

IMPACTO DAS
OPÇÕES DE CONCEÇÃO EM EDIFÍCIOS
ZERO ENERGY
O CASO DOS GRANDES EDIFÍCIOS DE
SERVIÇOS

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica
Área de Especialização Sistemas Eléctricos de Energia
Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Instituto Superior de Engenharia do Porto

2013

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia

Candidato: Pedro Manuel dos Santos Lima, N° 1040165, 1040165@isep.ipp.pt

Orientação científica: Doutor Manuel Gradim Gericota, mgg@isep.ipp.pt

Coorientação científica: Doutora Olga Sobral Castro, orc@isep.ipp.pt

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica
Área de Especialização Sistemas Eléctricos de Energia
Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Instituto Superior de Engenharia do Porto
2013

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao Prof. Doutor Manuel Gericota por me ter aceite como orientando, por todo apoio, disponibilidade e empenho, pelas críticas construtivas, seriedade e profissionalismo.

Quero também agradecer à Doutora Olga Castro e ao Eng^o Joaquim Monteiro por me terem acolhido no Laboratório de AVAC e pelo empenho, disponibilidade e todo o conhecimento partilhado no âmbito dos sistemas de climatização.

Também quero endereçar um agradecimento ao Eng^o Jorge Fontes e ao Sr. Carlos Monteiro, pela atenção e disponibilidade, bem como pelos dados cedidos para o caso de estudo desta dissertação.

Um agradecimento especial à minha família e amigos, pelo o apoio constante, que me ajudaram a ultrapassar os bons e os momentos não tão bons ao longo do meu percurso académico e início de carreira profissional.

A todos o meu sincero, **MUITO OBRIGADO.**

Resumo

Atualmente, o parque edificado é responsável pelo consumo de 40% da energia total consumida em toda a União Europeia. As previsões apontam para o crescimento do sector da construção civil, nomeadamente a construção de edifícios, o que permite perspetivar um aumento do consumo de energia nesta área. Medidas importantes, como o lançamento da Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios, abrem caminho para a diminuição das necessidades energéticas e emissões de gases de efeito de estufa. Nela são apontados objetivos para aumentar a eficiência energética do parque edificado, tendo como objetivo que a partir de 2020 todos os novos edifícios sejam energeticamente eficientes e de balanço energético quase zero, com principal destaque para a compensação usando produção energética própria proveniente de fontes renováveis.

Este novo requisito, denominado *nearly zero energy building*, apresenta-se como um novo incentivo no caminho para a sustentabilidade energética. As técnicas e tecnologias usadas na conceção dos edifícios terão um impacto positivo na análise de ciclo de vida, nomeadamente na minimização do impacto ambiental e na racionalização do consumo energético. Desta forma, pretendeu-se analisar a aplicabilidade do conceito *nearly zero energy building* a um grande edifício de serviços e o seu impacto em termos de ciclo de vida a 50 anos.

Partindo da análise de alguns estudos sobre o consumo energético e sobre edifícios de balanço energético quase nulo já construídos em Portugal, desenvolveu-se uma análise de ciclo de vida para o caso de um edifício de serviços, da qual resultou um conjunto de propostas de otimização da sua eficiência energética e de captação de energias renováveis. As medidas apresentadas foram avaliadas com o auxílio de diferentes aplicações como DIALux, IES VE e o PVsyst, com o objetivo de verificar o seu impacto através da comparação com estado inicial de consumo energético do edifício.

Nas condições iniciais, o resultado da análise de ciclo de vida do edifício a 50 anos no que respeita ao consumo energético e respetivas emissões de CO₂ na fase de operação foi de 6 MWh/m² e 1,62 t/m², respetivamente. Com aplicação de medidas propostas de otimização, o consumo e as respetivas emissões de CO₂ foram reduzidas para 5,2 MWh/m² e 1,37 t/m² respetivamente. Embora se tenha conseguido reduzir ao consumo com as medidas

propostas de otimização de energia, chegou-se à conclusão que o sistema fotovoltaico dimensionado para fornecer energia ao edifício não consegue satisfazer as necessidades energéticas do edifício no final dos 50 anos.

