenta uma classe energética B. Classe esta que deriva da última auditoria energética realizada em 2011. Nesta auditoria, estimou-se:

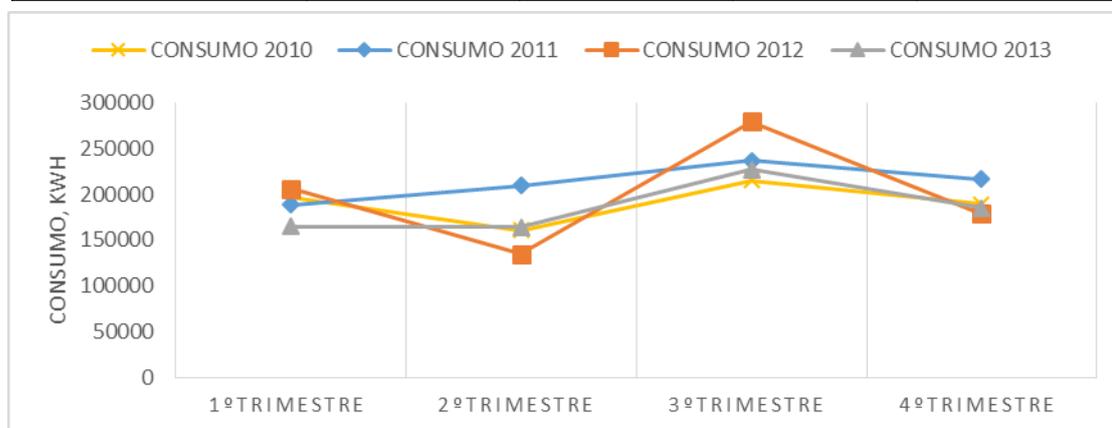
- Consumo anual Global igual a 798905 kWh.
- Consumo nominal estimado de energia primária para aquecimento igual a 22447 kgep/ano.
- Consumo nominal estimado de energia primária para arrefecimento igual a 54828 kgep/ano.
- Consumo nominal estimado de energia primária para iluminação interior no edifício igual a 51536 kgep/ano.

Para que se pudesse perceber e realizar uma análise pormenorizada ao edifício, primariamente observou-se o consumo energético nos últimos quatro anos. Foi utilizado para o cálculo do custo anual despendido em eletricidade, um valor de referência de 0,12 €/kWh visto que os 0,096 €/kWh enunciados na certificação de 2011 já não se encontram em vigor. Através da observação da [tabela 17](#), poderá

concluir-se que o consumo anual do edifício tem vindo a diminuir, observando-se uma redução em 2013 de 12,89% relativamente aos valores de 2011. Refira-se, que atualmente a única fonte energética utilizada no edifício é a energia elétrica provindo esta integralmente da rede.

Tabela 17 - Balanço Energético, kWh.

| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 1ºTrimestre | 196370 | 188687 | 205779 | 165146 |
| 2ºTrimestre | 160850 | 209522 | 135180 | 164184 |
| 3ºTrimestre | 215090 | 236380 | 279320 | 227051 |
| 4ºTrimestre | 189600 | 216368 | 178563 | 184879 |
| Total | 761910 | 850957 | 798842 | 741260 |
| kWh/m ² .ano | 80.5 | 89.9 | 84.4 | 78.3 |



Fonte: EDP

Como se tem vindo a registar uma redução no consumo de energia elétrica também os custos anuais de eletricidade têm vindo a diminuir desde 2011. Assim, em 2013 foram gastos cerca de 89 mil euros em eletricidade, *tabela 18*.

Tabela 18 - Faturação dos consumos energéticos.

| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|-------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| 1ºTrimestre | 23,564.40 € | 22,642.44 € | 24,693.48 € | 19,817.52 € |
| 2ºTrimestre | 19,302.00 € | 25,142.64 € | 16,221.60 € | 19,702.08 € |
| 3ºTrimestre | 25,810.80 € | 28,365.60 € | 33,518.40 € | 27,246.12 € |
| 4ºTrimestre | 22,752.00 € | 25,964.16 € | 21,427.56 € | 22,185.48 € |
| Total | 91,429.200 € | 102,114.840 € | 95,861.040 € | 88,951.200 € |

Fonte: Faturas do fornecedor EDP

Segundo outros estudos anteriormente realizados ao edifício em estudo, [81], [82], estima-se que existam três grandes grupos consumidores de energia elétrica no edifício: Climatização, Iluminação e Equipamentos. De todos eles, aquele que apresenta um maior consumo de energia é o da Climatização com cerca de 42,8%, tendo por base o consumo anual estimado na avaliação energética de 2011, 798905 kWh. Refira-se que 42,8% de consumo em climatização representaram cerca de 342000 kWh do

consumo total de energia. O segundo maior grupo consumidor de energia elétrica no edifício diz respeito aos equipamentos que representaram cerca de 33,3% do total de energia consumida. Esta avaliação individualizada será muito útil pois permitirá criticar os resultados que serão obtidos e a calibração dos modelos desenvolvidos.

Em 2013, o edifício apresentou um consumo real de 78 kWh/m².ano. Este valor tem vindo desde 2011 a diminuir. Contudo, nos resultados reais que foram disponibilizados poderá notar-se que de 2010 para 2011 existiu um aumento do consumo de cerca de 10 kWh/m².ano. Tendo sido em 2011, que as melhorias estabelecidas no certificado deverão ter sido implementadas, este aumento de consumo não seria de esperar. Tais valores poderão dever-se a alterações ligadas às condições climatéricas e a uma utilização muito intensiva do auditório para ações de formação, incluindo fins-de-semana. Apesar disto, poderá afirmar que desde 2011, ano em que o consumo se estabelecia em cerca de 90 kWh/m².ano, que os consumos têm vindo a diminuir, sendo que em 2013 essa diminuição representava cerca de 13% comparativamente aos valores de 2011. Assim, para cálculos futuros considerar-se-á que o consumo anual por metro quadrado será igual à média dos consumos anuais compreendidos entre 2010 e 2013 dividido pela área. Desta forma, define-se que o consumo médio por metro quadrado do edifício é cerca de 83 kWh/m².ano.

4.2. Modelos de Simulação - SketchUp e EnergyPlus

Na realização deste estudo optou-se por uma utilização combinada de dois programas computacionais, SketchUp e o EnergyPlus. A utilização conjunta destes dois programas permitirá uma maior flexibilidade no dimensionamento das soluções de melhoria energética que irão ser propostas. Tradicionalmente o SketchUp é utilizado como uma ferramenta de design gráfico que permite de forma acessível desenvolver as geometrias pretendidas. Neste caso, a sua utilização fugiu à que mais tradicionalmente é utilizada tendo-se instalado no SketchUp um Plug-in que permitiu que a geometria projetada pudesse posteriormente ser transposta para o modelo físico de simulação do comportamento energético do edifício - EnergyPlus, [83]. Assim, recorreu-se à instalação do Plug-in OpenStudio. O OpenStudio permite que o utilizador use as ferramentas padrão do SketchUp como forma de criar zonamentos térmicos e superfícies construtivas que desta forma passam a ser reconhecidas pelo programa de simulação EnergyPlus. O Plug-in utilizado foi criado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável do Departamento de Energia dos E.U.A.. Outra grande valência deste OpenStudio, passa pela permissão de visualizar graficamente os resultados obtidos, por intermédio das simulações energéticas realizadas no SketchUp. Esta possibilidade apresenta uma enorme relevância visto que o EnergyPlus não permite a visualização gráfica dos resultados obtidos pelas simulações. Uma geometria realizada no SketchUp sem o recurso ao OpenStudio não será posteriormente reconhecida pelo programa de simulação EnergyPlus. Para que a mesma seja reconhecida, esta deverá ser desenvolvida

pelo utilizador dentro de uma zona térmica. Para o desenvolvimento destas zonas, deverá recorrer-se à opção *“New EnergyPlus Zone”*, que se encontra disponível na barra de ferramentas. Em todos os edifícios existem áreas com utilizações diferenciadas. Naturalmente, duas áreas distintas no mesmo edifício que apresentem uma utilização diferenciada apresentaram distintas necessidades energéticas. Assim, no estudo realizado foram criadas diferentes zonas térmicas em função da utilização de cada parte do edifício. A definição destes zonamentos baseou-se numa avaliação técnica e pormenorizada de todas as áreas que perfazem o edifício. A existência de um sistema de climatização centralizado fez com que numa primeira fase se tivesse idealizado a realização dos zonamentos por piso. Contudo, devido a uma avaliação mais pormenorizada verificou-se que no mesmo piso os dois blocos que constituem o edifício apresentam condições de utilização diferenciada, o que levou a que em alguns pisos se tivessem desenvolvido duas zonas e não uma. Tal facto, levou a que o dimensionamento tridimensional do edifício tivesse de ser realizado de forma fragmentada, tornando todo o processo moroso e aumentando a complexidade do mesmo.

Outra característica afeta ao OpenStudio é o facto de que aquando o desenvolvimento da geometria dentro de cada zona térmica definida, cada layer recebe uma classificação. Assim, um elemento que se encontre no exterior será classificado em função da sua funcionalidade (parede exterior, cobertura, laje interior, laje exterior, etc.). Para além desta classificação que tem por base as funções de cada elemento, os mesmos são classificados segundo um código que o Plug-in atribui e que posterior será reconhecido pelo EnergyPlus. Para que se pudesse neste programa de simulação tratar cada elemento desenhado de forma individualizada e atribuir-lhe as propriedades dos materiais constituintes, teve de se proceder à reclassificação individualizada de cada elemento desenhado. Esta reclassificação adquire especial relevância, visto que não é possível no programa de simulação visualizar a estrutura tridimensional desenhada. Sendo assim, caso não se tivesse procedido a esta reclassificação tornar-se-ia muito difícil realizar uma avaliação aos diversos elementos projetados.

Durante este processo de construção do modelo geométrico e devido ao facto de esta construção ter de ser realizada por partes em função dos zonamentos estabelecidos, dever-se-á dar especial atenção aos limites de cada elemento desenhado. Estes limites deverão ser perfeitamente coincidentes caso contrário o programa poderá retornar um erro que o levará a encerrar. Os elementos construtivos desenhados nos diversos zonamentos e que se encontram em contato deverão ter exatamente as mesmas características (constituição, área, etc.). Caso tal não aconteça, os resultados finais que irão ser posteriormente adquiridos estarão errados, visto que o programa definirá que estes elementos que se encontram em contato, não serão um só mas sim, dois elementos construtivos que se encontram sobrepostos. A geometria desenvolvida neste trabalho respeita todos os aspetos que deverão ser tidos em consideração para que os resultados obtidos sejam fidedignos. A *figura 29 e 30*, demonstra a geometria construída tridimensionalmente e utilizada neste estudo.

Figura 28 - Modelo Tridimensional desenvolvido (Alçado Poente).

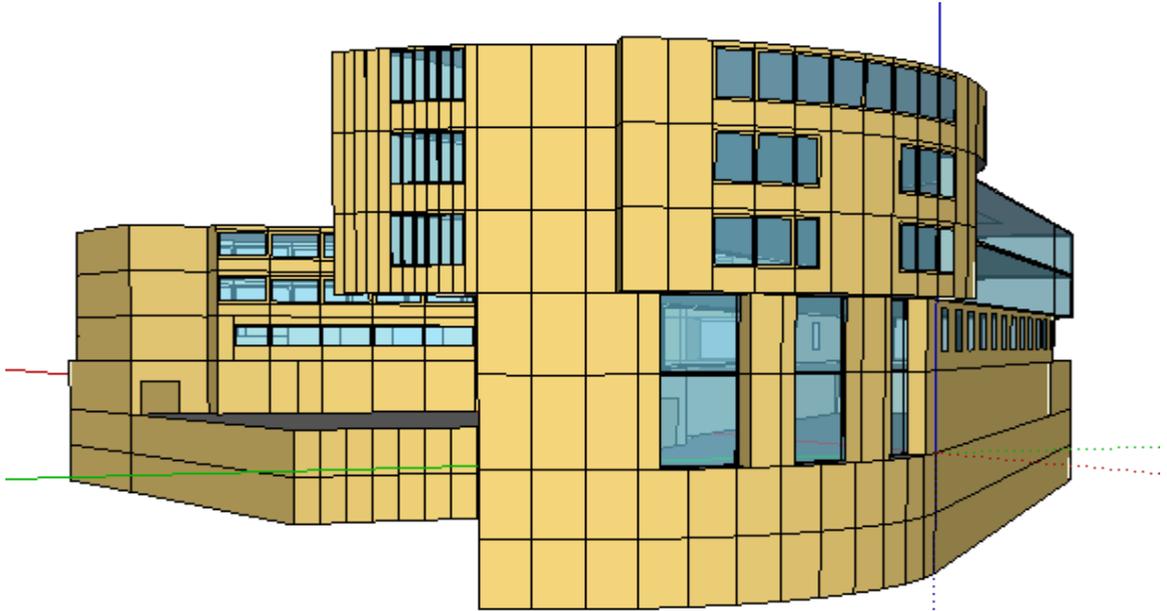
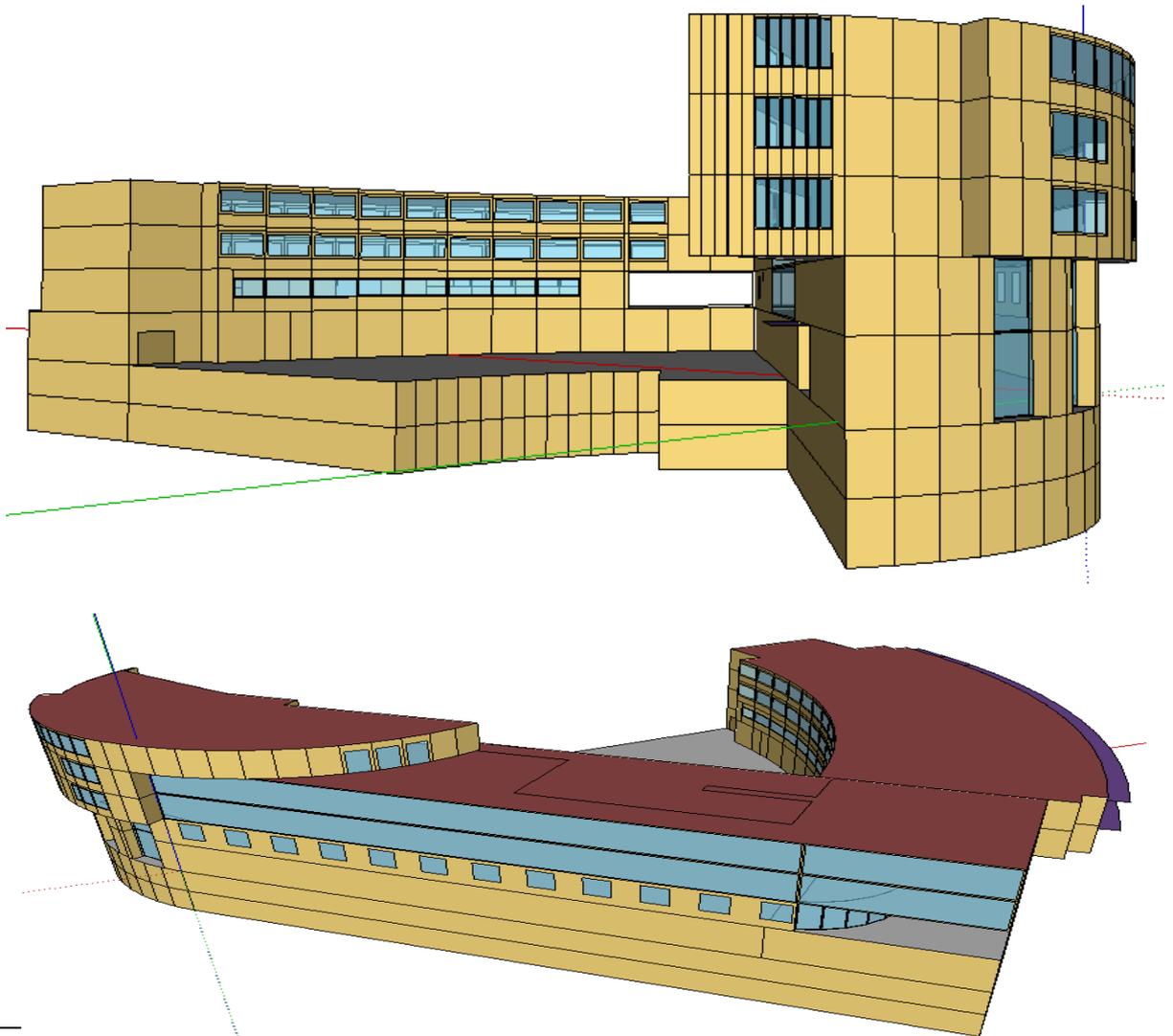


Figura 29 - Modelo Tridimensional desenvolvido (Alçado Norte e Cobertura).



A geometria acima descrita foi aquela que foi exportada e trabalhada no modelo físico EnergyPlus. O EnergyPlus é um programa que contém um conjunto de módulos físicos que permitem calcular a energia que é necessária despende para aquecimento e arrefecimento de um edifício, e simular todo o comportamento energético e térmico do mesmo, num ciclo anual típico [83]. Os cálculos efetuados por este programa têm sempre em atenção as condições ambientais exteriores e as condições de funcionamento a que o edifício se encontra exposto [83]. A base climática do local em estudo utilizada foi a que se encontra disponibilizada pelo Departamento Americano para a energia. Neste programa, procedeu-se a uma definição de todos os elementos existentes e que condicionam o desempenho energético do edifício em estudo.

4.3. Análise de Resultados – EnergyPlus

4.3.1. Exercício de Modelação 1 - Segundo a certificação energética de 30 Março de 2011

Nesta primeira simulação procedeu-se a uma recriação precisa do edifício tendo-se para isso utilizado a caracterização descrita na certificação energética. Todos os valores referentes aos diversos elementos construtivos que perfazem o edifício, poderão ser consultados no Anexo V. A simulação foi definida para um ciclo anual, tendo sido considerados todos os feriados que à data se encontram em vigor. A contabilização destes feriados apresenta especial relevância visto que nestes dias o funcionamento do edifício apresentar-se-á muito diferente.

A posição que o edifício apresenta, influenciará a radiação solar que este receberá e a forma como irá interagir com as diferentes variáveis climáticas, daí a relevância de uma correta definição do ângulo que o edifício perfaz com o Norte. Assim, considerou-se que o edifício perfaz um ângulo de 45° com o Norte.

Durante a avaliação realizada ao edifício, verificou-se que não existem elementos exteriores que possam condicionar a forma como este recebe a radiação solar. Assim, para efeitos de simulação não se considerou a existência de qualquer elemento, que em certos períodos do dia possa criar sombras ao edifício em estudo. As únicas sombras existentes serão aquelas, que as reentrâncias e saliências do próprio edifício criarão em função da posição solar.

A temperatura do solo altera-se em função da profundidade e da altura do ano. Visto que existem pisos enterrados torna-se relevante uma correta avaliação desta condicionante. O ficheiro climático utilizado para efeitos de simulação, dispõe das informações afetas à variação da temperatura do solo em função da altura do ano. Assim, como forma de acondicionar esta variável utilizou-se este ficheiro climático.

Parte da radiação solar que atinge o solo e que é refletida acaba por atingir o edifício. Esta radiação terá influência nos ganhos solares obtidos pelo edifício. Contudo, a radiação refletida varia com um conjunto de fatores que são impossíveis de precisar neste estudo. Desta forma, embora se tenha a

perfeita noção de que existirá radiação solar refletida para o edifício, optou-se por considerar neste estudo que nenhuma da radiação solar refletida atinge o edifício.