Palavras-Chave

Análise de ciclo de vida, *Nearly zero energy building*, Eficiência energética, Energias renováveis, Redução de consumo energético, Redução de emissões de gases de efeito de estufa, Simulação dinâmica.

Abstract

Currently, building sector's energy consumption represents 40% of the total amount of energy spent in the European Union. Since an expansion in the building sector is foreseen, relevant measures are being taken, like the 2010/31/EU Directive that opens a way to reduce energy demanding and its associated greenhouse gases emissions. The objective is to increase the energy efficiency of new buildings, achieving the nearly zero energy building concept by 2020, mainly sustained in the local production of energy from renewable sources.

This new requirement represents a new incentive in order to reach energetic sustainability. The techniques and technologies used in the building process will have a positive impact in building energy life cycle analysis, in terms of environmental impact reduction and energy consumption rationalization. In sum, the aim was to test the applicability of the nearly zero energy building concept to a big size office building and its impact after a 50-years life cycle span.

The analyses of some energy consumption studies and of existent nearly zero energy buildings in Portugal enabled the development of a life cycle analysis for a big size office building. The result was the proposal of a series of optimization measures aimed to improve its energetic efficiency, namely through the local production of energy from renewable sources. The impact of those measures was evaluated with the help of different applications like DIALux, IES VE and PVsyst. The goal was to establish a comparison between the current level of energy consumption of the building and that after the implementation of the proposed measures.

In the initial conditions, the building life cycle analysis over 50 years with regard to energy consumption and CO₂ emissions in the operation phase was respectively 6 MWh/m² and 1.62 t/m². With the implementation of the proposed measures to optimize consumption and their associated CO₂ emissions, they were respectively reduced to 5.2 MWh/m² and 1.37 t/m². Although the proposed efficiency energy measures may reduce the building consumption, it was concluded that the photovoltaic system will not be able to satisfy the building energy demanding by the end of the 50-years life cycle.

Keywords

Life cycle analysis, Nearly zero energy building, Energy Efficiency, Renewables, Energy consumption reduction, Greenhouse gases emissions reduction, Dynamic simulation.

Índice

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ACRÓNIMOS	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. SUSTENTABILIDADE.....	5
2.2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	9
2.3. CONSUMO DE ENERGIA.....	11
2.4. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA	13
2.5. REGULAMENTAÇÃO	20
2.6. “NEARLY ZERO ENERGY BUILDING ”:TÉCNICAS E TECNOLOGIAS	27
2.7. CONCLUSÃO	47
3. CASO DE ESTUDO	49
3.1. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	49
3.2. SIMULAÇÃO DINÂMICA	53
4. OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA	61
4.1. SOLUÇÃO DE GESTÃO DE ENERGIA.....	61
4.2. AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	62
4.3. SUBSTITUIÇÃO DOS COMPUTADORES	64
4.4. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DEDICADO DOS SERVIDORES	66
4.5. IMPLEMENTAÇÃO DE SENSORES DE CO ₂	68
4.6. DIMENSIONAMENTO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	69
4.7. SIMULAÇÃO DINÂMICA REAL FINAL E DESAGREGAÇÃO DOS CONSUMOS	71
4.8. IEE REAL APÓS OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA	72
4.9. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DO EDIFÍCIO DE SERVIÇOS	72

5. CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	81
ANEXOS.....	85
ANEXO A. PERFIS USADOS NA SIMULAÇÃO DINÂMICA	87
ANEXO B. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DE SERVIÇOS CONSTRUÍDOS PARA AS SIMULAÇÕES - IES VE	89
ANEXO C. SIMULAÇÃO DINÂMICA REAL INICIAL E FINAL	95
ANEXO D. DIMENSIONAMENTO DO FOTOVOLTAICO E ANÁLISE FINANCEIRA.....	97

Índice de Figuras

Figura 1: População mundial – Evolução e previsões segundo os índices de fertilidade. Fonte: (Khalfan, 2002; Lopes, 2010)	8
Figura 2: Dimensões da construção sustentável. Fonte: (iiSBE Portugal, 2011)	10
Figura 3: Dependência energética Portuguesa e a média EU-27 Fonte: (European Commission, 2012)	11
Figura 4: Potência Instalada por Tipo de centrais (GW) e produção de energia (TWh) na EU-27 Fonte: (European Commission, 2012).....	12
Figura 5: Potência Instalada por tipo de centrais (MW) e produção de energia (GWh) em Portugal Fonte: (European Commission, 2012).....	13
Figura 6: Consumo final de energia(Mtoe) na EU-27 e Portugal Fonte: (European Commission, 2012)	13
Figura 7: Fase do ciclo de vida dos edifícios Fonte:(Georgia Institute of Technology, 2010)	16
Figura 8: Etapas de um edifício e seus impactos Fonte: (Pinheiro, 2006)Análise ciclo de vida energética dos edifícios de serviços	17
Figura 9: Tipos de construção Fonte: (Mateus, 2004).....	28
Figura 10: Forma de atingir o NZEB Fonte: (Gonçalves et al, 2012).....	29
Figura 11: Correta orientação de um edifício Fonte: (Lanham A. et al, 2004)	30
Figura 12: Relação entre a forma do edifício e o fluxo da massa de ar Fonte: (Lanham A. et al, 2004)	30
Figura 13: Efeito do tipo de massa térmica Fonte: (Lanham A. et al, 2004)	31
Figura 14: Exemplos de palas fixas e palas ajustáveis Fonte: (Marinoski D.).....	33
Figura 15: Sombreamento através de árvore de folha caduca Fonte: (Lanham A. et al, 2004)	33
Figura 16: Exemplos ventilação natural: chaminé solar, aspirador estático e torre de vento Fonte: (Monteiro A., 2011)	34
Figura 17: Edifício com sistema solar ativo Fonte: (Horta R, 2012)	35
Figura 18: Sistema solar por termossifão e por circulação forçada Fonte: (Solar Project)	37
Figura 19: Sistemas primários de produção de energia Fonte: (AuditAC)	38
Figura 20: Sistemas do tipo de AVAC Fonte: (Auditac)	39
Figura 21: Fluxo luminoso e intensidade luminosa Fonte: (Corceiro, 2008).....	41
Figura 22: Iluminância e luminância Fonte: (Couceiro, 2008)	42
Figura 23: Índice de reprodução cromática Fonte: (Fiorini, T., 2006).....	42
Figura 24: Exemplos do método de distribuição da luz Fonte: (OSRAM)	44
Figura 25: Forma como a luz é distribuída pelas luminárias Fonte: (OSRAM).....	44
Figura 26: Requisitos mínimos nos escritórios segundo norma EN 12464-1 Fonte: (ETAP, 2012) 45	
Figura 27: Edifício Solar XXI e características da envolvente Fonte: (Gonçalves et al, 2012)	46