Para além de ser ter estabelecido que a simulação irá ocorrer em um período anual, foram também definidos horários que permitiram controlar o funcionamento diário dos equipamentos, da iluminação interior, da iluminação exterior, da ocupação do edifício e o funcionamento da climatização. Este tipo de condicionalismo apresenta uma delineação mais complexa, visto que para além de se estabelecer um horário diário para uma semana *standard*, teve de se proceder à delineação de horários para semanas em função da estação do ano. Este procedimento, permitiu caracterizar de uma forma mais precisa o consumo de todos os elementos que são controlados por este horário. Atente-se, por exemplo, para o caso da iluminação. Durante o Inverno a iluminação natural disponível será diminuta quando comparada com aquela que existe durante o Verão. Assim, as necessidades de iluminação artificial serão superiores durante o Inverno e inferiores no Verão, pelo que não fará sentido especificar que nas duas estações a utilização da iluminação interior será a mesma. Contudo, como nesta fase se procura um estado ótimo que vá ao encontro do estabelecido na certificação considerou-se que para todos os horários anteriormente enunciados, exceto iluminação exterior e para os equipamentos, uma utilização máxima entre as 8:00h e as 18:00h. Voltando ao exemplo da iluminação interior, isto significará que durante este período toda a iluminação interior existente no edifício estará ligada. Considerou-se também que todos os elementos existentes no edifício apenas funcionaram no período semanal. Já para a iluminação exterior, estipulou-se uma utilização diária de 50%, para todos os períodos do ano incluindo fins-de-semana e feriados.

O sistema de sombreamento que se encontra localizado na fachada a sul não é totalmente opaco, pelo que permitirá que a radiação solar que o atinge, não seja totalmente impossibilitada de atingir o edifício. Assim definiu-se que este elemento apresenta uma transmitância de 50%.

Com base nas informações delineadas no certificado energético e as adquiridas no levantamento realizado, procedeu-se à caracterização de todos os elementos existentes que irão influenciar os ganhos térmicos no edifício. Algumas das potências consideradas para os equipamentos elétricos existentes, derivam de uma observação realizada a equipamentos semelhantes que se encontram no mercado. Procedeu-se a este levantamento pelo facto de não ter sido possível saber as potências de todos os equipamentos existentes no edifício. Desta forma, considerou-se o seguinte:

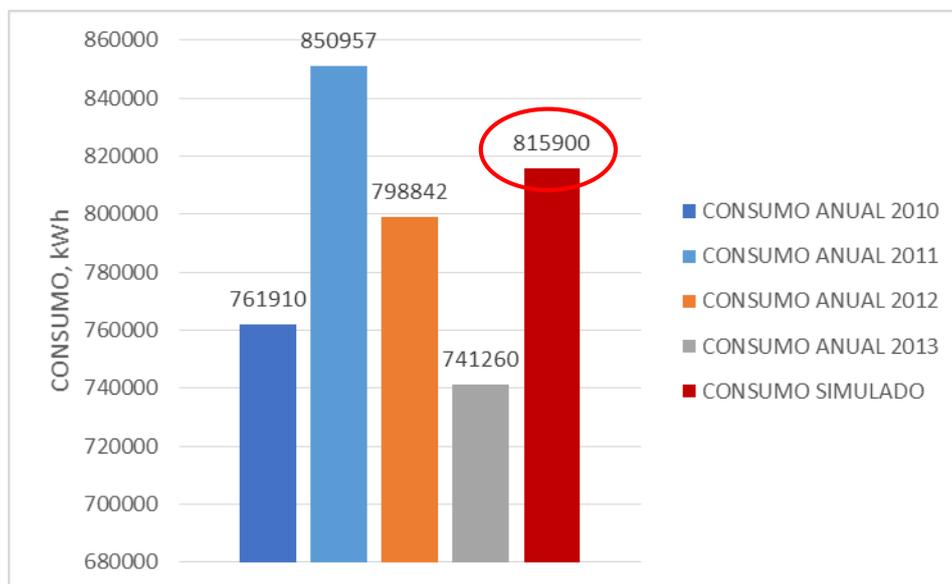
- Potência total instalada da iluminação interior: 70,3 kW;
- Potencia total instalada da iluminação exterior: 10,8 kW;
- Potência total instalada dos equipamentos elétricos: 278,32 kW;
- Numero médio de pessoas permanentemente no edifício: 131.

Devido ao sistema de gestão técnica centralizada, o sistema de climatização do edifício estipula que a temperatura se encontre em todos os períodos do ano compreendida num intervalo previamente definido. No edifício, este intervalo encontra-se definido entre os 20°C e os 25 °C. No estudo realizado,

considerou-se que o intervalo de temperatura interior no edifício estaria em todo o momento compreendido entre os 19°C e os 25°C. A alteração dos limites neste estudo deve-se ao facto de que o novo regulamento legislativo prever uma alteração relativa aos limites de temperatura interior. Como no edifício existem zonas específicas para estacionamento e visto que estas não são climatizadas, as mesmas não foram consideradas para o estudo do sistema de climatização.

Os resultados obtidos por intermédio desta primeira simulação vão ao encontro dos resultados expostos na certificação. Nesta primeira simulação, chegou-se a um consumo anual de 815900 kWh o que equivale a cerca de 86 kWh/m².ano. Comparando o valor encontrado, com aquele que é estabelecido no certificado energético, 798905 kWh, demonstra-se que o modelo desenvolvido apresenta um consumo anual acima em cerca de 2% do simulado aquando da certificação. Tendo em atenção, que o valor estabelecido no certificado também resulta de uma simulação e que evidentemente existirão sempre algumas diferenças entre as duas simulações, a diferença percentual demonstrada poderá considerar-se desprezável. A diferença percentual enunciada poderá, por exemplo, dever-se a uma utilização diferenciada de diferentes bases de dados climáticas. Se, se comparar o consumo anual encontrado neste modelo desenvolvido, com os consumos reais anuais efetivamente consumidos no edifício nos últimos quatro anos, verificar-se-á que o valor encontrado em tudo se assemelha aos valores reais de consumo anual, *gráfico 15*. Os valores indicados como consumo real anual, representam o somatório anual do consumo efetivamente faturado e indicado nas respetivas faturas energéticas.

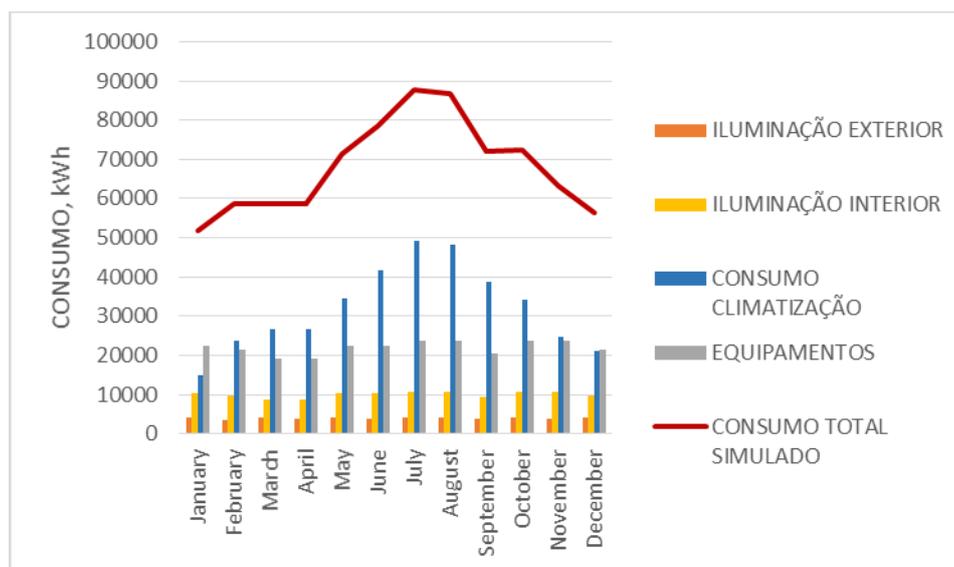
Gráfico 15 - Comparação entre consumos reais e simulado.



O valor encontrado apresenta-se como uma boa base de referência para a caracterização do consumo anual do edifício. Este valor identifica um consumo anual estimado, que representa em função das características do edifício e das condições climáticas exteriores consideradas, o total de energia elétrica que poderá vir a ser consumida no edifício em um ano. O consumo simulado difere do consumo real

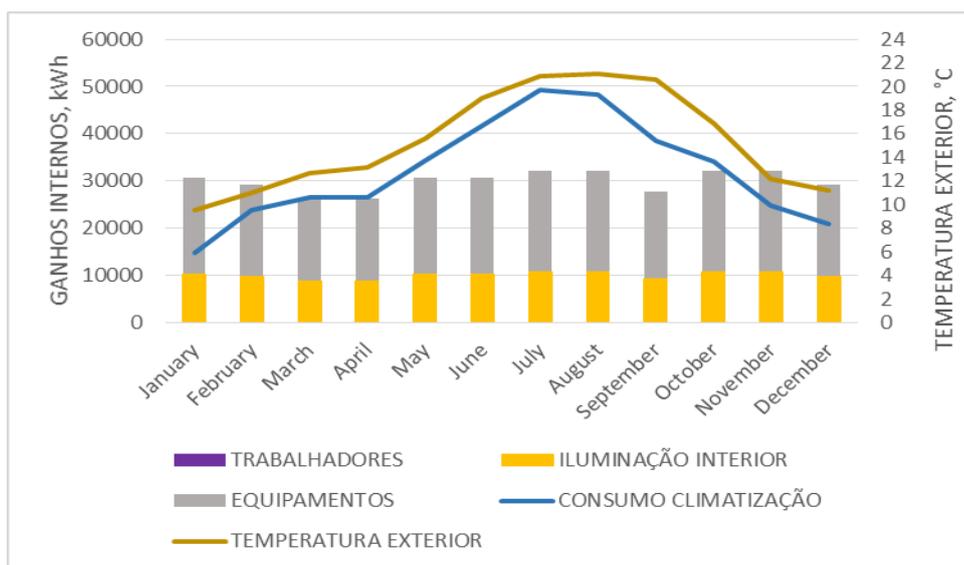
visto que este representa o consumo que efetivamente é faturado num ano. Ao realizar-se uma média de consumo dos quatros anos indicados e comparando esse valor médio com o valor de consumo anual encontrado, verificar-se-á que o consumo simulado se apresenta cerca de 4% superior em relação ao consumo médio anual. Analisando o valor de consumo anual estimado de forma mais pormenorizada, *gráfico 16*, verificar-se-á que a maior parte da energia utilizada no edifício se destina à climatização. Neste caso, a climatização representa cerca de 47% do total de energia consumida anualmente. As estimativas existentes de consumo já anteriormente enunciadas, indicavam que este sector de consumo representava cerca de 42,2% do consumo total de energia elétrica no edifício. Assim, o modelo simulado neste subcapítulo apresenta um consumo afeto à climatização superior em cerca 4,8%. No caso da iluminação, a estimativa existente indicava que este sector representaria cerca de 23,3% do total de energia consumida no edifício. Nesta primeira simulação, a iluminação representa anualmente cerca de 20,6% do consumo total de energia, o que demonstra uma necessidade inferior deste sector em cerca de 2,7%.

Gráfico 16 - Consumo do edifício por elemento existente.



Como se poderá perceber pela avaliação do gráfico 16 acima enunciada, nos períodos em que o consumo total simulado é inferior, o consumo dos equipamentos é superior ou muito semelhante ao consumo da climatização. Assim, ao avaliar-se os ganhos térmicos internos, *gráfico 17*, perceber-se-á que nos meses onde o consumo total de energia no sector da climatização diminui, que os ganhos internos permitem que o set-point de temperatura estabelecido para o edifício seja atingido. Os ganhos internos neste edifício provêm do calor libertado pelos funcionários, pelos equipamentos elétricos e pela iluminação interior. Este calor libertado permitirá que nos meses onde a temperatura exterior é menos elevada que as necessidades de climatização diminuam.

Gráfico 17 - Ganhos internos.



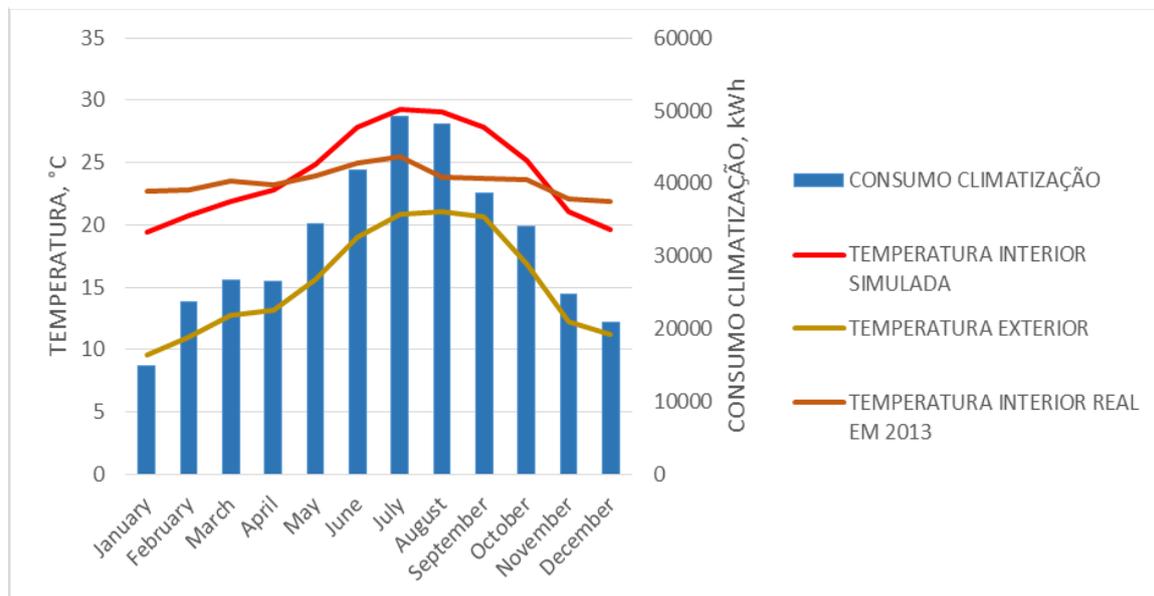
Nos meses compreendidos entre Janeiro/Abril e Outubro/Dezembro, as temperaturas mais amenas e os ganhos internos produzidos pela natural utilização do edifício, permitem que ocorra uma diminuição das necessidades de climatização mecânica do edifício. Por outro lado, ao avaliar-se os meses compreendidos entre Abril/Outubro, verifica-se que o aumento da temperatura exterior e a existência de ganhos internos elevados, fazem com que ocorra um aumento das necessidades de climatização mecânica. Para que se possa entender a real relevância dos ganhos internos nos edifícios, verifica-se que uma diminuição destes ganhos nos meses compreendidos entre Abril e Outubro permitiria uma diminuição do consumo referente ao sistema de climatização. Já nos outros meses, um aumento dos ganhos internos permitiria que existisse um natural aquecimento do edifício, o que consequentemente levaria a uma diminuição do consumo de energia elétrica.

Na fase inicial deste estudo, ao avaliar-se os coeficientes de transmissão térmica, atribuídos no certificado energético, aos diversos elementos, verificou-se que os mesmos não representam integralmente as soluções construtivas que se encontram edificadas no local em estudo. Os valores especificados no documento apresentam-se demasiado elevados. Contudo, como nesta fase se pretende encontrar um modelo de referência, foram utilizados os dados da certificação energética. No próximo subcapítulo, este aspeto será exposto de forma mais pormenorizada.

Como se poderá observar pelo *gráfico 18*, o facto de se terem estabelecido estes coeficientes de transmissão térmicas elevados, não completamente concordantes com a realidade existente, proporcionou que a temperatura estabelecida para um máximo de 25°C, no set-point, fosse em determinadas alturas do ano superada. Assim, poderá afirmar-se que o modelo estabelecido no certificado proporciona que em certas alturas do ano as condições interiores não sejam respeitadas. Repare-se, que a temperatura interior real no edifício em 2013 nunca ultrapassou os 25°C. Como já foi referenciado anteriormente, o edifício dispõe de um sistema de gestão técnica centralizado que permitiu

o acesso ao histórico de diversos elementos afetos ao consumo do edifício. A temperatura interior real em 2013 utilizada neste estudo resulta de uma consulta efetuada ao histórico acima referenciado.

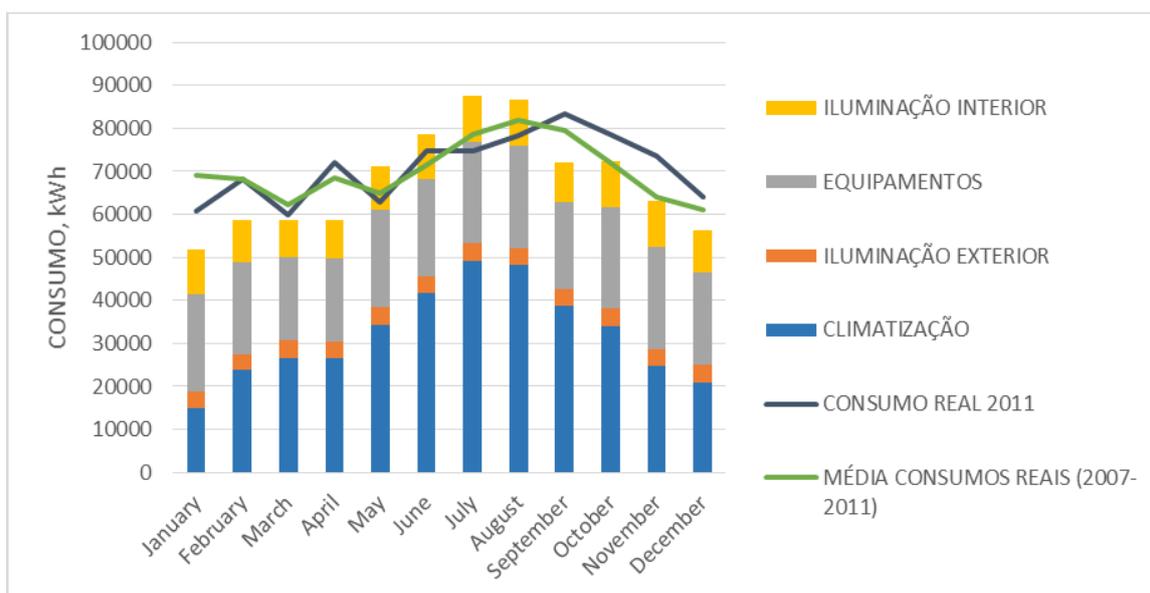
Gráfico 18 - Comparação entre consumo com climatização e temperaturas.



Apesar do acima descrito, atente-se no facto de que quando as temperaturas exteriores são mais elevadas o consumo com a climatização também aumenta. Isto dever-se-á ao esforço que o sistema terá de encetar para que as temperaturas não ultrapassem o limite estabelecido. Contudo, neste modelo o sistema de climatização existente não consegue proporcionar que o edifício atinja as temperaturas desejadas. Ao comparar-se o consumo anual encontrado nesta simulação, com o consumo real de 2011, *gráfico 19*, poderá notar-se que os consumos mensais apresentam alguma discrepância.

Embora no ano de 2011, o consumo anual tenha sido superior aquele que foi encontrado pela simulação, nos meses em que tendencialmente as temperaturas exteriores serão mais elevadas, o consumo obtido a partir do modelo simulado ultrapassa o que realmente foi consumido. Nos meses em que as temperaturas são menos elevadas, o consumo obtido a partir do modelo estudado apresenta uma variação negativa, significativa em alguns meses, relativamente aos consumos que efetivamente foram consumidos. Isto dever-se-á aos valores dos coeficientes de transmissão térmica que foram tidos em consideração.

Gráfico 19 - Balanço anual do modelo simulado.



Visto que o balanço anual encontrado, decorrente da simulação, não corresponde a nenhum ano específico, procedeu-se a uma comparação entre os valores encontrados e a média dos consumos anuais reais consumidos entre 2007/2011. A comparação realizada demonstra claramente que as lacunas referentes aos coeficientes de transmissão térmica propostos no certificado fazem com que o modelo simulado se distancie um pouco da realidade existente.

4.3.2. Exercício de Modelação 2 - Segundo o levantamento realizado

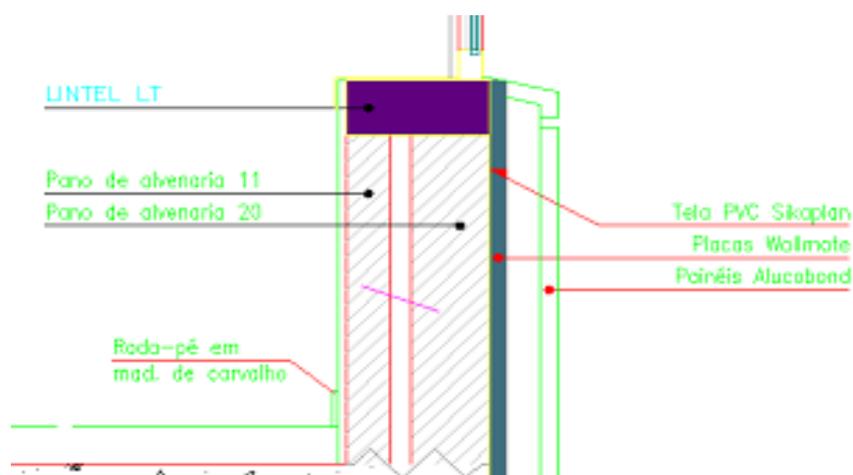
Como já foi referido, no subcapítulo anterior, durante a avaliação realizada percebeu-se que os coeficientes de transmissão térmica propostos na certificação energética poderiam não representar de forma precisa os diversos elementos das envolventes. Muito provavelmente, os valores indicados na certificação resultarão de uma qualquer simplificação efetuada. Contudo, essa simplificação apresenta uma influência negativa no estudo que se pretende realizar, visto que não permite acautelar um correto funcionamento do sistema de gestão técnica centralizada.

Nesta segunda simulação procedeu-se a uma correta especificação dos elementos que constituem as diversas envolventes existentes, para que assim se pudesse perceber o real impacto das simplificações adotadas na certificação energética, no consumo anual do modelo simulado. Desta forma, pretende-se criar uma base de estudo sólida, sobre a qual se irão propor medidas de melhoria.

Em função dos diversos elementos que constituem as envolventes verticais poderão definir-se três tipos diferentes de paredes exteriores. No certificado apenas uma tipologia vem especificada, sendo que esta apresenta um coeficiente de transmissão térmica de $0,96 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. As especificações e a

constituição das novas soluções construtivas encontram-se no Anexo VI. Todas as paredes exteriores existentes no edifício, com exceção das que se encontram enterradas, apresentam a seguinte constituição do exterior para o interior: revestimento exterior, caixa-de-ar, isolamento térmico, tela PVC, pano de alvenaria cerâmica de 20 cm de espessura, caixa-de-ar, pano de alvenaria cerâmica de 11 cm de espessura, revestimento interior, ver *figura 31*. Ressalva-se o facto, de existirem partes do edifício em que o revestimento exterior é constituído por um elemento sólido de génese calcária e não por um painel Alucobond como a imagem em baixo demonstra. Toda a restante constituição é idêntica.

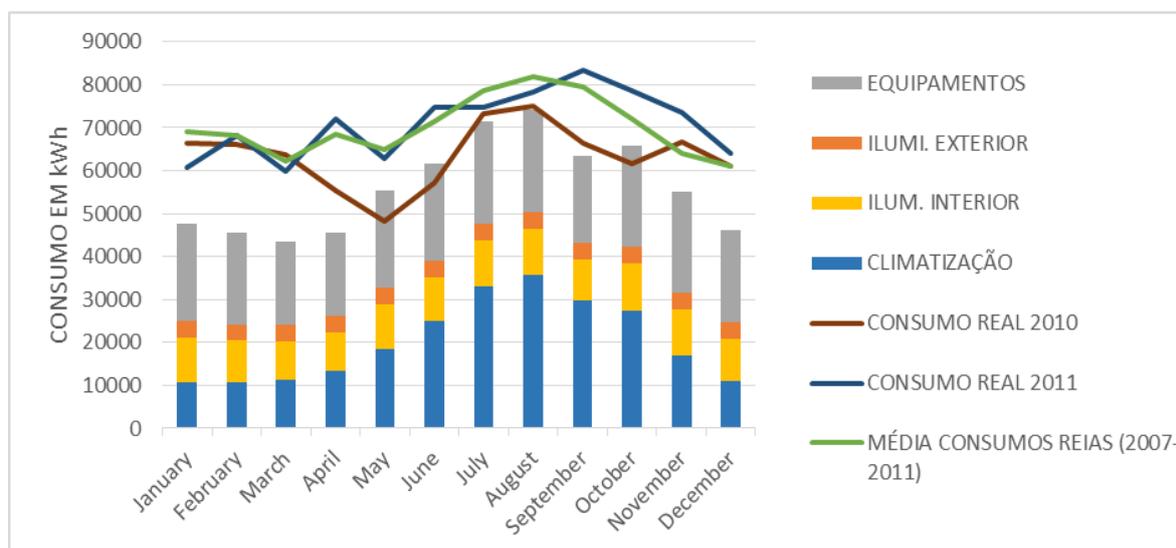
Figura 30 - Constituição tipo das envoltivas verticais exteriores.



A solução demonstrada na *figura 31* apresenta um coeficiente de transmissão térmica de $0,137 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, segundo os dados resultantes da simulação, o que em muito difere dos $0,96 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ especificados no certificado energético. Para se ter uma ideia mais concreta do erro associado, uma parede convencional constituída por dois panos de alvenaria com isolamento térmico na caixa-de-ar, em média apresentará valores de transmissão térmica na ordem dos $0,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Com as alterações efetuadas às especificações dos elementos constituintes das envoltivas exteriores, procedeu-se a uma nova simulação, Modelo 2. Ao compararem-se os valores de consumo anuais obtidos, no Modelo 2, com os valores de consumo anuais reais, percebe-se que o modelo se apresenta mais uniforme. Contudo, devido à limitação horária estabelecida para todos os elementos consumidores de energia elétrica, ao avaliar-se os valores obtidos nesta simulação poderá notar-se uma diferença significativa relativamente à média dos consumos anuais entre anos de 2007/2011, *gráfico 20*.

Gráfico 20 - Balanço anual modelação com alteração nos elementos que constituem a envolvente.



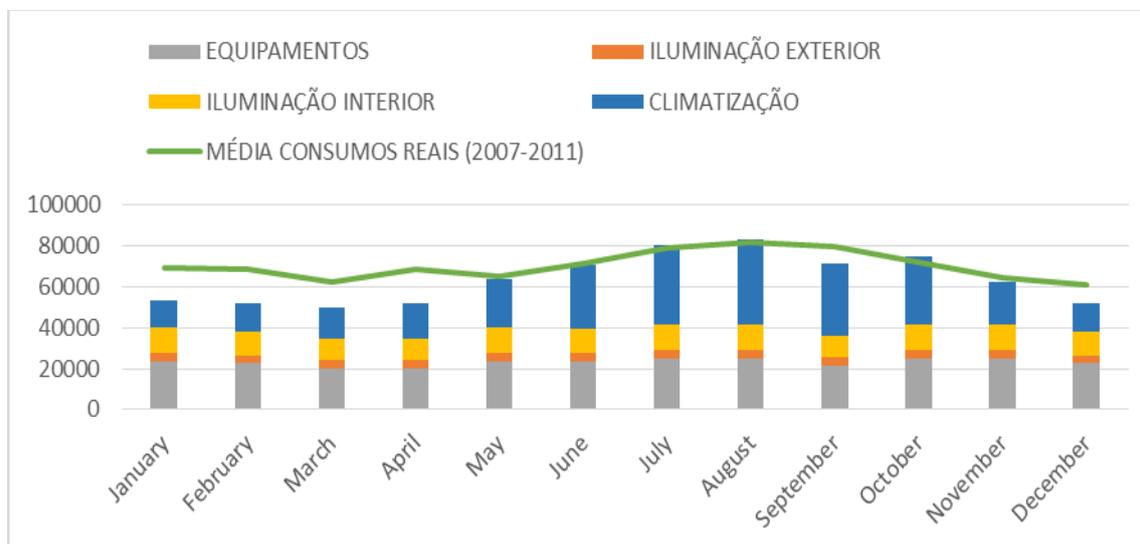
Apesar de este modelo apresentar uma diferença significativa nos meses compreendidos entre Janeiro e Abril, ao avaliar-se anualmente os resultados obtidos chega-se a um valor de consumo anual estimado de 71 kWh/m².ano. Contudo, este valor apresenta uma diferença substancial quando comparado com a média dos consumos anuais dos últimos quatro anos, 83 kWh/m².ano, média esta que foi anteriormente estipulada como valor de referência. Esta diferença de consumo anual atinge cerca de 14%. Apesar disto, quando se compara o valor de consumo anual estimado com o valor real consumido em 2010, 80 kWh/m².ano e com o de 2013, 78 kWh/m².ano perceber-se-á que a diferença percentual diminui. A comparação com os valores de 2010 a diferença percentual é de cerca 10%, já quando em relação aos valores de 2013 essa diferença encurta para cerca de 9%.

Tendo-se iniciado as simulações com base em um horário de funcionamento simplificado e tendo-se verificado que existe uma diferença percentual significativa em relação aos valores anuais de consumo, optou-se por se tentar perceber qual seria a resposta deste Modelo 2 com um horário de funcionamento igual ao real. Assim, procedeu-se a uma nova simulação que teve por base um horário de funcionamento compreendido entre as 8:00h e as 22:00h. Estabeleceu-se que entre as 8:00h e as 18:00h, à semelhança do que já anterior tinha sido definido todos os elementos consumidores de energia elétrica apresentavam uma taxa de utilização de 100%, com exceção para os equipamento e a iluminação exterior com uma taxa de utilização e rondar os 50%. No período entre as 18:00h e as 22:00h estabeleceu-se:

- Utilização dos equipamentos cerca de 10%;
- Utilização iluminação interior cerca de 30%;
- Ocupação do edifício cerca de 30%;
- Sistema climatização sempre ativo:

Neste novo horário aplicado ao Modelo 2, mais próximo daquele que realmente se efetuará no edifício estimou-se um consumo anual de 81 kWh/m².ano, *gráfico 21*.

Gráfico 21 - Balanço anual Modelo 2 otimizado.

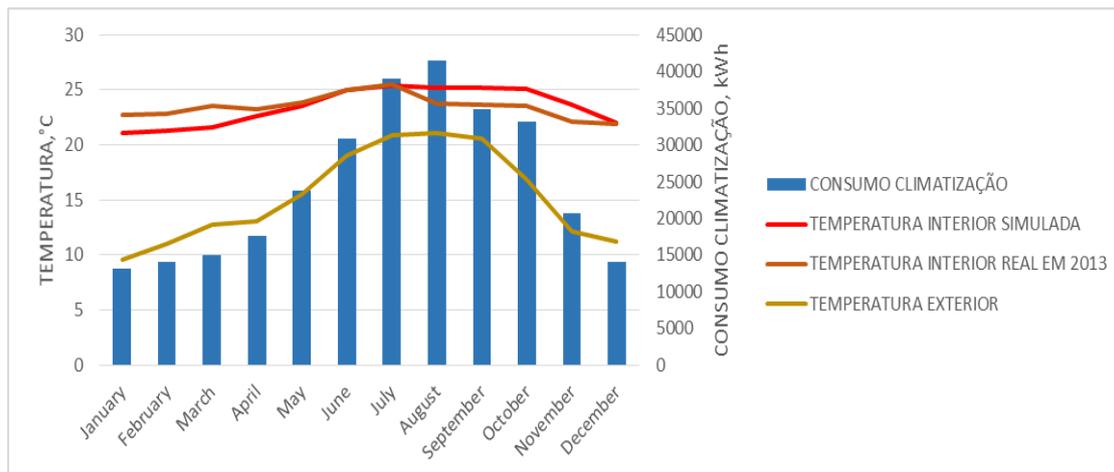


Neste novo balanço, as diferenças de consumo mensal que existiam no Modelo 2, em horário simplificado, e no Modelo 1 são muito menos expressivas. Note-se que em muitos dos meses, o consumo mensal simulado é equivalente ao consumo mensal real. Ao compara-se o consumo anual simulado com a média dos consumos efetuados nos últimos quatro anos estipulada em 83 kWh/m².ano, nota-se que este modelo apresenta uma diferença percentual em cerca de 3%.

Ao contrário do que acontecia no Modelo 1, neste modelo a temperatura interior simulada do edifício já se apresenta dentro do set-point estabelecido e utilizado pelo sistema de gestão técnica centralizado existente no edifício, *gráfico 22*.

No Modelo 2, as temperaturas interiores simuladas (temperatura interior encontrada por simulação energética), nunca ultrapassam o máximo estabelecido, como acontecia com o Modelo 1, e ao longo do ano mantêm-se sempre próximas das temperaturas interiores reais medidas no edifício. Repare-se que, por exemplo, nos meses em que as temperaturas exteriores são mais elevadas, existe uma diminuição da temperatura interior que resulta num aumento da energia elétrica que é fornecida para a climatização, o que significa que a otimização realizada permitiu chegar a um modelo que representa corretamente as condições interiores do edifício. Ao longo do ano, percebe-se que o sistema de climatização existente apresenta-se capaz de manter as temperaturas de acordo com o set-point pré definido:-

Gráfico 22 - Comparação entre consumo com climatização e temperatura no Modelo 2.



4.3.3. Exercício de Modelação 3 – Convergência para NZEB

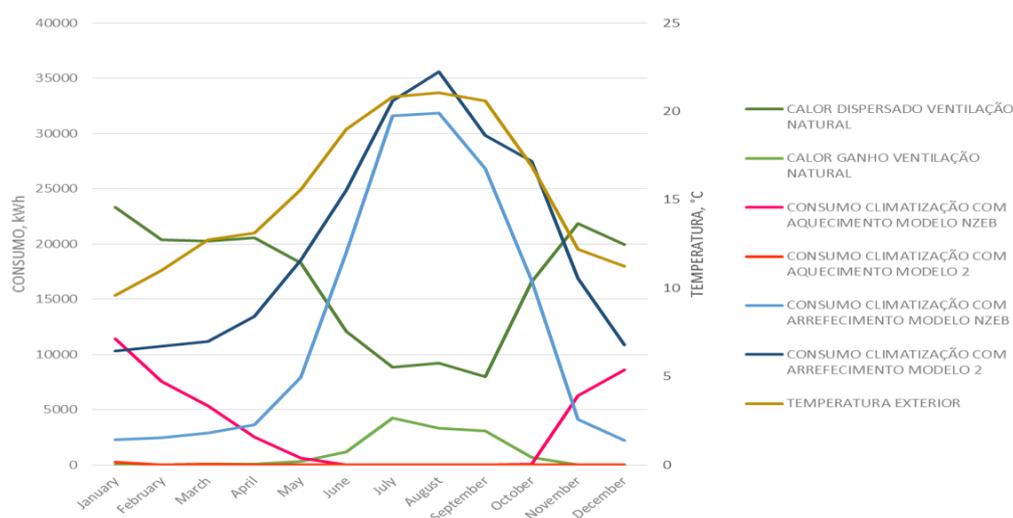
Após se verificar que a Simulação 2 proporciona uma boa aproximação ao real desempenho energético do edifício, procedeu-se a uma análise individualizada de todos os elementos que perfazem o edifício de maneira a que fosse possível atingir o principal objetivo deste estudo, uma convergência para NZEB. Nesta fase procedeu-se à utilização de um horário simplificado das 8:00h as 18:00h. Para este estudo de convergência estipularam-se as seguintes medidas:

- Alteração dos elementos envidraçados do Bloco A pertencentes à fachada a Sul;
- Ventilação Natural;
- Colocação de cortiça como isolamento térmico nas lajes superiores dos Pisos -1 e 0B destinados a estacionamento;
- Desenvolvimento de paredes falsas com caixa-de-ar e com isolamento térmico em XPS nas diversas envolventes verticais enterradas;
- Modificação do sistema de Iluminação para uma iluminação em LED;
- Produção local de energia renovável por intermédio de 440 painéis solares fotovoltaicos.

Como forma de estimar o efeito que a ventilação natural poderá ter neste edifício, recorreu-se a utilização de um modelo de cálculo disponibilizado no programa de simulação EnergyPlus que permite, para a geometria desenvolvida, estimar um estado ótimo de ventilação natural no edifício. Definiu-se neste estudo, que a ventilação natural deveria proporcionar ao edifício um valor de 0,6 mudanças de ar por hora. Na realidade existente, visto existirem muitos vãos envidraçados que não permitem a entrada de ar no edifício, pois não estão dotados de mecanismos de abertura, julga-se que a ventilação natural possa ocorrer no edifício pela implementação de mecanismos nos vãos ou nas caixas de estores.

Como se poderá observar no *gráfico 23*, o favorecimento da ventilação natural permite uma clara redução das necessidades de arrefecimento do edifício, sendo estas necessidades aquelas que apresentam uma maior expressão num ciclo anual de consumo. Nos meses em que a temperatura exterior é mais elevada nota-se a existência de uma redução do consumo de energia elétrica para arrefecimento do edifício no modelo NZEB, em relação as necessidades de arrefecimento no Modelo 2. Contudo, nestes meses a existência de ventilação natural permitirá a existência de ganhos térmicos no edifício. Tal implicará que a redução das necessidades de arrefecimento no modelo NZEB não sejam ainda menores, sendo que estes ganhos farão com que exista uma maior necessidade de o sistema de climatização entrar em funcionamento. Contudo, como a energia dissipada pela ventilação natural é superior aquela que é ganha torna-se possível que o modelo de convergência para NZEB apresente uma diminuição das suas necessidades de arrefecimento, em relação ao Modelo 2. Nos meses em que as temperaturas exteriores são mais baixas, o modelo NZEB exprime um aumento das necessidades de aquecimento relativamente ao Modelo 2. Nestes meses as condições exteriores permitem que exista uma maior insuflação natural de ar no edifício. Pelo facto de nestes meses a temperatura do ar exterior não ser muito elevada e ser este mesmo ar aquele que é insuflado para o edifício, existirá uma diminuição da temperatura do ar interior até que ocorra um equilíbrio entre a temperatura do ar interior e a do ar que é insuflado do exterior. Desta forma, devido ao set-point estabelecido o sistema de climatização entrará em funcionamento até que a temperatura do ar interior se apresente dentro dos limites estabelecidos, o que levará ao aumento das necessidades de aquecimento no edifício. O aumento da insuflação de ar no edifício deve-se ao fato de a velocidade do vento nestes meses ser superior aquela que se faz sentir por exemplo nos meses em que as temperaturas exteriores são mais elevadas.