Figura 28: Localização do edifício de serviços Fonte (Google Maps, 2013).....	50
Figura 29: Modelo 3D do edifício de serviços	54
Figura 30: Exemplo de atribuição dos elementos construtivos no modelo 3D Fonte: (IES VE)	55
Figura 31: Exemplo de construção do sistema AVAC parte do ar Fonte: (IES VE).....	56
Figura 32: Exemplo de contador de energia ligado a uma consola (QEnergia)	62
Figura 33: Resultados da colocação dos ventiladores de conduta através de simulação dinâmica ..	66
Figura 34: Distância entre painéis para evitar sombreamento Fonte: (Dias, 2009).....	70
Figura 35: Caracterização do consumo energético final do edifício de serviços	72
Figura 36: Análise de ciclo de vida energética na fase de operação.	73
Figura 37: Impacto ambiental na fase de operação	74
Figura 38: UTA 1 e climatização dos espaços: Escritório CC, <i>Crimping Center</i> , Cafetaria e <i>Sub - Contract</i>	89
Figura 39: UTA 2 e climatização dos espaços: <i>Átrio</i> , <i>Openspace P0</i> e Gabinetes.	90
Figura 40: UTA 3 e climatização do auditório e extração da Régie.....	90
Figura 41: Ventiloinveter no Posto Médico, ar condicionado nos servidores e ventilador de extração dos WCs P0 e P1.....	91
Figura 42: UTA 4 e climatização dos espaços: <i>Openspace P1</i> , Salas de Reuniões, Gabinetes e Arquivo.....	91
Figura 43: UTA 1 e controlo CO ₂ dos espaços: Escritório CC, <i>Crimping Center</i> , Cafetaria e <i>Sub - Contract</i>	92
Figura 44: UTA 2 e controlo de CO ₂ dos espaços: <i>Atrio</i> , <i>Openspace P0</i>	92
Figura 45: UTA 3 e controlo de CO ₂ do Auditório e extração da Régie.....	93
Figura 46: UTA 4 e controlo de CO ₂ dos espaços: <i>Openspace P1</i> , Salas de Reuniões, Arquivo. ...	93
Figura 47: Sistema de climatização dedicado aos servidores.....	94
Figura 48: Ventiloinveter no Posto Médico e ventilador de extração dos WCs P0 e P1.....	94
Figura 49: Resultados simulação dinâmica IES VE.....	95
Figura 50: Conversão para o IEE e desagregação dos consumos.....	95
Figura 51: Resultados simulação dinâmica final IES VE	96
Figura 52: Conversão final para o IEE e desagregação dos consumos	96
Figura 53: Relatório do dimensionamento fotovoltaico - página 1	99
Figura 54: Relatório do dimensionamento fotovoltaico - página 2	100
Figura 55: Relatório do dimensionamento fotovoltaico - página 3	101
Figura 56: Relatório do dimensionamento fotovoltaico - página 4	102
Figura 57: Análise financeira do sistema fotovoltaico	103

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tabela de diferentes tipos de lâmpadas Fonte: (Philips, 2009).....	43
Tabela 2: Características da envolvente exterior do edifício de serviços Fonte: (Ficha Técnica, 2011)	51
Tabela 3: Dados reais de perfis de ocupação real	51
Tabela 4: Resultados DIALux, consumo total e emissões CO ₂	63
Tabela 5: Análise económica para a iluminação	64
Tabela 6: Consumo total e emissões de CO ₂ na substituição de PCs.....	65
Tabela 7: Análise económica da substituição dos PCs.....	65
Tabela 8: Consumo e emissões de CO ₂ dos sistemas de climatização dedicados aos servidores	67
Tabela 9: Análise económica da instalação dos ventiladores.....	67
Tabela 10: Impacto da instalação dos sensores de CO ₂ no consumo e emissões de CO ₂	68
Tabela 11: Análise económica da instalação dos sensores de CO ₂	69
Tabela 12: Retorno do investimento do sistema fotovoltaico	71
Tabela 13: Produção de energia a 50 anos a partir do sistema fotovoltaico e respetivas emissões de CO ₂ evitadas	74
Tabela 14: Tabela com a estimação da potência instalada em termos de iluminação e equipamentos.	87
Tabela 15: Quadro com os caudais de ar em cada espaço.....	88
Tabela 16: Análise de produção de energia, emissões de CO ₂ evitadas e retorno do investimento do sistema fotovoltaico.....	97