Gráfico 23 - Balanço anual da promoção de ventilação natural no edifício.

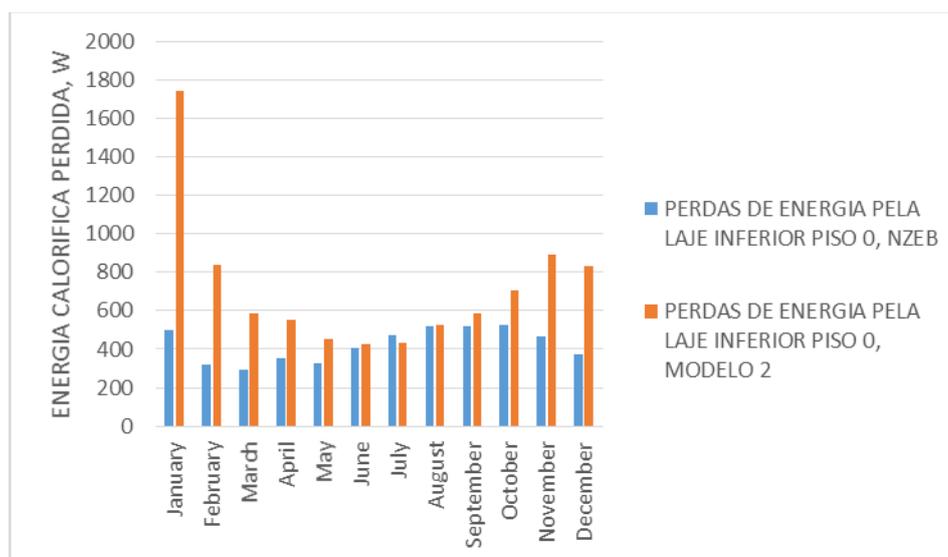


Em termos globais, poderá estimar-se, com a implantação deste modelo de convergência para NZEB, uma redução das necessidades de climatização do edifício em cerca 20%, relativamente ao Modelo 2.

No modelo NZEB as necessidades com a climatização passam a fixar-se em 193975 kWh, sendo que o consumo com este sector no Modelo 2 tinha sido estimado em 243378 kWh.

Outras medidas que se propõem para melhorar o desempenho energético do edifício, consistem na intervenção em elementos das envolventes. As alterações sugeridas na envolvente, permitirão reduzir as perdas de energia calorífica ao longo do ano, bem como promoverão uma melhoria da inércia térmica global do edifício. Como se poderá observar no *gráfico 24*, a colocação de cortiça como isolamento térmico na laje superior do Piso -1, destinado a estacionamento, promoveu uma redução das perdas de energia calorífica. Estima-se que esta redução ronde os 40,8%, relativamente a Laje Superior do Piso -1 no Modelo 2. Esta melhoria permite que não exista uma dissipação de energia dos elementos aquecidos para aqueles que não o são. Sempre que ocorram perdas de energia que levem a que o edifício deixe de apresentar uma temperatura interior dentro do limite estipulado, o sistema de climatização entrará em funcionamento de maneira a que esse mesmo limite venha a ser restabelecido. Assim, esta minimização de perdas fará com que exista uma diminuição das necessidades de funcionamento do sistema de climatização, o que consequente levará a uma poupança significativa de energia.

Gráfico 24 - Perdas de Energia Calorífica em laje intervencionada.

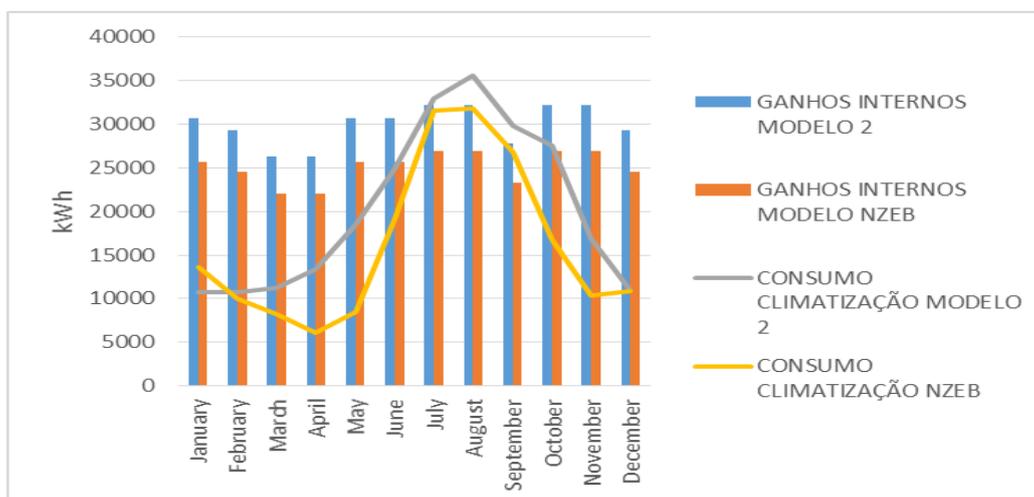


Da avaliação realizada percebeu-se que uma redução dos ganhos internos poderia nos meses em que as temperaturas exteriores são mais elevadas, reduzir o consumo de energia com o arrefecimento do edifício. Esta possibilidade apresenta-se muito relevante visto que as necessidades de climatização do edifício são maioritariamente de arrefecimento. Como não se dispõem neste momento de dados que permitam estimar uma otimização dos equipamentos consumidores de energia elétrica existentes no edifício, estudou-se a possibilidade de otimizar a iluminação interior e exterior. Assim, procedeu-se a um estudo que visou uma substituição das lâmpadas fluorescentes compactas existentes no edifício por uma iluminação em LED. O edifício já dispõe de algumas lâmpadas LED no interior, pelo que não se

procedeu a uma substituição integral. No Anexo IX, encontram-se todas as especificações sobre esta alteração. Embora não contribua para os ganhos internos optou-se por substituir algumas das lâmpadas existentes no exterior, em halogéneo, por forma a reduzir a potência total instalada. Desta forma, a potência total instalada da iluminação no interior passou a fixar-se em 36,3 kW, uma redução de cerca 48,7% quando comparados com a anterior potência total instalada, 70,8 kW. A potência total instalada da iluminação exterior passou a fixar-se em 4,1 kW. Foi considerado no programa de simulação a existência de dissipação de calor proveniente dos *kit's* de adaptação das lâmpadas LED aos aparelhos de iluminação existentes.

Ao avaliar-se o [gráfico 25](#), que compara o diferencial de ganhos térmicos entre o modelo 2 e o modelo NZEB bem como o consumo com a climatização de ambos os modelos, percebe-se que o objetivo de reduzir as necessidades de arrefecimento é atingido. Repare-se, que pelo facto de nos meses de Verão os ganhos internos se apresentarem mais reduzidos no modelo NZEB, leva a que o consumo com a climatização seja inferior comparativamente ao que acontece no Modelo 2. Apesar, disto devido às alterações promovidas nas diversas envolventes que promoverão um aumento da inercia térmica no Modelo NZEB, comparativamente ao Modelo 2, verifica-se que embora exista uma redução dos ganhos internos, existe uma diminuição do consumo anual por parte da climatização.

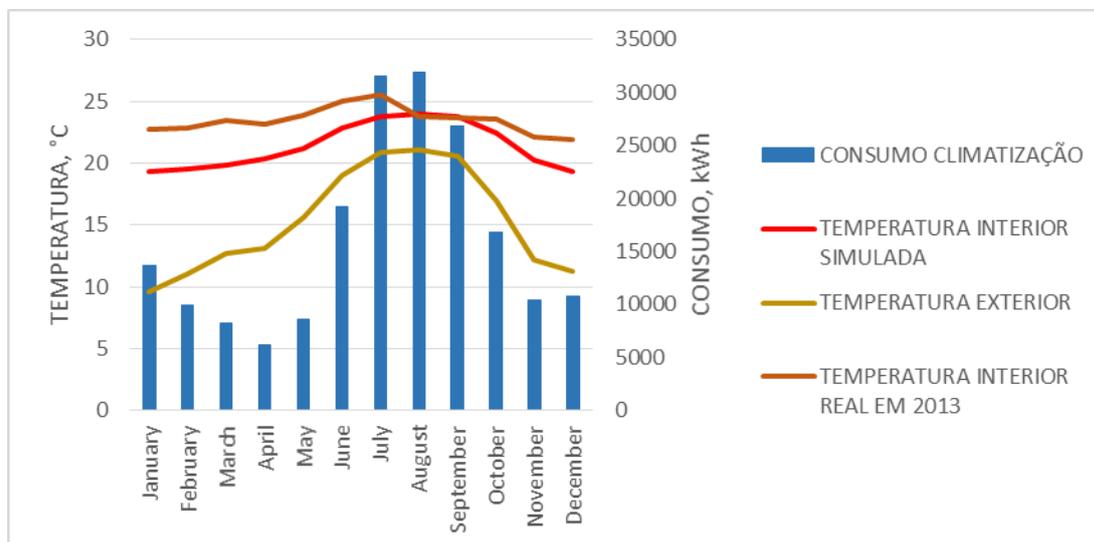
Gráfico 25 - Comparação dos ganhos internos e do consumo com climatização no Modelo 2 e no NZEB.



Neste Modelo NZEB, os meses de maior consumo por parte da climatização continuam a ser os meses compreendidos entre Junho e Setembro. Como se poderá observar no [gráfico 26](#), estes meses de consumo superior continuam a estar afetos aos meses em que as temperaturas exteriores são mais elevadas. A proposta de Modelo NZEB apresentada, continua a permitir que o set-point estipulado para efeitos de simulação se continue a fixar entre os 19°C e os 25°C. Embora, exista uma diferença não

significativa entre a temperatura interior real medida em 2013 e a temperatura interior simulada, o modelo continua a permitir que as condições térmicas interiores sejam aceitáveis.

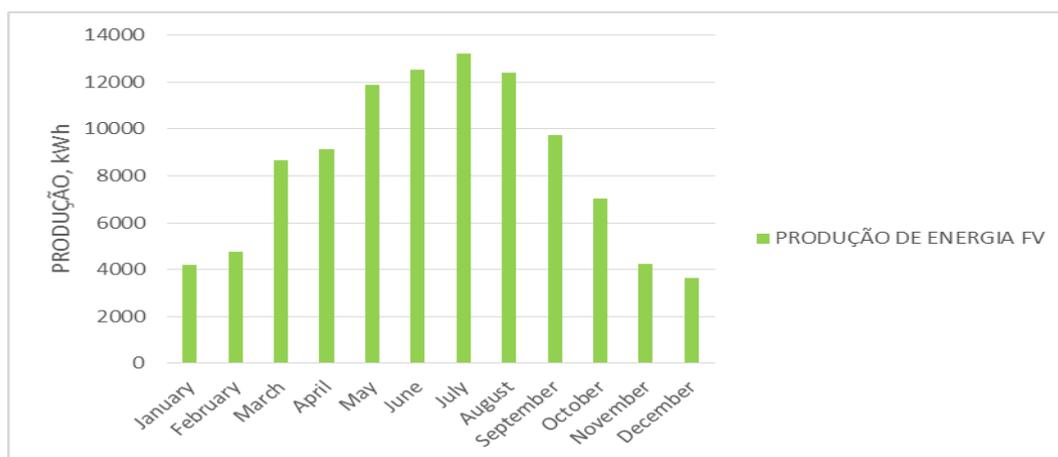
Gráfico 26 - Comparação entre consumo com climatização e temperaturas no Modelo NZEB.



A diferença de temperatura anteriormente enunciada derivará do facto de se ter considerado que o limite térmico inferior seria diferente daquele que se encontra estipulado no edifício.

Como já foi referenciado em capítulos anteriores, será uma imposição legal que os edifícios NZEB produzam a sua própria energia de forma renovável. Desta forma, foi estudada a possibilidade de produzir energia fotovoltaica no edifício. Para tal, recorreu-se ao programa PVsyst como forma de dimensionar um sistema de produção de energia renovável a implementar no edifício. Optou-se pela utilização de painéis fotovoltaicos de Silício Monocristalino com uma potência máxima de 185 W. Estes painéis utilizados são produzidos pela empresa Trina Solar. Foi definido que estes painéis serão implementados na cobertura do edifício, com uma orientação a sul, uma inclinação de 30° e em séries de 11 módulos. Com a finalidade de converter a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, corrente contínua, em energia elétrica que possa vir ser utilizada pelos diversos equipamentos consumidores de energia elétrica existentes no edifício, corrente alternada sinusoidal, definiu-se que, para cada duas séries de 11 módulos existirá um inversor Sunny Boy SB 2000HF-30. A estação de produção de energia projetada contém 440 painéis fotovoltaicos, instalados em 40 séries de 11 módulos, e permite uma produção anual de cerca 101484 kWh, *gráfico 27*. Este valor é o da produção líquida, ou seja, já exclui todas as perdas que ocorrem no sistema de produção. O sistema conduz a uma produção superior mas o facto de existirem diversas perdas de energia associadas, como por exemplo no inversor, faz com que ocorra uma diminuição da energia que poderá ser utilizada. O sistema dimensionado ocupa uma área de 564 m² na cobertura.

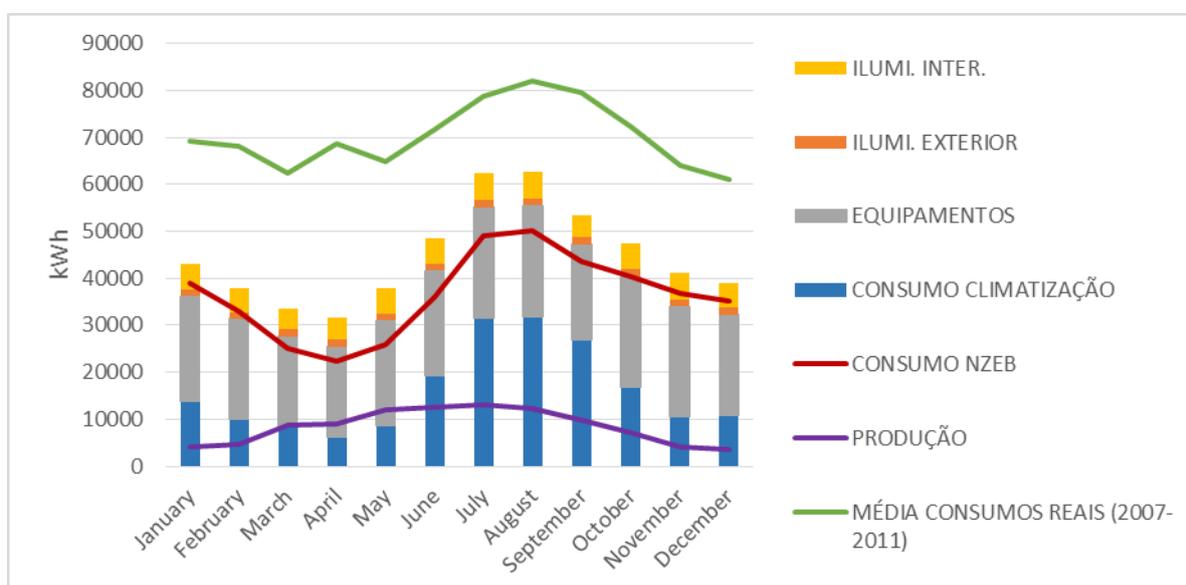
Gráfico 27 - Produção energia elétrica no edifício.



Considerou-se que toda a energia produzida no edifício será utilizada para consumo próprio, não sendo assim esta injetada na rede. Desta forma, o consumo interno do edifício será abastecido pela produção interna sendo que quando esta produção não for suficiente para alimentar o consumo interno, o edifício passará a recorrer a energia da rede. Todas as especificações associadas ao dimensionamento e a todos os materiais considerados para efeitos de produção de energia encontram-se no Anexo VIII.

Com as propostas efetuadas conseguiu-se que o edifício apresente uma redução em termos de consumo global anual, passando este a ser estabelecido em cerca de 46 kWh/m².ano. O edifício com a aplicação das propostas de melhoria definidas, passará assim a apresentar um consumo anual de energia a rondar os 436540 kWh, sendo neste valor contabilizado a contribuição da produção de energia elétrica no edifício, *gráfico 28*. Sem a produção de energia fotovoltaica, o consumo anual do edifício fixa-se nos 538024 kWh. Este balanço anual demonstrado resulta de um estudo efetuado para o horário de funcionamento simplificado das 8:00h as 18:00h.

Gráfico 28 - Balanço anual Modelo NZEB.



Como forma de perceber se as medidas propostas teriam influência numa possível reclassificação de classe energética, procedeu-se à realização de todos os cálculos necessários a uma classificação energética. Segundo a Portaria nº349-D/2013 o desempenho energético de um edifício de comércio e serviços deverá ser aferido pela determinação do seu IEE. Para que se pudesse encontrar a classe energética deste edifício teve de se proceder ao cálculo de um rácio de classe energética (R_{IEE}). Para o cálculo deste rácio estimaram-se os seguintes valores: $IEE_S=38.23 \text{ kWh/m}^2$, $IEE_{REN}= 10.72 \text{ kWh/m}^2$ e $IEE_{ref,s}= 120.68 \text{ kWh/m}^2$. Desta forma, chegou-se a um rácio de classe energética igual a 0,22 o que equivale a uma classe A⁺.

4.4. Análise Financeira

Como forma de realizar uma análise económica à viabilidade das medidas propostas, optou-se por realizar uma avaliação que permitisse especificar os proveitos financeiros desta reabilitação energética. No Anexo IX, poderão ser encontrados de forma muito mais detalhada todos os pormenores sobre a avaliação realizada.

Tendo em consideração o valor de referência de 0,12€/kWh utilizado no subcapítulo 4.1.6. para o cálculo da faturação energética nos últimos 4 anos, estima-se que as medidas propostas contribuam para uma poupança anual de cerca de 36,5 mil euros, em relação ao valor que em 2013 foi despendido em energia elétrica. Como se poderá observar pela *tabela 19*, para a aplicação das medidas propostas será necessário que a entidade detentora do edifício despenda cerca de 390.5 mil euros. Deste total, a solução mais dispendiosa será o sistema de produção de energia, projetado para o edifício. Para a colocação deste sistema no edifício, serão necessários cerca de 220,3 mil euros, o que representa cerca de 56% do valor total que será necessário investir. O valor referido não incluiu eventuais custos futuros com a manutenção do sistema.

Tabela 19 - Custo das alterações sugeridas.

| MEDIDA | VALOR |
|--------------------------------------|---------------------|
| PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA | 220,276.33 € |
| MELHORIA DAS ENVOLVENTES DO EDIFÍCIO | 145,690.40 € |
| ILUMINAÇÃO LED | 24,502.91 € |
| TOTAL | 390,469.64 € |

Outro aspeto relevante será o facto de que o tempo de vida útil do sistema de produção ser de aproximadamente 25 anos. Assim, restarão à empresa cerca de 15 anos durante os quais poderá poupar uma quantia relevante. Estima-se que exista uma quebra da produção de energia em cerca de 9% a partir dos primeiros 10 anos de produção. Esta quebra produtiva acabará por, ao fim de 25 anos, atingir um valor que muito provavelmente rondará os 15% de quebra na produção de energia elétrica. Já a iluminação em LED dispõem de um tempo de vida útil variável em função da lâmpada escolhida e da marca que a fornece. Assim, considera-se que o período de vida útil de cada lâmpada será coincidente com ao período retorno do investimento. Todas as lâmpadas LED são reguláveis.

Segundo o Despacho n.º 15793-L/2013, o apuramento da viabilidade económica deverá ser aferido pelo cálculo do período de retorno simples (PRS) que é dado pela seguinte expressão: $PRS = C/P$, sendo que o valor de (C) corresponde à totalidade dos custos de investimento e o valor de (P) corresponde à poupança anual resultante da aplicação da medida em estudo. Se, se tiver em consideração o valor de referência de 0,12€/kWh já anteriormente referido, estima-se que o PRS deste estudo será igual a 10,7 anos. O valor encontrado vai de encontro à política de investimentos da empresa detentora do edifício, que considera viável o investimento em projetos que apresentem um período de retorno inferior a 11 anos. Segundo este mesmo despacho o preço da energia a considerar para o cálculo do PRS deverá ser igual aquele que é praticado no momento do investimento. Assim, tendo em conta que em 2013 e em 2014 o preço da eletricidade já seria diferente dos 0,12€/kWh anteriormente utilizados, estabelecendo-se perto dos 0,16€/kWh, poderá concluir-se que o período de retorno será ainda menor. Considerando que no momento do investimento o preço da energia se encontrará estabelecido em cerca de 0,16€/kWh, a poupança da fatura de energia elétrica anual neste edifício passará a fixar-se em cerca de 48,75 mil euros, em relação ao valor que em 2013 foi despendido em energia elétrica. Isto fará com que o PRS passe a cifrar-se em cerca de 8 anos.

A medida de melhoria das envolventes expressa na *tabela 19*, contempla a aplicação/substituição do vidro existente por vidro triplo. Na pesquisa realizada a este tipo de material, verificou-se a sua utilização em Portugal não é expressiva não existindo atualmente no mercado informação sobre os preços praticados na comercialização deste tipo de vidro. Assim, atente-se no facto que o valor indicado no Anexo IX, poderá apresentar alguma margem de erro. Apesar disto, considera-se que o valor indicado por unidade poderá representar um bom valor de referência.

5. CONCLUSÃO E PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

5.1. Conclusão

A principal conclusão deste estudo tem que ver com a constatação que, a utilização de uma metodologia sofisticada de modelação conjugada com a promoção de algumas medidas de melhoria do comportamento energético de um edifício de serviços permite uma forte convergência do mesmo para NZEB.

Numa primeira simulação realizada, Modelo 1, que tentou ir ao encontro das especificidades indicadas no certificado energético, verificou-se que as simplificações estipuladas no documento apresentam influência negativa nas condições ambientais interiores bem como a existência de uma discrepância nos consumos mensais. Nesta primeira simulação, verifica-se que, embora se tenha chegado a um valor de consumo anual semelhante aquele que vem estimado no certificado energético, as condições de temperatura interior estipuladas no sistema de gestão técnica centralizado no edifício, não se vêm a verificar em muitas alturas do ano.

Ao tomar-se consciência de que este modelo se poderia tornar redutor para o estudo que se pretendia realizar, iniciou-se uma análise a todos os elementos existentes. Durante esta análise, ao avaliar-se de uma forma detalhada todo o cadastro existente, percebeu-se que muito provavelmente os valores que se encontram estipulados como sendo os coeficientes de transmissão térmica dos diversos elementos que compõem o edifício pudessem estar desajustados, com valores mais elevados do que os reais em alguns elementos. Desta forma, procedeu-se a uma nova simulação, Modelo 2, na qual foram tidas em consideração todas as diferenças encontradas. Através da simulação deste Modelo 2, consegue-se chegar a um estado de otimização, julgando-se ser este o modelo que com maior fiabilidade representará a realidade existente. Em uma primeira simulação deste Modelo 2, para um horário de funcionamento simplificado das 8:00h as 18:00h verificou-se que o consumo anual simulado seria de cerca 71 kWh/m².ano. Este valor calculado apresenta-se muito interessante, pois permitia que se pudesse realizar uma simulação mais complexa que tivesse em consideração o horário real de funcionamento do edifício. Assim, definiu-se um novo horário, igual ao que realmente ocorre no edifício, e procedeu-se a uma nova simulação. Desta forma, chegou-se a um valor de consumo anual que rondava os 81 kWh/m².ano. Este valor apresenta-se muito semelhante ao valor anual que foi consumido em 2010. Este modelo permitiu que as diferenças de consumo mensais fossem diminuídas, tornando-se estas muito menos expressivas. Com este modelo, as questões afetas às variações térmicas interiores deixaram de ser uma realidade sendo que as temperaturas interiores encontradas através das simulações realizadas se aproximam das que realmente foram medidas no edifício no ano de 2013. Verificou-se que tanto para o Modelo 1 como para o Modelo 2, os ganhos internos, decorrentes da natural utilização do edifício, apresentam especial relevância no balanço energético anual do edifício, visto serem um facto chave para a redução do consumo anual de energia com a climatização.

As soluções construtivas inerentes ao edifício fizeram com que não se estipulassem medidas que visassem a alteração das soluções construtivas que perfazem as envolventes exteriores verticais. Ao construir-se um modelo de convergência para NZEB, verificou-se a existência de uma perda de energia significativa entre pisos que são aquecidos e aqueles que não o são. Desta forma, definiu-se que uma das medidas a implementar deveria passar pelo isolamento térmico das lajes. Os resultados obtidos apresentaram uma melhoria muito significativa na capacidade que estes elementos já isolados termicamente demonstram na redução de perdas de energia. Verificou-se a existência de uma grande redução de perdas de calor entre os pisos aquecidos e os não aquecidos que rondará os 40%. A hipótese de implementar no edifício mecanismos que permitam a ocorrência de ventilação natural, apresenta-se como uma grande hipótese de melhoria a implementar. Esta solução permitirá que as necessidades de climatização do modelo NZEB baixem cerca de 20%. Tal como nos outros modelos anteriormente enunciados, os ganhos internos no Modelo NZEB apresentam especial relevância. De forma a reduzir a estes ganhos internos e ao mesmo tempo diminuir a potência dos elementos consumidores de energia elétrica, estudou-se a hipótese de melhorar o sistema de iluminação existente. Esta melhoria foi conseguida através da implementação de um sistema LED. Com a substituição de lâmpadas fluorescentes compactas por LED, conseguiu-se que a potência total instalada da iluminação interior diminuísse cerca de 48,7%. Na iluminação exterior, a redução atingiu os 62%. Para que o edifício possa convergir para a denominação NZEB, projetou-se um sistema de produção de energia renovável por intermédio de painéis solares fotovoltaicos. Estimou-se que este sistema produtivo produza cerca de 101484 kWh anualmente.

As alterações de melhoria propostas e que se encontram devidamente enunciadas no subcapítulo 4.3.3, permitiram que se tenha chegado a um valor de consumo anual que ronda os 46 kWh/m².ano. Este valor representa uma redução de cerca 35% das necessidades de consumo anuais, quando comparado com o valor de consumo anual obtido no horário simplificado no Modelo 2. Ao comparar-se o consumo anual obtido por simulação no Modelo NZEB, com o valor de consumo real que em 2013 foi consumido, 78 kWh/m².ano verificar-se-á que o Modelo NZEB apresenta uma redução de cerca 41%. Após as medidas estipuladas, verifica-se que o edifício passará de uma classe energética B para uma A⁺. Tal facto, revela uma melhoria muito significativa no desempenho energético do edifício. Estima-se que as medidas de melhoria estipuladas tenham um custo de implementação fixado em cerca de 390.5 mil euros. Considerando que em 2014 a preço da energia elétrica em Portugal é de cerca de 0,16€/kWh, estima-se que o período de retorno simples do investimento proposto seja de cerca 8 anos. Por sua vez, estima-se que o montante que se poderá vir a poupar em energia elétrica seja de cerca de 48,75 mil euros anuais, em relação ao valor que em 2013 foi despendido em energia elétrica. Os valores encontrados demonstram uma boa otimização, visto que existe uma ótima relação entre custo/benefício entre as medidas estipuladas. Na *tabela 20*, mostra-se um resumo dos valores encontrados para o consumo anual em cada modelo, sendo estes comparados com o valor de consumo real em 2013.

Não existindo no momento indicações na legislação Portuguesa que indique um valor referencial para o consumo anual por metro quadrado nem a contribuição das energias renováveis, à semelhança do que já se encontra estabelecido em outros países da UE, poderá definir-se que o valor encontrado poderá servir como indicador de referência para outros edifícios de serviços edificados naquela região de Portugal. Neste modelo NZEB, a contribuição das renováveis representa cerca de 19%.

Tabela 20 - Resumo do balanço anual de cada modelo simulado.

| | BALANÇO ANUAL, kWh | BALANÇO ANUAL 2013, kWh/m ² .ano |
|----------------------|--------------------|---|
| MODELO 1 | 815901 | 86 |
| MODELO 2 | 675335 | 71 |
| MODELO NZEB | 436540 | 46 |
| <hr/> | | |
| CONSUMO REAL EM 2013 | 741260 | 78 |

5.2. Propostas de Desenvolvimento Futuro

Atualmente muitos estudos têm vindo a ser realizados sobre os benefícios energéticos que a aplicação de novos tipos de materiais podem trazer ao sector da reabilitação de edifícios. Contudo, neste momento não se dispõem de informações concretas que permitissem a aplicação desses novos materiais neste estudo. A aplicação desses novos elementos poderia por exemplo maximizar a produção de energia elétrica no edifício, o que permitiria assim reduzir o balanço de consumo anual do edifício. Desta forma, definem-se as seguintes propostas de desenvolvimento futuro:

- Aplicação de novos isolamentos térmicos, por exemplo PCM, em locais específicos que permitam uma melhoria significativa do desempenho energético do edifício;
- Substituição de equipamentos elétricos existentes no edifício, como por exemplo desktop, por outros de funcionalidades equivalentes mas que apresentem uma melhor classe energética. Estes elementos são responsáveis por uma grande parte do consumo de energia elétrica do edifício. A substituição de alguns desses equipamentos por outros que apresentem um desempenho idêntico mas um consumo menor permitirá que o consumo anual baixe significativamente. Outro fator é o facto que estes equipamentos serem responsáveis por grande parte dos ganhos internos no edifício. A otimização sugerida permitirá que nos meses de Verão em que a temperatura exterior é mais elevada exista uma redução do consumo efetuado pelos aparelhos de climatização existentes;

- Substituição dos elementos mecânicos que perfazem o sistema de climatização existente, por outros que apresentem índices de eficiência energética superiores;
- Visto apresentar-se como medida possível uma otimização dos equipamentos elétricos existentes que resultará numa significativa redução dos ganhos internos, sugere-se o estudo de medidas passivas, como por exemplo o desenvolvimento de uma parede de trombe nas fachadas que se encontram a Norte que permitirá compensar a redução dos ganhos internos nos meses onde as temperaturas exteriores não são tão elevadas e assim permitirá que não seja necessário recorrer aos sistema de climatização mecânica permitindo uma poupança de energia;
- Estudo da possibilidade de produção de energia elétrica através de outras tecnologias de produção renovável, como por exemplo a aplicação de miniturbinas eólicas no edifício;
- Produção de energia através de painéis fotovoltaicos que contenham nanotecnologia integrada;
- Implementação de sistemas de produção de energia fotovoltaica nas fachadas do edifício que se encontram viradas a sul, maximizando assim a produção de energia elétrica já sugerida no atual estudo realizado;
- Estudar a viabilidade de utilizar nos sistemas de produção de energia elétrica já sugeridos um sistema de Tracking que permite a exista um aumento na produção de energia elétrica por parte dos painéis existentes;
- Estudar a viabilidade de implementação de um sistema híbrido de iluminação, isto é a instalação de um sistema automático gerido por *software* dedicado, que mede o nível de iluminância no interior do edifício e liga o sistema de iluminação quando necessário Esta solução permitirá que exista uma maximização da obtenção da iluminação natural do edifício. Desta forma, estima-se que possa vir a ser possível uma redução do consumo anual com a iluminação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INCI – Instituto da Construção e do Imobiliário. (2013, Novembro). *Relatório Semestral da Construção em Portugal no 1º Semestre de 2013*. Recuperado em Abril, 2014 do http://www.inci.pt/Portugues/inci/EstudosRelatoriosSectoriais/EstudosRelatorios%20Sectoriais/RelConst_2013.pdf.
- [2] INE – Instituto Nacional de Estatística. (Edição de 2011). *Estatísticas da Construção e Habitação – 2010*. Recuperado em Abril, 2014, do http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=123674274&PUBLICACOESmodo=2.
- [3] INE – Instituto Nacional de Estatística. (2013, Abril). *Reabilitação do Parque Habitacional – 2013*. Recuperado em Abril, 2014, do http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=157040557&DESTAQUESmodo=2.
- [4] Directorate-General for Energy. (2014, Fevereiro). *Technical Guidance: Financing the energy renovation of buildings with Cohesion Policy funding, 2014*. Recuperado em Abril, 2014, do http://ec.europa.eu/energy/efficiency/studies/doc/2014_guidance_energy_renovation_buildings.pdf.
- [5] “Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 Maio de 2010”
- [6] “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei nº 40/90 de 6 Fevereiro”
- [7] “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Decreto-Lei nº 118/98 de 7 Maio”
- [8] “Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 Abril”
- [9] “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 Abril
- [10] “Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 Agosto”
- [11] WILSON, M. A energia. Rio de Janeiro: José Olympio, 1968. PAG 200.
- [12] International Energy Agency. (2013, Junho). *World Energy Outlook Special Report: Redrawing the Energy-Climate Map*. Recuperado em Abril, 2014, do http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO_Special_Report_2013_Redrawing_the_Energy_Climate_Map.pdf.
- [13] Energy Information Administration. (2013, Julho). *International Energy Outlook 2013: With Projections to 2040*. Recuperado em Abril, 2014, do [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf).

[14] Eurostat. (2012, Agosto). *Produção e Importação de Energia*. Recuperado em Abril, 2014, do http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_production_and_imports/pt.

[15] DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia. *Principais Indicadores Energéticos em Portugal*. Recuperado em Abril, 2014, do <http://www.dgeg.pt/>.

[16] “Resolução do Conselho de Ministros nº20/2013”.

[17] “Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios”.

[18] “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 Abril de 2006”.

[19] QAI – Análises à Qualidade do Ar Interior, S.A. Recuperado em Abril, 2014, do <http://www.qai.pt/>.

[20] ADENE- Agência para a Energia. (2012, Junho). *Net Zero-Energy Buildings Conference: EPBD (recast) e as suas implicações para Portugal*. Recuperado em Abril, 2014, do [http://www.ineg.pt/download/5664/EPBD%20\(recast\)%20e%20as%20implica%20E7%F5es%20para%20Portugal%20-%20Paulo%20Santos.pdf](http://www.ineg.pt/download/5664/EPBD%20(recast)%20e%20as%20implica%20E7%F5es%20para%20Portugal%20-%20Paulo%20Santos.pdf).

[21] Certificação Energética e Ar Interior. *Guia Prático do Certificado Energético da Habitação*. Recuperado em Abril, 2014, do <http://www2.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/GuiaCE.pdf>.

[22]

Santos, P. Baptista, N. *Desempenho energético dos edifícios – O impacto dos regulamentos na construção e as oportunidades de melhoria do parque habitacional*.

Recuperado em Abril, 2014, do http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Documents/IISBE_paper_11.pdf.

[23] Jornadas de Climatização - Ordem dos Engenheiros. (2013, Outubro). *ASHRAE – Portugal Chapter*. Recuperado em Abril, 2014, do http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/ap_ashraeportugalchapter2013_2014_3930209935265328aceffe.pdf.

[24] ASHRAE Journal`s. (2010, Junho). *Guide to Standard 189.1 - Balancing Environmental Responsibility, Resource Efficiency & Occupant Comfort*. Recuperado em Abril, 2014, do https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/Publications/AJSupplement_189-1-1-.pdf.

[25] ANSI/ASHRAE/USGBC/IES Standard 189.1-2011, “Standard for the Design of High-Performance Green Buildings – Except Low-Rise Residential Buildings”.

- [26] **Energy- Efficiency Standards and Green Buildings Certification Systems Used the Department of Defense for Military and Major Renovations (2013)**. Recuperado em Abril, 2014, do <http://books.google.pt/books?id=eA91AgAAQBAJ&pg=PA125&lpg=PA125&dq=ASHRAE/ANSI/USGBC+189.1&source=bl&ots=MLldyZw40j&sig=l1evWRiWE7D9UoTSiV9txHvkfZU&hl=pt-PT&sa=X&ei=wrApU7-3JeeY1AWZ9oGYAg&ved=0CEwQ6AEwAzgK#v=onepage&q=ASHRAE%2FANSI%2FUSGBC%20189.1&f=false>.
- [27] ASHRAE Organization. **Standards for the Design of High Performance, Green Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Recuperado em Abril, 2014, do <https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/Publications/189-1-FAQ-4-26-12.pdf>.
- [28] Passive-On project. (2007, Julho). **A norma PassivHaus em Climas Quentes da Europa: Diretrizes de projeto para casas confortáveis de baixo consumo energético**. Recuperado em Abril, 2014, do <http://www.passive-on.org/CD/1.%20Technical%20Guidelines/Part%201/Part%201%20-%20Portugues.pdf>.
- [29] PassivHaus Institut. **PassivHaus Primer**. Recuperado em Abril, 2014, do <http://www.passivebuildings.ca/resources/Documents/BRE-PassivHaus-Primer.pdf>.
- [30] PassivHaus.org. Recuperado em Abril, 2014, do <http://www.passivhaus.org.uk/page.jsp?id=17>.
- [31] Ecofys, Politecnico di Milano, University of Wuppertal. (2013, Fevereiro). **Towards Nearly Zero Energy Buildings: Definition of common principles under the EPBD**. Recuperado em Abril, 2014, do http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/doc/nzeb_full_report.pdf.
- [32] “Paul Hodson, DG ENER, Speaking at Environmental Finance Energy Efficiency Financing Conference, 19 March 2013”.
- [33] Ascenso, R. **O que vai mudar com os NZEB**, em Tema de Capa. Recuperado em Abril, 2014, do <http://www.edificioseenergia.pt/media/53562/tcapa%201.pdf>.
- [34] Buso, T. Corgnati, S. Derjanecz, A. Kurnitski, J. Litiu, A. **NZEB definitions in Europe**. REHVA-Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations. Recuperado em Abril, 2014, do <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2014/022014/nzeb-definitions-in-europe/?L=0%2527>.
- [35] European Commission Energy Efficiency. (2012, Setembro). **UK National Plan – Increasing the number of Nearly Zero Energy Buildings, September**. Recuperado em Abril, 2014, do http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/implementation_en.htm.
- [36] “Portaria nº66/2014, de 12 de Março”
- [37] ”Decreto-Lei nº58/2013, de 20 de Agosto”

- [38] “Portaria nº349-A/2013, de 29 Novembro”
- [39] “Portaria nº349-B/2013, de 29 Novembro”
- [40] “Portaria nº349-D/2013, de 29 Novembro, Anexo I”
- [41] “Despacho 15793-J/2013”
- [42] Gonçalves, H. Graça; J.M. *Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal*. Recuperado em Maio, 2014, do <http://www.lneg.pt/download/4117/Conceitos%20Bioclim%C3%A1ticos.pdf>.
- [43] Sadineni,S. Madala,S. Boehm,R. 2011. Passive building energy savings: A review of building envelope componentes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (8): 3617-3631.
- [44] Lucas, J.A.C. 2004. *ITE 24- Classificação e Descrição Geral de Revestimentos para Paredes de Alvenaria ou de Betão*. Lisboa. LNEC.
- [45] Pérez, G. Rincón, L. Vila, A. González, J.M. Cabeza, L.F. 2011. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conversion and Management*, 52 (4):1861-1867.
- [46] Ascione, F. Bianco, N. Rossi, F. Turni, G. Vanoli, P. 2013. Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning?. *Applied Energy*, 104: 845-859.
- [47] Perini, K. Rosasco, P. 2013. Cost-benefit analysis for green façades and living Wall systems. *Building and Environment*, 70: 110-121.
- [48] Lopes, J.G. 1994. *ITE 34 – Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço*. Lisboa. LNEC.
- [49] Costa, L. M. L. 2010. *Espaços verdes sobre cobertura, uma abordagem estética e ética*. Dissertação final de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- [50] Santos, C. A. P. Matias, L. 2006. *ITE 50- Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Lisboa. LNEC.
- [51] Niachou, A. Papakonstantinou, K. Santamouris, M. Tsangrassoulis, A. Mihalakakou, G. 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33 (7): 719-729.
- [52] Jaffal, I. Ouldboukhitine, S. Belarbi, R. 2012. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable energy*, 43: 157-164.
- [53] Roof-Greening Guideline, “ Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green-Roof Sites”, January 2002.