Acrónimos

AQS - Águas Quentes Sanitárias

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*

AVAC - Aquecimento, Ventilação, e Ar Condicionado

BESTEST - *Building Energy Simulation Test*

CO₂ - Dióxido de Carbono

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia

EPDB - *Energy Performance Building Directive*

EPS - *Expanded PolyStyrene* (Poliestireno Expandido Moldado)

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

IEA - *International Energy Agency*

IEE - Índice de Eficiência Energética

IES VE - *Integrated Environment Solutions Virtual Environment*

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

ISO - *International Organization for Standardization*

LCA - *Life Cycle Assessment*

LED - *Light Emitting Diode*

MW – *Mineral Wool* (Lã Mineral)

Mtoe - *Million Tonnes of Oil Equivalent*

NZEB - *Nearly Zero Energy Building*

PIR – *PolyIsocyanurate Rigid* (Poli-isocianurato Rígido)

PRE - Plano de Racionalização Energética

PUR - *PolyUrethane Rigid* (Poliuretano Rígido)

QAI - Qualidade do Ar Interior

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico em Edifícios

RSECE - Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética

SETAC - *Society of Environmental Toxicology And Chemistry*

US DOE - *United States Department of Energy*

UTA - Unidade de Tratamento de Ar

UTAN - Unidade de Tratamento de Ar Novo

XPS - *eXtruded PolyStyrene* (Poliestireno Expandido Extrudido)

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A revolução industrial e a segunda metade do século XX marcaram a Humanidade com mudanças significativas. Os avanços tecnológicos revolucionaram os sectores de atividade humana como a agricultura, a indústria, os transportes ou os serviços. As melhorias significativas da qualidade de vida das pessoas serviram como alavanca para a explosão demográfica nos países desenvolvidos. Associada à procura de melhores condições de vida resultou em alterações geográficas profundas, nomeadamente na densidade populacional devido ao êxodo rural e ao processo de urbanização.

A energia tornou-se no motor do desenvolvimento de todas as atividades que contribuem para o crescimento económico dos países. A economia mundial aumentou cinco vezes desde 1950, resultando no aumento do nível de vida das populações sobretudo nos países mais desenvolvidos. A aliança do aumento do poder de compra, do progresso tecnológico e das inovações no ramo da engenharia conduziu ao desenvolvimento do sector da construção civil e à conceção de edifícios para habitação, trabalho e lazer, cuja orientação assenta num conjunto de pré-requisitos funcionais tendo como objetivo o conforto térmico interior.

Até ao ano de 2006, o consumo energético nos Estados Membros da União Europeia registou um comportamento crescente, tendo o consumo de combustíveis fósseis como recurso energético atingido o seu pico desde a revolução industrial. Embora a percentagem de contribuição das fontes de energia renováveis tenha aumentado, subsistem vários problemas para resolver pela forma irracional como foram geridas e utilizadas as fontes de energia não renováveis, mesmo tendo-se conhecimento das suas condicionantes. O primeiro problema e grande desafio assenta na diminuição significativa da dependência dos combustíveis fósseis para evitar o seu esgotamento, mantendo o nível de vida atual das civilizações, sabendo que as economias da Índia, China e Brasil estão em grande progressão e, conseqüentemente, registando-se um aumento do consumo energético nesses países. Por outro lado, a utilização excessiva dos combustíveis fósseis ao longo de sucessivas décadas desde a revolução industrial originou uma elevada concentração na atmosfera de dióxido de carbono CO₂, contribuindo para o agravamento do efeito de estufa, provocando um aquecimento global do planeta. O grande desafio orienta-se na redução satisfatória das emissões de CO₂ para a atmosfera, evitando assim a continuação do agravamento dos seus efeitos, os quais comprometam a existência do Homem. Atualmente, em toda a União Europeia, o consumo de energia por parte dos edifícios fixa-se nos 40% do consumo total. As previsões que apontam para uma expansão do sector da construção civil, nomeadamente um incremento da construção de edifícios, permitem perspetivar um aumento do consumo de energia nesta área. Medidas importantes, como o lançamento da Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, pretendem impor uma inversão nesta tendência de aumento do consumo de energia, assim como da dependência relativamente às energias fósseis, com um conseqüente controlo das emissões de gases de efeito de estufa. Conjugando o cenário anterior com a utilização das energias renováveis, a União Europeia pretende honrar o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas relativamente às alterações climáticas, evitando que a temperatura média suba mais que 2 °C e reduzindo as emissões de CO₂ no mínimo em 20% (EUROPEAN PARLIAMENT). Segundo fonte da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), a taxa de dependência energética em Portugal tem vindo a decrescer desde 2005, registando em 2009 um valor entre os 80/82%. A mesma fonte revela que, no mesmo ano, 15,8% da dependência energética a nível nacional foi canalizada para os sectores de atividade doméstico (12,2%) e de serviços (3,6%) (DGEG).