- [54] Kosareo, L. Ries, R. 2007. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and Environment*, 42 (7): 2606-2613.
- [55] Niachou et al, A. 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33 (7): 719-729.
- [56] Castleton, H. F. Stovin, V. Beck, S. B.M. Davison. J. B. 2010. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42 (10): 1582-1591.
- [57] Aldawoud, A. 2013. Conventional fixed shading devices in comparison to an electrochromic glazing system in hot, dry climate. *Energy and Buildings*, 59: 104-110.
- [58] Freewan. A. A. Y. 2014. Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions. *Solar Energy*, 102: 14-30.
- [59] A thermie programme action, “Daylighting in Buildings”, 1994, [Online]. Disponível: http://erg.ucd.ie/UCDERG/pdfs/mb_daylighting_in_buildings.pdf. [05/2014].
- [60] Palhinha, M. S. J. 2009. *Sistemas de sombreamento em arquitetura: Proposta de um novo método de concepção e dimensionamento*. Dissertação final de mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- [61] GreenSavers. (2014, Março). *Sistema de sombra cinético confere nova vida a fachadas monótonas*. Recuperado em Maio, 2014, do <http://greensavers.sapo.pt/2014/03/25/sistema-de-sombra-cinetico-confere-nova-vida-a-fachadas-monotonas-com-fotos/>.
- [62] Granqvist, C. G. Azens, A. Heszler, P. Kish, L. B. Osterlund, L. 2007. Nanomaterials for benign indoor environments: Electrochromics for “smart windows”, sensors for air quality, and photo-catalysts for air cleaning. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(4): 355-365.
- [63] Khudhair. A. M. Farid, M. M. 2004. A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 45 (2): 263-275.
- [64] Tyagi, V. V. Buddhi, D. 2007. PCM thermal storage in buildings: A state of art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (6):1146-1166.
- [65] Sage-Lauck, J. S. Sailor, D. J. Evaluation of Phase Change Materials for Improving Thermal Comfort in a Super-Insulated Residential Building. *Energy and Buildings*.
- [66] Santos, S. D. P. 2009. *Sistemas Avançados de Iluminação Natural: Estudo Comparativo de Vidros Prismáticos, Laser-Cut Panels e Channel Panels*. Dissertação final de mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

- [67] Ullah, I. Shin, S. 2014. Highly concentrated optical fiber-based daylighting systems for multi-floor office buildings. *Energy and Buildings*, 72: 246-261.
- [68] Han, H. J. Jeon, Y. I. Lim, S. H. Kim, W. W. Chen, K. 2010. New developments in illumination, heating and cooling technologies for energy-efficient buildings. *Energy*, 35(6): 2647-2653.
- [69] Morrissey, J. Moore, T. Horne, R.E. Affordable passive solar design in a temperate climate: Na experimente in residential building orientation. *Renewable Energy*, 36 (2): 568-577.
- [70] Mendonça, P. 2005. *Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Guimarães.
- [71] Chan, H. Riffat, S. B. Zhu, J. 2010. Review of passive solar heating and cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2): 781-789.
- [72] Peneda, M. A. A. 2013. *Recomendações para o projeto de sistemas de ventilação mista em edifícios de habitação*. Dissertação final de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [73] Amer, E. H. 2006. Passive options for solar cooling of buildings in arid areas. *Energy*, 31 (8-9): 1332-1344.
- [74] Cidade Solar. Recuperado em Maio, 2014, do <http://www.cidadesolar.pt/energiasolar.html>.
- [75] Ramos, C. Ventura, J. E. 1999. *A energia solar em Portugal: Potencialidades e diferenciação regional*. Colibri e Associação Portuguesa de Geógrafos, Lisboa.
- [76] Pereira, M. F. C. 2009. *Estimativa da Produção de Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edifícios*. Dissertação final de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [77] Portal das Energias Renováveis. *Coletores Solares Térmicos*. Recuperado em Maio, 2014, do http://www.energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=41&ID_area=8&ID_sub_area=26.
- [78] Faria, R. J. O. C. 2010. *Estudo técnico relativo à instalação de micro eólicas em edifícios urbanos para microprodução de energia elétrica*. Dissertação final de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.
- [79] Ibelli, G. 2013. *Avaliação do potencial eólico em meio urbano: Aplicação a um caso de estudo em Telheiras*. Dissertação final de mestrado, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Lisboa.
- [80] SolarWaters Eficiência Energética. *Microgeração – Fotovoltaico*. Recuperado em Maio, 2014, do <http://www.solarwaters.pt/microgeracao-fotovoltaico>. [

[81] Lima, J. A. S. 2012. **Reabilitação de Edifícios de Serviços. Casos de Estudo: Edifício Sede de Escritórios em Coimbra; Centro de Atendimento Permanente em Seia.** Dissertação final de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.

[82] Santos, L. M. 2012. **Avaliação do potencial de arrefecimento passivo de um edifício de Serviços.** Dissertação final de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.

[83] U.S. Department of Energy. **EnergyPlus Energy Simulation Software.** Recuperado em Julho, 2014, do <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.

7. ANEXOS

ANEXO I – PLANTAS DO EDIFÍCIO

ANEXO II – CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

ANEXO III – CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS EXISTENTES

Produção de energia térmica

| | |
|--|------------------------|
| Tipo de equipamento / sistema | Chiller |
| Quantidade | 1 |
| Potência de arrefecimento | 173 kW |
| Evidência(s) ou fonte(s) utilizada(s) para caracterização do equipamento | CE |
| Fonte de energia | Energia Elétrica |
| EER | 2,4 |
| Estado do Equipamento | Estado Geral Bom |
| Acesso | Possível |
| | |
| Tipo de equipamento / sistema | Chiller/Bomba de Calor |
| Quantidade | 1 |
| Potência de arrefecimento | 120 kW |
| Evidência(s) ou fonte(s) utilizada(s) para caracterização do equipamento | CE |
| Fonte de energia | Energia Elétrica |
| EER | 2,45 |
| Potência de aquecimento | 137 |
| Evidência(s) ou fonte(s) utilizada(s) para caracterização do equipamento | CE |
| Fonte de energia | Energia Elétrica |
| COP | 2,98 |
| Estado do Equipamento | Estado Geral Bom |
| Acesso | Possível |

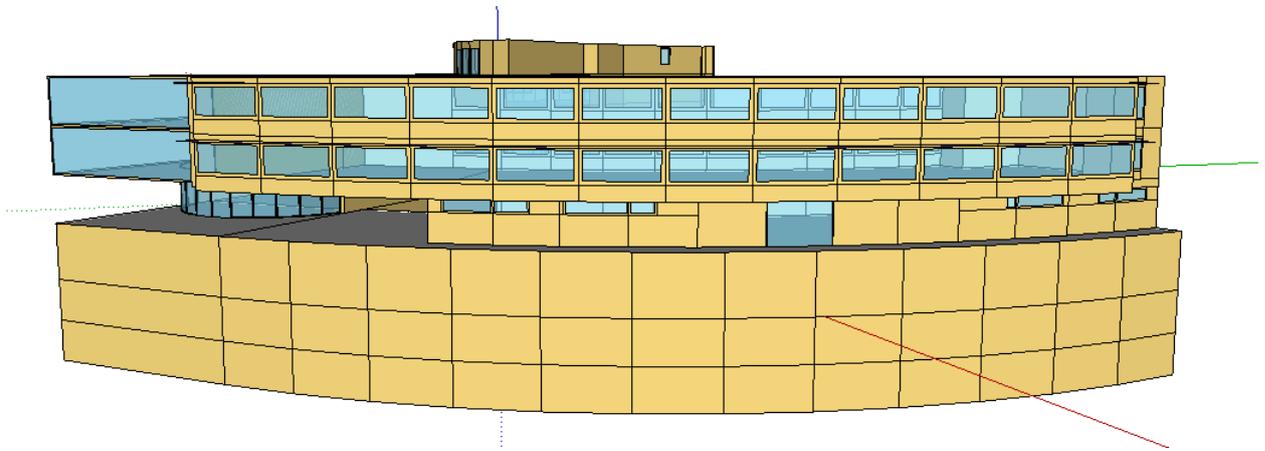
| Equipamento | Quantidade | Potência, kW |
|--------------------------|-------------------|----------------------------|
| Elevadores | 6 | 4 com 5,2kW e 2 com 6,7 kW |
| Computadores | 155 | 0.3 |
| Impressoras | 50 | 0.18 |
| Destruidor de Papel | 1 | 0.5 |
| Digitalizador | 6 | 0.5 |
| Fax | 6 | 0.3 |
| Projetores | 6 | 0.2 |
| Fotocopiadoras | 9 | 0.5 |
| Televisões | 10 | 0.2 |
| Microondas | 3 | 1 |
| Balcões Frigoríficos | 3 | 0.5 |
| Máquinas Café | 2 | 1 |
| Moinhos de Café | 2 | 0.18 |
| Arca Frigorífica | 1 | 0.8 |
| Forno Elétrico | 1 | 2.5 |
| Placa Elétrica | 1 | 3 |
| Grelhador | 1 | 1.6 |
| Exaustores | 1 | 0.25 |
| Maquina Lavar Louça | 1 | 3 |
| Maquinas de Água | 4 | 0.2 |
| Maquinas de Vending | 3 | 0.32 |
| Secadores de Mãos | 9 | 2.45 |
| Caixa Multibanco | 1 | 0.2 |
| Ventiladores de Extração | 8 | 16.7 |

| | UTA A | UTA B | UTA A2 | UTA |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---------------------|
| Localização | Cobertura | Cobertura | Sala | Piso -1 |
| Zona | Piso 1, 2, 3 e 4 (corpo A) | Piso 1, 2, 3 e 4 (corpo B) | Hall do Auditório (piso 0) e Piso 1, 2, | Auditório Piso 0 |
| Marca | GEA | GEA | GEA | GEA |
| Tipo/Nº Série | ATP25.20 | ATP20.20 | ATP20.15 | ATP20.15 |
| Caudal de ar insuflado | m3 19000 | 14300 | 8280 | 7200 |
| Caudal de ar extraído | m3 19000 | 14300 | 8280 | 7200 |
| Pressão total insuflação | Pa 1540 | 1580 | 718 | 1044 |
| Pressão total extracção | Pa 785 | 876 | 310 | 6060 |
| Capacidade de | k 58 | 43,2 | 25 | 32,6 |
| Capacidade de | k 104 | 77,7 | 77,4 | 55,4 |
| Potência de recuperação | k 49,6 | 38,2 | 0 | 29,5 |
| Potência do motor | k 15 | 11 | 3 | 4 |
| Potência do motor | k 7,5 | 7,5 | 1,5 | 2,2 |
| Velocidade de rotação | mi 1460 | 1460 | 1420 | 1440 |
| Velocidade de rotação | mi 1455 | 1455 | 1410 | 1420 |
| Tipo de recuperador de | Roda | Roda | - | Roda |
| Ventiladores com variação | Sim | Sim | Sim | Sim |

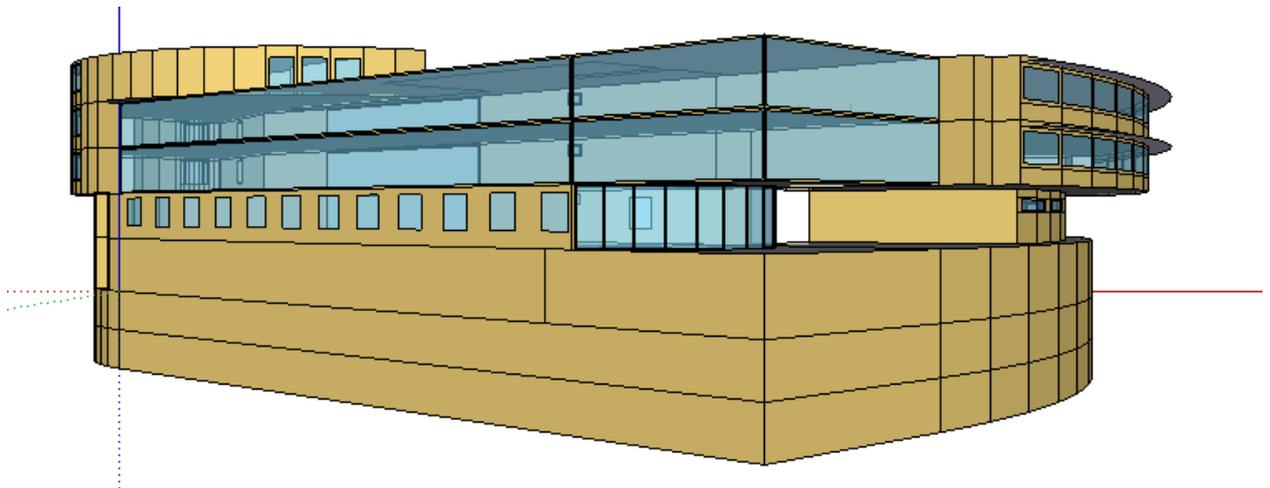
| | Split | Split | Split |
|---------------------------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|
| Marca | Mitsubishi | Mitsubishi | Sanyo |
| Quantidade | 5 | 1 | 1 |
| Modelo unidade interior | PCA-P3GA | PKA- | SAP- |
| Modelo unidade exterior | | | |
| Localização da unidade interior | 2 Bastidores 2 Central 1 UPS | Bastidores | Sala de Quadros eléctricos |
| Piso | Piso 0 | Piso 2 | Piso 4 |
| Capacidade de | k 7,45 | 4,45 | 2,50 |
| Potência eléctrica | k 3,37 | 1,70 | 0,78 |
| EER | 9,15 | 4,95 | 3,30 |
| Capacidade de | k 3,48 | 1,79 | 0,92 |
| Potência eléctrica | k 2,63 | 2,77 | 3,61 |
| COP | | | |
| Tipo de refrigerante | R407C | R407C | R407C |

ANEXO IV – MODELO TRIDIMENSIONAL DESENVOLVIDO

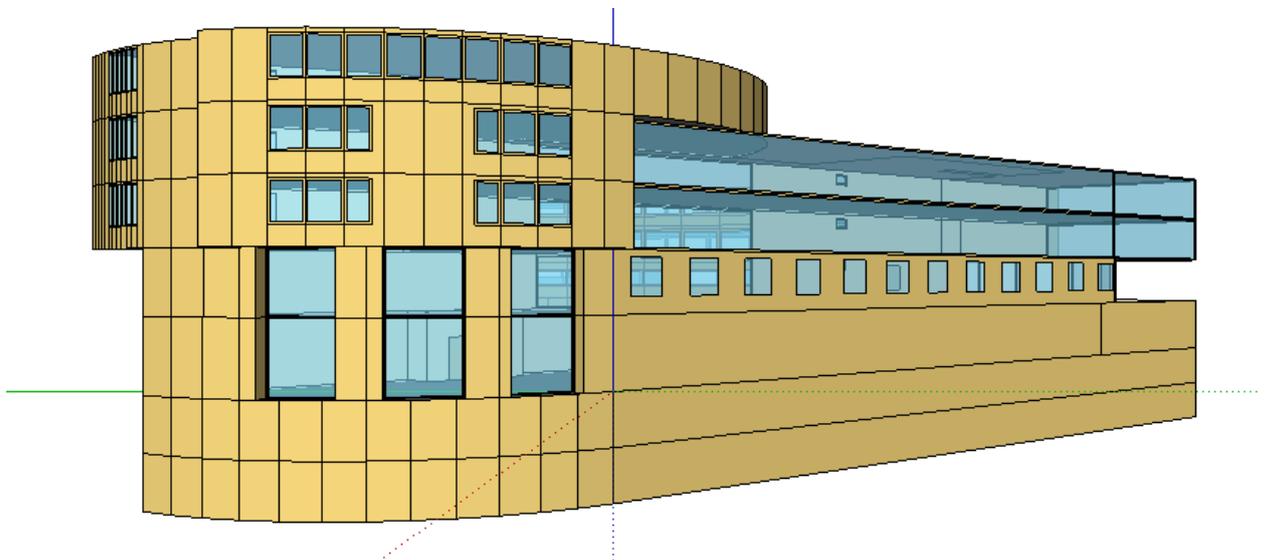
FACHADA SUL



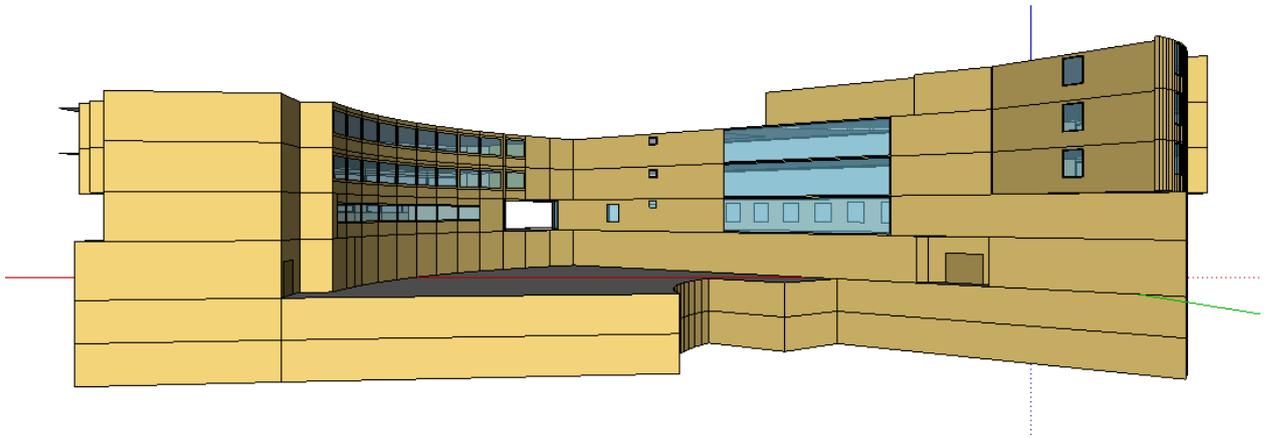
FACHADA POENTE



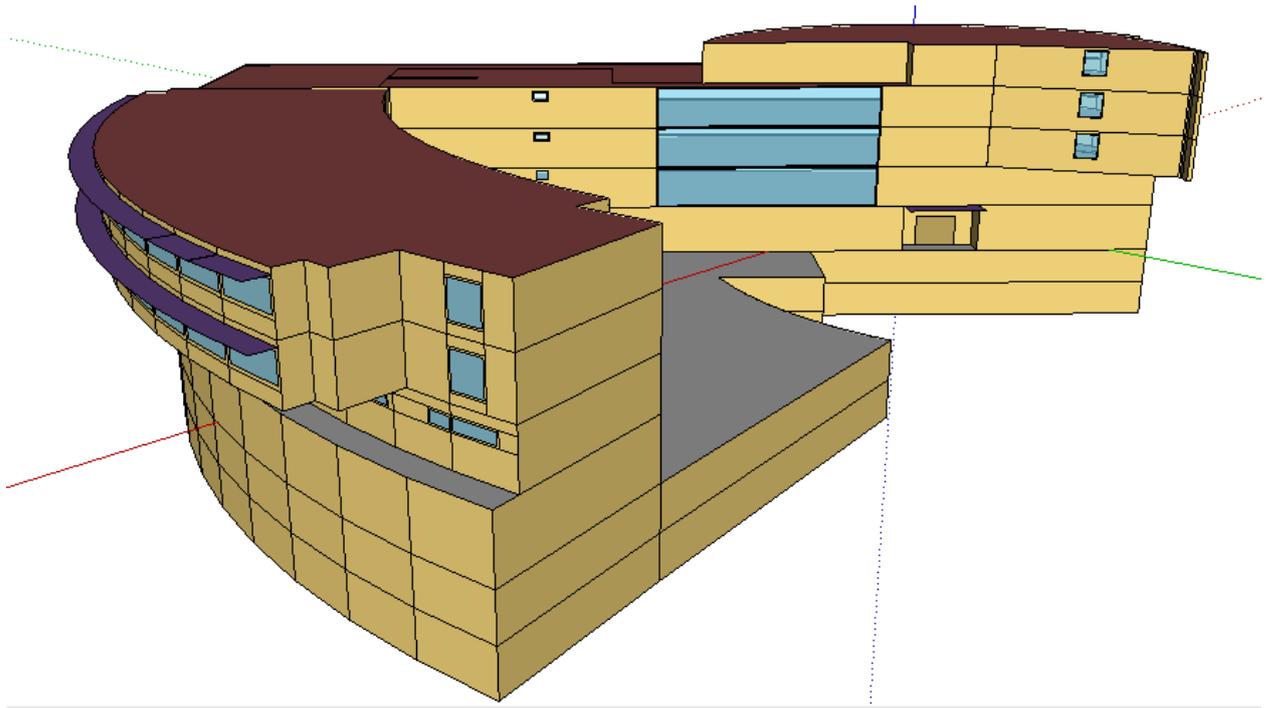
FACHADA POENTE



FACHADA NORTE E NASCENTE



COBERTURA



ANEXO V – DADOS DA MODELAÇÃO 1

| DATA | TEMPERATURA AR EXTERIOR [°C] |
|-----------|------------------------------|
| JANEIRO | 9.59 |
| FEVEREIRO | 11.01 |
| MARÇO | 12.72 |
| ABRIL | 13.12 |
| MAIO | 15.59 |
| JUNHO | 18.98 |
| JULHO | 20.84 |
| AGOSTO | 21.05 |
| SETEMBRO | 20.60 |
| OUTUBRO | 16.90 |
| NOVEMBRO | 12.20 |
| DEZEMBRO | 11.234 |

| DATA | TEMPERATURA INTERIOR REAL EM 2013(MEDIDA) [°C] |
|-----------|---|
| JANEIRO | 22.7 |
| FEVEREIRO | 22.8 |
| MARÇO | 23.5 |
| ABRIL | 23.2 |
| MAIO | 23.9 |
| JUNHO | 25 |
| JULHO | 25.5 |
| AGOSTO | 23.8 |
| SETEMBRO | 23.7 |
| OUTUBRO | 23.6 |
| NOVEMBRO | 22.1 |
| DEZEMBRO | 21.9 |

| DATA | TEMPERATURA AR INTERIOR SIMULADA[°C] |
|-----------|--------------------------------------|
| JANEIRO | 19.465 |
| FEVEREIRO | 20.802 |
| MARÇO | 21.869 |
| ABRIL | 22.828 |
| MAIO | 24.818 |
| JUNHO | 27.862 |
| JULHO | 29.240 |
| AGOSTO | 29.052 |
| SETEMBRO | 27.821 |
| OUTUBRO | 25.162 |
| NOVEMBRO | 21.047 |
| DEZEMBRO | 19.646 |

| DATA | CONSUMO DA ILUMINAÇÃO INTERIOR [J] | kWh |
|-----------|------------------------------------|----------|
| JANEIRO | 37202760000 | 10334.1 |
| FEVEREIRO | 35431200000 | 9842 |
| MARÇO | 31888080000 | 8857.8 |
| ABRIL | 31888080000 | 8857.8 |
| MAIO | 37202760000 | 10334.1 |
| JUNHO | 37202760000 | 10334.1 |
| JULHO | 38974320000 | 10826.2 |
| AGOSTO | 38974320000 | 10826.2 |
| SETEMBRO | 33659640000 | 9349.9 |
| OUTUBRO | 38974320000 | 10826.2 |
| NOVEMBRO | 38974320000 | 10826.2 |
| DEZEMBRO | 35431200000 | 9842 |
| TOTAL | 4.35804E+11 | 121056.6 |

| DATA | CONSUMO DOS EQUIPAMENTOS [J] | kWh |
|-----------|------------------------------|---------------|
| JANEIRO | 81007819171 | 22502.172 |
| FEVEREIRO | 77150303972 | 21430.639 |
| MARÇO | 69435273575 | 19287.576 |
| ABRIL | 69435273575 | 19287.576 |
| MAIO | 81007819171 | 22502.172 |
| JUNHO | 81007819171 | 22502.172 |
| JULHO | 84865334370 | 23573.704 |
| AGOSTO | 84865334370 | 23573.704 |
| SETEMBRO | 73292788774 | 20359.108 |
| OUTUBRO | 84865334370 | 23573.704 |
| NOVEMBRO | 84865334370 | 23573.704 |
| DEZEMBRO | 77150303972 | 21430.640 |
| TOTAL | 9.48949E+11 | 263.596,94444 |

| DATA | CONSUMO ILUMINAÇÃO EXTERIOR [J] | kWh |
|--------------|---------------------------------|-------------------|
| JANEIRO | 14463360000 | 4017.6 |
| FEVEREIRO | 13063680000 | 3628.8 |
| MARÇO | 14463360000 | 4017.6 |
| ABRIL | 13996800000 | 3888 |
| MAIO | 14463360000 | 4017.6 |
| JUNHO | 13996800000 | 3888 |
| JULHO | 14463360000 | 4017.6 |
| AGOSTO | 14463360000 | 4017.6 |
| SETEMBRO | 13996800000 | 3888 |
| OUTUBRO | 14463360000 | 4017.6 |
| NOVEMBRO | 13996800000 | 3888 |
| DEZEMBRO | 14463360000 | 4017.6 |
| TOTAL | 1.70294E+11 | 47.303,889 |

| CONSUMO DO SISTEMA CLIMATIZAÇÃO | | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| DATA | AQUECIMENTO [J] | ARREFECIMENTO [J] | TOTAL [J] | kWh |
| JANEIRO | 4599041176 | 4.90E+10 | 5.36E+10 | 14887.367 |
| FEVEREIRO | 30204761966 | 55367786692 | 8.56E+10 | 23770.152 |
| MARÇO | 25050119861 | 70934996950 | 9.60E+10 | 26662.532 |
| ABRIL | 18651501336 | 76907259939 | 9.56E+10 | 26544.100 |
| MAIO | 10723078327 | 1.13181E+11 | 1.24E+11 | 34417.798 |
| JUNHO | 1625543799 | 1.48759E+11 | 1.50E+11 | 41773.436 |
| JULHO | 4.61E+08 | 1.76761E+11 | 1.77E+11 | 49228.415 |
| AGOSTO | 1121619951 | 1.72455E+11 | 1.74E+11 | 48215.677 |
| SETEMBRO | 4.68E+08 | 1.38525E+11 | 1.39E+11 | 38609.088 |
| OUTUBRO | 5750007538 | 1.16758E+11 | 1.23E+11 | 34029.998 |
| NOVEMBRO | 30220990532 | 59188262369 | 8.94E+10 | 24835.904 |
| DEZEMBRO | 31426014152 | 44062300602 | 7.55E+10 | 20968.976 |
| TOTAL | 1.60302E+11 | 1.22189E+12 | 1.38E+12 | 383943.4454 |

| GANHOS INTERNOS NO EDIFÍCIO | | | | |
|------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|----------|
| DATA | FUNCIONARIOS [kWh] | ILUMINAÇÃO [kWh] | EQUIPAMENTOS [kWh] | TOTAL |
| JANEIRO | 19.257 | 10334.1 | 20364.46565 | 30717.82 |
| FEVEREIRO | 18.34 | 9842 | 19394.72919 | 29255.07 |
| MARÇO | 16.506 | 8857.8 | 17455.25627 | 26329.56 |
| ABRIL | 16.506 | 8857.8 | 17455.25627 | 26329.56 |
| MAIO | 19.257 | 10334.1 | 20364.46565 | 30717.82 |
| JUNHO | 19.257 | 10334.1 | 20364.46565 | 30717.82 |
| JULHO | 20.174 | 10826.2 | 21334.20211 | 32180.58 |
| AGOSTO | 20.174 | 10826.2 | 21334.20211 | 32180.58 |
| SETEMBRO | 17.423 | 9349.9 | 18424.99273 | 27792.32 |
| OUTUBRO | 20.174 | 10826.2 | 21334.20211 | 32180.58 |
| NOVEMBRO | 20.174 | 10826.2 | 21334.20211 | 32180.58 |
| DEZEMBRO | 18.34 | 9842 | 19394.72919 | 29255.07 |

ANEXO VI – DADOS DA MODELAÇÃO 2

| PROPRIEDADES DOS MATERIAIS | | | | |
|----------------------------|---------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|
| MATERIAL | ESPESSURA [m] | CONDUTIVIDADE [W/m-K] | DENSIDADE [Kg/m ³] | CALOR ESPECIFICO [J/Kg-K] |
| BETÃO ARMADO | 0.5 | 1.75 | 2400 | 1005 |
| CAMADA FORMA | 0.05 | 1.15 | 2000 | 880 |
| MEMBRANA BETUMINOSA | 0.02 | 0.23 | 1100 | 1460 |
| XPS | 0.04 | 0.035 | 40 | 1420 |
| REBOCO TRADICIONAL | 0.03 | 1.15 | 2000 | 880 |
| ALVENARIA 11 | 0.11 | 1 | 1700 | 920 |
| ALVENARIA 20 | 0.2 | 1.05 | 1900 | 920 |
| PEDRA CALCARIA | 0.05 | 2.9 | 2600 | 840 |
| BETUMINOSO | 0.03 | 0.43 | 1600 | 920 |
| BRITA | 0.05 | 0.7 | 1000 | 800 |
| GESSO CARTONADO | 0.04 | 0.35 | 800 | 840 |

ALTERAÇÕES NAS ENVOLVENTES

| | | | | | |
|----------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------|
| BETÃO INTERIOR | Lajes Interiores APARTIR1PISO | Laje Cobertura | Parede EXTERIOR R. METALICO | Lajes Interiores Sem teto FALSO | Paredes Interiores |
| BETÃO ARMADO | TETOS FALSOS | Placas cobertura | Painel Metalico ALUCOBOND | BETÃO ARMADO | Rebocos |
| Camada Forma | AR TETO FALSO | XPS | AR ENTRE REVES. EXTERIORES | Camada Forma | ALVENARIA 11 |
| | BETÃO ARMADO | Membrana Betuminosa | XPS | Carpete | Rebocos |
| | Camada Forma | Camada Forma | Membrana Betuminosa | | |
| | Carpete | BETÃO ARMADO | ALVENARIA 20 | | |
| | | AR TETO FALSO | AR PANOS ALVENARIA | | |
| | | TETOS FALSOS | ALVENARIA 11 | | |
| | | | Rebocos | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|----------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| Parede EXTERIOR R. PEDRA | PAREDES ESTACIONAMENTO | LAJE EXTERIOR R. PEDRA | LAJE EXTERIOR R. METALICO | LAJE EXTERIOR R. ASFALTICO | Laje Estacionamento |
| Reves. Pedra Calcaria | BETÃO ARMADO | Reves. Pedra Calcaria | Painel Metalico ALUCOBOND | ASFALTO | BETÃO ARMADO |
| AR ENTRE REVES. EXTERIORES | | AR ENTRE REVES. EXTERIORES | AR ENTRE REVES. EXTERIORES | BRITA | Camada Forma |
| XPS | | XPS | XPS | BETÃO ARMADO | |
| Membrana Betuminosa | | Membrana Betuminosa | Membrana Betuminosa | Membrana Betuminosa | |
| ALVENARIA 20 | | BETÃO ARMADO | BETÃO ARMADO | BETÃO ARMADO | |
| AR PANOS ALVENARIA | | Camada Forma | Camada Forma | | |
| ALVENARIA 11 | | Carpete | Carpete | | |
| Rebocos | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| DATA | TEMPERATURA AR INTERIOR SIMULADA [°C] |
|-----------|---------------------------------------|
| JANEIRO | 21.091 |
| FEVEREIRO | 21.292 |
| MARÇO | 21.620 |
| ABRIL | 22.667 |
| MAIO | 23.550 |
| JUNHO | 24.947 |
| JULHO | 25.383 |
| AGOSTO | 25.244 |
| SETEMBRO | 25.176 |
| OUTUBRO | 25.099 |
| NOVEMBRO | 23.634 |
| DEZEMBRO | 22.001 |

| DATA | CONSUMO ILUMINAÇÃO EXTERIOR [J] | kWh |
|-----------|---------------------------------|--------|
| JANEIRO | 14463360000 | 4017.6 |
| FEVEREIRO | 13063680000 | 3628.8 |
| MARÇO | 14463360000 | 4017.6 |
| ABRIL | 13996800000 | 3888 |
| MAIO | 14463360000 | 4017.6 |
| JUNHO | 13996800000 | 3888 |
| JULHO | 14463360000 | 4017.6 |
| AGOSTO | 14463360000 | 4017.6 |
| SETEMBRO | 13996800000 | 3888 |
| OUTUBRO | 14463360000 | 4017.6 |
| NOVEMBRO | 13996800000 | 3888 |
| DEZEMBRO | 14463360000 | 4017.6 |
| TOTAL | 1.70294E+11 | 47304 |

| DATA | CONSUMO ILUMINAÇÃO INTERIOR [J] | kWh |
|-----------|---------------------------------|----------|
| JANEIRO | 37202760000 | 10334.1 |
| FEVEREIRO | 35431200000 | 9842 |
| MARÇO | 31888080000 | 8857.8 |
| ABRIL | 31888080000 | 8857.8 |
| MAIO | 37202760000 | 10334.1 |
| JUNHO | 37202760000 | 10334.1 |
| JULHO | 38974320000 | 10826.2 |
| AGOSTO | 38974320000 | 10826.2 |
| SETEMBRO | 33659640000 | 9349.9 |
| OUTUBRO | 38974320000 | 10826.2 |
| NOVEMBRO | 38974320000 | 10826.2 |
| DEZEMBRO | 35431200000 | 9842 |
| | | |
| TOTAL | 4.35804E+11 | 121056.6 |

| DATA | CONSUMO DOS EQUIPAMENTOS [J] | kWh |
|-----------|------------------------------|------------|
| JANEIRO | 81007819171 | 22502.172 |
| FEVEREIRO | 77150303972 | 21430.640 |
| MARÇO | 69435273575 | 19287.576 |
| ABRIL | 69435273575 | 19287.576 |
| MAIO | 81007819171 | 22502.172 |
| JUNHO | 81007819171 | 22502.172 |
| JULHO | 84865334370 | 23573.704 |
| AGOSTO | 84865334370 | 23573.704 |
| SETEMBRO | 73292788774 | 20359.108 |
| OUTUBRO | 84865334370 | 23573.704 |
| NOVEMBRO | 84865334370 | 23573.704 |
| DEZEMBRO | 77150303972 | 21430.640 |
| | | |
| TOTAL | 9.48949E+11 | 263.596,94 |

| CONSUMO DO SISTEMA CLIMATIZAÇÃO | | | | |
|---------------------------------|-----------------|-------------------|-------------|-----------|
| DATA | AQUECIMENTO [J] | ARREFECIMENTO [J] | TOTAL [J] | kWh |
| JANEIRO | 857182281.5 | 46583888262 | 13178.07515 | 13178.075 |
| FEVEREIRO | 7222920.922 | 50705557939 | 14086.88357 | 14086.884 |
| MARÇO | 137462151.4 | 53670331980 | 14946.60948 | 14946.609 |
| ABRIL | 0 | 63508918847 | 17641.36635 | 17641.366 |
| MAIO | 0 | 85339769494 | 23705.49153 | 23705.492 |
| JUNHO | 0 | 1.10854E+11 | 30792.90229 | 30792.902 |
| JULHO | 0 | 1.40728E+11 | 39091.16989 | 39091.170 |
| AGOSTO | 0 | 1.49606E+11 | 41557.17948 | 41557.179 |
| SETEMBRO | 0 | 1.25748E+11 | 34930.03895 | 34930.039 |
| OUTUBRO | 0 | 1.19195E+11 | 33109.65038 | 33109.650 |
| NOVEMBRO | 530758.5548 | 74763749804 | 20767.85571 | 20767.856 |
| DEZEMBRO | 36912192.49 | 50533574785 | 14047.35749 | 14047.357 |
| | | | | |
| TOTAL | 1039310305 | 1.07124E+12 | 297854.5803 | 297854.58 |