O presente trabalho enquadra-se na revisão da Diretiva europeia sobre desempenho energético dos edifícios (*Energy Performance of Buildings Directive - EPBD*), cuja transposição para a legislação de cada um dos Estados Membros da União Europeia é obrigatória. Em Portugal, esta transposição irá refletir-se na revisão da correspondente normativa nacional, o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior em Edifícios. A Diretiva prevê que até 31 de Dezembro de 2020 todos os edifícios novos tenham que ter um carácter *nearly zero energy building* (NZEB), prevendo-se que esta imposição terá que estar consumada em novos edifícios públicos a partir de 31 de Dezembro de 2018. Este novo conceito, que define a compensação das reduzidas necessidades energéticas através de fontes de energia renováveis, revela-se fundamental no enquadramento de possíveis opções de conceção no contexto de análise de ciclo de vida de um edifício.

1.2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são: o levantamento do estado da arte relativamente à diretiva EPBD e à sua reformulação, assim como a sua correspondente em Portugal, o SCE; o levantamento do estado de arte das técnicas e tecnologias que permitem a concretização do conceito *nearly zero energy building*; e, por último, a análise de ciclo de vida de algumas opções técnicas e tecnológicas, ponderando as suas vantagens como soluções para a concretização do conceito *nearly zero energy building*.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Para além deste capítulo introdutório, a presente dissertação apresenta mais quatro capítulos.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica das temáticas chave que sustentam o tema principal da dissertação.

No capítulo 3 é apresentada como caso de estudo uma análise a toda a envolvente energética de um grande edifício de serviços e estimado o seu consumo através de uma simulação dinâmica real.

No capítulo 4 são propostas e analisadas possíveis medidas de otimização do seu consumo de energia, sendo igualmente apresentado um estudo de dimensionamento de um sistema

fotovoltaico e realizada uma análise de ciclo de vida do edifício a 50 anos focalizada no seu consumo energético.

No capítulo 5 são analisados os resultados obtidos e tecidas algumas considerações finais com base nesses resultados.

2. ESTADO DA ARTE

Este capítulo apresenta a base teórica essencial para a compreensão dos conceitos subjacentes à execução da análise do ciclo de vida, o qual permite aferir dos impactos energéticos resultantes das diferentes opções técnicas e tecnológicas tomadas aquando da conceção de um edifício de serviços. A enunciação teórica é sustentada pela revisão bibliográfica de diversos autores que se dedicaram a este assunto.

2.1. SUSTENTABILIDADE

O conceito de desenvolvimento sustentável começou a construir-se na conferência de Estocolmo de 1972, onde se discutiu e reconheceu a problemática existente entre o meio ambiente e o desenvolvimento global (Kates et al, 2005). No mesmo ano, através de estudos encomendados ao MIT, o Clube de Roma, grupo de pessoas ilustres de todas as áreas, publicou um livro intitulado “Os Limites do Crescimento” que evidenciava as consequências da interação do Homem com o Planeta pela utilização do primeiro modelo computacional com interações, onde estavam em jogo cinco variáveis de entrada: a população mundial; industrialização; poluição; produção alimentar; e consumos das fontes não renováveis. O objetivo final foi apresentar cenários desafiantes para a sustentabilidade global, face ao modo de crescimento das variáveis em estudo (Heinberg, 2010; Turner, 2008).