ANEXO VII – DADOS DA MODELAÇÃO NZEB

| DATA | TEMPERATURA AR INTERIOR SIMULADA [°C] |
|-----------|---------------------------------------|
| JANEIRO | 19.366 |
| FEVEREIRO | 19.549 |
| MARÇO | 19.866 |
| ABRIL | 20.337 |
| MAIO | 21.149 |
| JUNHO | 22.876 |
| JULHO | 23.749 |
| AGOSTO | 23.974 |
| SETEMBRO | 23.784 |
| OUTUBRO | 22.422 |
| NOVEMBRO | 20.227 |
| DEZEMBRO | 19.346 |

| DATA | CONSUMO DOS EQUIPAMENTOS [J] | kWh |
|-----------|------------------------------|-------------|
| JANEIRO | 81007819171 | 22502.172 |
| FEVEREIRO | 77150303972 | 21430.640 |
| MARÇO | 69435273575 | 19287.576 |
| ABRIL | 69435273575 | 19287.576 |
| MAIO | 81007819171 | 22502.172 |
| JUNHO | 81007819171 | 22502.172 |
| JULHO | 84865334370 | 23573.704 |
| AGOSTO | 84865334370 | 23573.704 |
| SETEMBRO | 73292788774 | 20359.108 |
| OUTUBRO | 84865334370 | 23573.704 |
| NOVEMBRO | 84865334370 | 23573.704 |
| DEZEMBRO | 77150303972 | 21430.640 |
| TOTAL | 9.48949E+11 | 263.596,944 |

| DATA | CONSUMO ILUMINAÇÃO EXTERIOR [J] | kWh |
|-----------|---------------------------------|--------|
| JANEIRO | 5490720000 | 1525.2 |
| FEVEREIRO | 4959360000 | 1377.6 |
| MARÇO | 5490720000 | 1525.2 |
| ABRIL | 5313600000 | 1476 |
| MAIO | 5490720000 | 1525.2 |
| JUNHO | 5313600000 | 1476 |
| JULHO | 5490720000 | 1525.2 |
| AGOSTO | 5490720000 | 1525.2 |
| SETEMBRO | 5313600000 | 1476 |
| OUTUBRO | 5490720000 | 1525.2 |
| NOVEMBRO | 5313600000 | 1476 |
| DEZEMBRO | 5490720000 | 1525.2 |
| | | |
| TOTAL | 64648800000 | 17958 |

| DATA | CONSUMO ILUMINAÇÃO INTERIOR [J] | kWh |
|-----------|---------------------------------|-----------|
| JANEIRO | 19205567640 | 5334.880 |
| FEVEREIRO | 18291016800 | 5080.838 |
| MARÇO | 16461915120 | 4572.754 |
| ABRIL | 16461915120 | 4572.754 |
| MAIO | 19205567640 | 5334.880 |
| JUNHO | 19205567640 | 5334.880 |
| JULHO | 20120118480 | 5588.922 |
| AGOSTO | 20120118480 | 5588.922 |
| SETEMBRO | 17376465960 | 4826.796 |
| OUTUBRO | 20120118480 | 5588.922 |
| NOVEMBRO | 20120118480 | 5588.922 |
| DEZEMBRO | 18291016800 | 5080.838 |
| | | |
| TOTAL | 2.2498E+11 | 62494.307 |

| CONSUMO DO SISTEMA CLIMATIZAÇÃO NZEB | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------|-------------|------------|
| DATA | AQUECIMENTO [J] | ARREFECIMENTO [J] | TOTAL [J] | kWh |
| JANEIRO | 41063296727 | 8159647830 | 49222944558 | 13673.040 |
| FEVEREIRO | 27106283369 | 8757340022 | 35863623391 | 9962.118 |
| MARÇO | 19283016323 | 10426273636 | 29709289959 | 8252.581 |
| ABRIL | 9141247858 | 13046721442 | 22187969300 | 6163.329 |
| MAIO | 2227702120 | 28478330208 | 30706032328 | 8529.453 |
| JUNHO | 1.1189E-05 | 69056939544 | 69056939544 | 19182.483 |
| JULHO | 0 | 1.13701E+11 | 1.13701E+11 | 31583.616 |
| AGOSTO | 3.12255E-05 | 1.14698E+11 | 1.14698E+11 | 31860.534 |
| SETEMBRO | 5.69647E-07 | 96532720089 | 96532720089 | 26814.644 |
| OUTUBRO | 226551534.5 | 60055990134 | 60282541668 | 16745.150 |
| NOVEMBRO | 22583145701 | 14816877100 | 37400022801 | 10388.895 |
| DEZEMBRO | 30919523856 | 8027702069 | 38947225925 | 10818.674 |
| TOTAL | | | | |
| | 1.52551E+11 | 5.45757E+11 | 6.98308E+11 | 193974.515 |

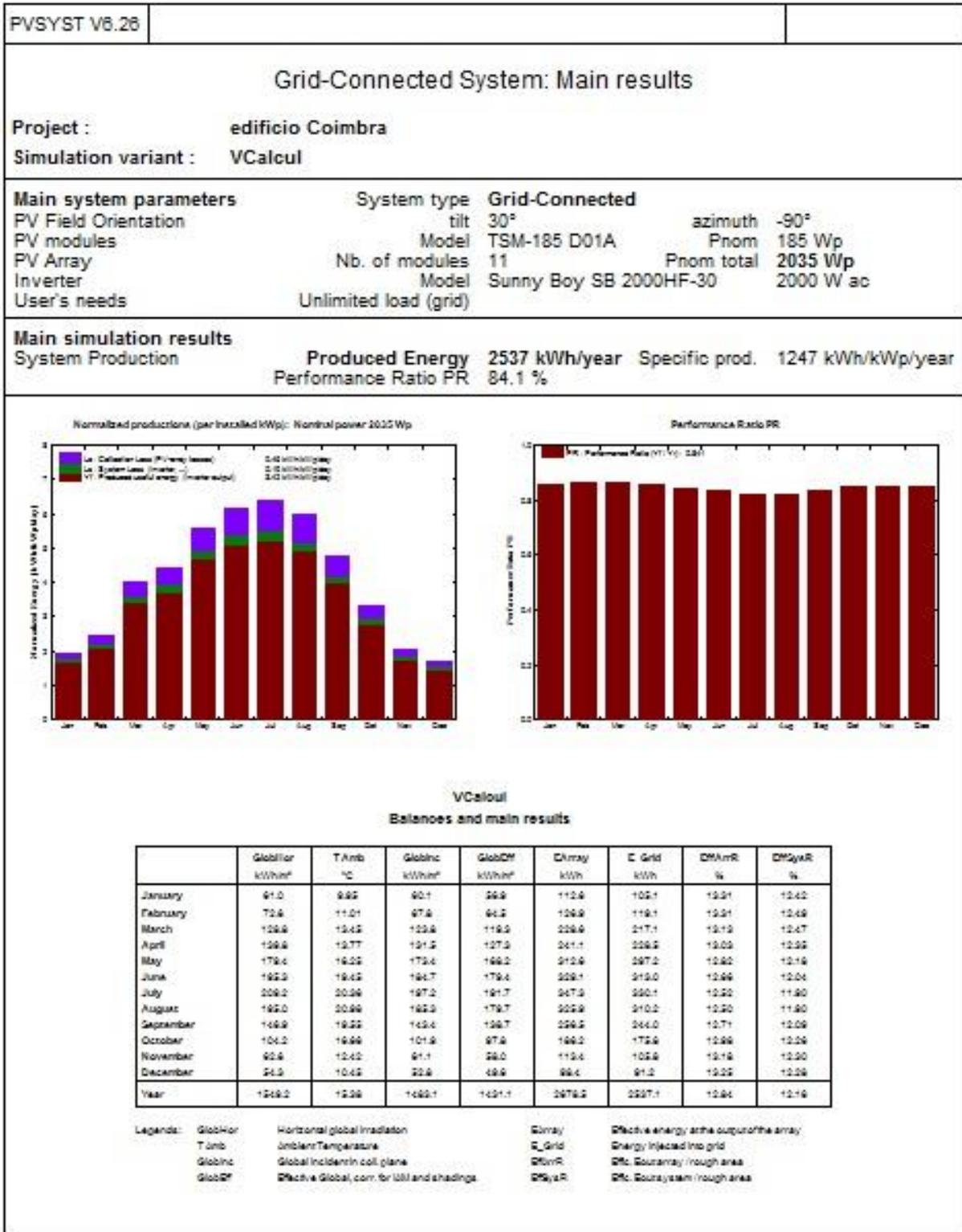
| DATA | ENERGIA DISSIPADA PELA VENTILAÇÃO NATURAL [J] | ENERGIA GANHA PELA VENTILAÇÃO NATURAL [J] |
|-----------|---|---|
| JANEIRO | 84063400617 | 1090807.629 |
| FEVEREIRO | 73419157807 | 1855711.813 |
| MARÇO | 72923460229 | 157570424.200 |
| ABRIL | 73930506459 | 254935141.400 |
| MAIO | 65763695561 | 1015254003 |
| JUNHO | 43471189046 | 4204658238 |
| JULHO | 31740206505 | 15151915765 |
| AGOSTO | 33103212635 | 11966781469 |
| SETEMBRO | 28773120949 | 11160958268 |
| OUTUBRO | 59757207437 | 2508242001 |
| NOVEMBRO | 78678146914 | 80763193.470 |
| DEZEMBRO | 71771711525 | 9474225.614 |

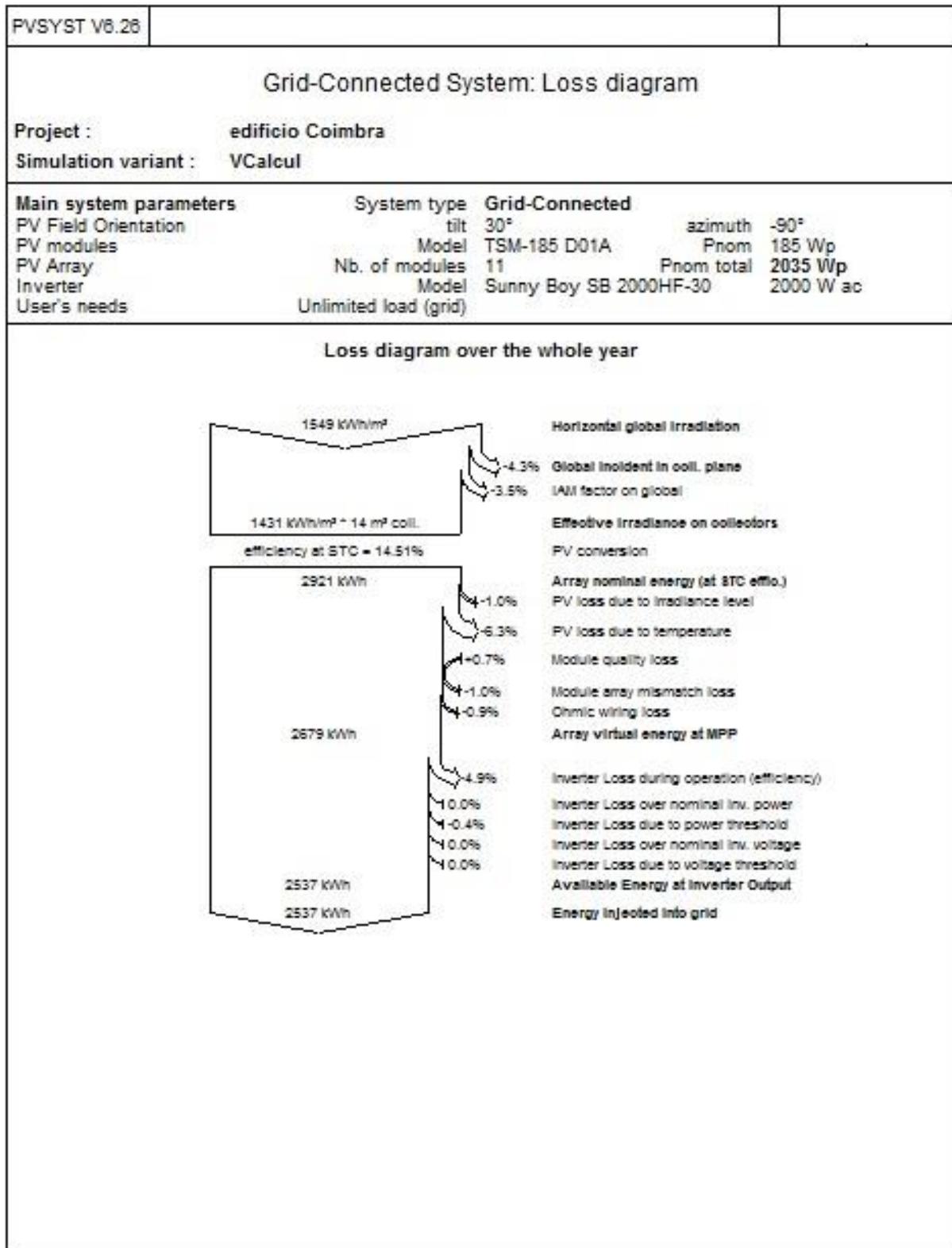
| GANHOS INTERNOS NO EDIFÍCIO | | | | |
|-----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------|
| DATA | FUNCIONARIOS [kWh] | ILUMINAÇÃO [kWh] | EQUIPAMENTOS [kWh] | TOTAL |
| JANEIRO | 19.257 | 5334.8799 | 20364.46565 | 25718.603 |
| FEVEREIRO | 18.34 | 5080.838 | 19394.72919 | 24493.907 |
| MARÇO | 16.506 | 4572.7542 | 17455.25627 | 22044.516 |
| ABRIL | 16.506 | 4572.7542 | 17455.25627 | 22044.516 |
| MAIO | 19.257 | 5334.8799 | 20364.46565 | 25718.603 |
| JUNHO | 19.257 | 5334.8799 | 20364.46565 | 25718.603 |
| JULHO | 20.174 | 5588.9218 | 21334.20211 | 26943.298 |
| AGOSTO | 20.174 | 5588.9218 | 21334.20211 | 26943.298 |
| SETEMBRO | 17.423 | 4826.7961 | 18424.99273 | 23269.212 |
| OUTUBRO | 20.174 | 5588.9218 | 21334.20211 | 26943.298 |
| NOVEMBRO | 20.174 | 5588.9218 | 21334.20211 | 26943.298 |
| DEZEMBRO | 18.34 | 5080.838 | 19394.72919 | 24493.907 |

| DATA | PRODUÇÃO PV(440 PAINEIS) [kWh] |
|-----------|--------------------------------|
| JANEIRO | 4204 |
| FEVEREIRO | 4764 |
| MARÇO | 8684 |
| ABRIL | 9140 |
| MAIO | 11888 |
| JUNHO | 12520 |
| JULHO | 13204 |
| AGOSTO | 12408 |
| SETEMBRO | 9760 |
| OUTUBRO | 7032 |
| NOVEMBRO | 4232 |
| DEZEMBRO | 3648 |
| TOTAL | 101484 |

ANEXO VIII – RELATÓRIO PVsyst

| | | | | | |
|---|--|-----------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------|
| PVSYST V6.26 | | | | | |
| Grid-Connected System: Simulation parameters | | | | | |
| Project : | | edificio Coimbra | | | |
| Geographical Site | | Coimbra | Country | Portugal | |
| Situation | | Latitude | 40.2°N | Longitude | 8.4°W |
| Time defined as | | Legal Time | Time zone UT | Altitude | 50 m |
| Meteo data: | | Albedo | 0.20 | | |
| | | Coimbra | Synthetic - Meteonorm 6.1 | | |
| Simulation variant : VCalcul | | | | | |
| Simulation date 07/08/14 03h45 | | | | | |
| Simulation parameters | | | | | |
| Collector Plane Orientation | | Tilt | 30° | Azimuth | -90° |
| Models used | | Transposition | Perez | Diffuse | Erbs, Meteonorm |
| Horizon | | Free Horizon | | | |
| Near Shadings | | No Shadings | | | |
| PV Array Characteristics | | | | | |
| PV module | | Si-mono | Model | TSM-185 D01A | |
| | | Manufacturer | Trina Solar | | |
| Number of PV modules | | In series | 11 modules | In parallel | 1 strings |
| Total number of PV modules | | Nb. modules | 11 | Unit Nom. Power | 185 Wp |
| Array global power | | Nominal (STC) | 2035 Wp | At operating cond. | 1837 Wp (50°C) |
| Array operating characteristics (50°C) | | U mpp | 358 V | I mpp | 5.2 A |
| Total area | | Module area | 14.1 m² | | |
| Inverter | | Model | Sunny Boy SB 2000HF-30 | | |
| | | Manufacturer | SMA | | |
| Characteristics | | Operating Voltage | 175-560 V | Unit Nom. Power | 2.00 kW AC |
| PV Array loss factors | | | | | |
| Thermal Loss factor | | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (wind) | 0.0 W/m²K / m/s |
| Wiring Ohmic Loss | | Global array res. | 1158 mOhm | Loss Fraction | 1.5 % at STC |
| Module Quality Loss | | | | Loss Fraction | -0.8 % |
| Module Mismatch Losses | | | | Loss Fraction | 1.0 % at MPP |
| Incidence effect, ASHRAE parametrization | | IAM = | 1 - bo (1/cos i - 1) bo Param. 0.05 | | |
| User's needs : | | Unlimited load (grid) | | | |





ANEXO IX – ORÇAMENTO

| Sistema Monocristalino | Componentes | Marca/Modelo | Quantidade | Preço total (IVA incluído) (€) |
|------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| | Inversor | SMA (Solar Technology) - SB 3600 | 20 | 20,913.60 € |
| | Painéis PV | Trina TSM 185W | 440 | 162,360.00 € |
| | Cabos elétricos multifilares | PFSolar ZZ-F (AS0.6/1) | 1800 m | 1,170.00 € |
| | Suporte de fixação | - | 40 | 16,758.00 € |
| | Contador de energia | Itron ACE SL7000 | 20 | 8,138.16 € |
| | Modem+cabo+antena | Modem GSM Fargo Maestro | 20 | 4,182.00 € |
| | Caixa CCTP | - | 20 | 1,094.70 € |
| | Portinhola | P100 Microprodução PC/P | 20 | 2,698.62 € |
| | Quadro AC | - | 20 | 1,476.00 € |
| | Ficha (fêmea + macho) | MC4 | 20 | 196.80 € |
| | Kit termossifão | Vulcano/ F1/TS200E/FKC | | 1,288.45 € |
| Total | | | 220,276.33 € | |

| Iluminação interior | | | | |
|--|--|----------|--------------------|-------------|
| Existente | Substituído | Unidades | Preço | Total |
| Lâmpadas Fluorescentes compactas de 18 W | Lâmpada LED PHILIPS 4-40W E14 2700K 36D | 423 | 15.10 € | 6,387.30 € |
| Lâmpadas Fluorescentes compactas de 26 W | Lâmpada LED PHILIPS 4-40W E14 2700K 36D | 78 | 15.10 € | 1,177.80 € |
| Lâmpadas Fluorescentes compactas de 36 W | Lâmpada LED PHILIPS 4-40W E14 2700K 36D | 765 | 15.10 € | 11,551.50 € |
| Lâmpadas de Hidrogénio de 35 W | Lâmpada LED PHILIPS D 4-35W GU10 2700K 25D | 68 | 15.50 € | 1,054.00 € |
| Lâmpadas de Hidrogénio de 45 W | Lâmpada LED PHILIPS D 4-35W GU10 2700K 25D | 9 | 15.50 € | 136.35 € |
| Iluminação Exterior | | | | |
| Existente | Substituído | Unidades | Preço | Total |
| Lâmpadas Fluorescentes compactas de 26 W | Lâmpada LED PHILIPS 4-40W E14 2700K 36D | 66 | 15.10 € | 996.60 € |
| Lâmpadas de vapor de sódio de 100 W | Lâmpada LED PHILIPS 18-100W E27 2700K | 64 | 49.99 € | 3,199.36 € |
| Total | | | 24,502.91 € | |

| DESCRIÇÃO | QUANTIDADE | VALOR ÚNITARIO | TOTAL |
|---|------------------------|----------------------|--------------|
| Desenvolvimento de parede falsa em gesso cartonado, com caixa-de-ar e isolamento XPS. | 398,20m ² | 28 €/m ² | 11,149.60 € |
| Colocação de cortiça, como isolamento térmico, nas lajes superiores do Piso -1 e 0B | 1458,34 m ² | 7 €/m ² | 10,208.38 € |
| Colocação de lã de rocha entre os tectos falsos já existentes | 3835,80 m ² | 2,5 €/m ² | 9,589.50 € |
| Susbtituição dos elementos envidraçados na fachada a Sul pertencente ao Bloco A, por elementos de vidro triplo. | 35 unidades | 2500€/unidade | 87,500.00 € |
| | | Total | 118,447.48 € |
| | | Total + IVA | 145,690.40 € |

| MEDIDA | VALOR |
|--------------------------------------|---------------------|
| PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA | 220,276.33 € |
| MELHORIA DAS ENVOLVENTES DO EDIFÍCIO | 145,690.40 € |
| ILUMINAÇÃO LED | 24,502.91 € |
| TOTAL | 390,469.64 € |