Em 1983, a norueguesa Gro Harlem Brundland liderou uma comissão no âmbito das Nações Unidas que teve como objetivos a análise do estado crítico do ambiente, os principais problemas que o planeta enfrenta e a formulação de propostas reais e plausíveis para a sua solução (Kreith & Kreider, 2011). A solução encontrada baseia-se no progresso humano sustentável, sem que se comprometa os recursos das gerações futuras. Este estudo levou à publicação de um livro pela imprensa da Universidade de Oxford, cujo título é “*Our Common Future*”, o qual serviu como guia para a prática da sustentabilidade na atualidade. O desenvolvimento sustentável foi definido como a satisfação das necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras colmatarem as suas próprias necessidades (Kreith & Kreider, 2011). Embora esta definição não referencie diretamente o desenvolvimento e o meio ambiente, o estudo evidencia que relativamente ao desenvolvimento, as necessidades humanas são caracterizadas como básicas e essenciais sustentadas pelo crescimento económico e a prática da equidade pela participação eficiente dos cidadãos. No que toca ao ambiente, o conceito desenvolvimento sustentável implica limitações sobre o estado atual tecnológico e social relativamente aos recursos naturais e pela capacidade da biosfera absorver os efeitos das atividades humanas (Kates et al, 2005).

A Cimeira da Terra no Rio de Janeiro em 1992 ficou marcada pelo avanço na consciencialização ambiental dos Estados, tendo o principal compromisso assentado na procura de meios de desenvolvimento socioeconómicos, conservando o planeta e o meio ambiente. Tendo-se conhecimento dos problemas ambientais e dos países que para eles contribuíam, foi definido como desenvolvimento sustentável a aplicação de um modelo de crescimento económico menos consumista e saudável para a estabilidade ambiental. Foi unânime a constatação de que os países subdesenvolvidos deveriam receber apoios financeiros para o desenvolvimento sustentável. Desta Cimeira resultou a aprovação da Agenda 21 que reunia em si dados referentes aos setores e questões relacionadas com os campos económico, social e ambiental, assim como meios de implementação de ações sustentáveis para cada país e cuja avaliação do progresso da sua aplicação decorreu no ano de 1997 (General Assembly, 1997; CIB, 1999; iiSBE Portugal, 2011).

No mesmo ano, foi aprovada a Convenção sobre Alterações Climáticas, mais conhecida por Protocolo de Quioto, onde os representantes de mais de 150 países acordaram a redução dos gases de efeito de estufa em 5,2 pontos percentuais relativamente ao ano de

1990, tendo como prazo para o efeito o intervalo entre 2008 e 2012. Com a Emenda "*Doha Amendment To the Kyoto Protocol*" adotada a 8 de Dezembro 2012 no Qatar, foi estabelecido um compromisso na redução de 18 pontos percentuais relativamente às emissões de 1990, num período de tempo que vai de 2013 a 2020 (United Nations, 2013).

Em 1994 realizou-se a Conferência das Cidades e Vilas Europeias Sustentáveis, onde as autoridades locais se comprometeram a desenvolver metodologias e estratégias que levem à implementação de soluções concretas no âmbito da sustentabilidade urbana. O objetivo é a resolução de problemas como os desequilíbrios arquitetónicos, sociais, económicos, políticos e ambientais que coloquem em risco o bem-estar e qualidade de vidas dos habitantes (Farinha et al, 2004).

Após 10 anos de aplicação de medidas como as diretrizes da Agenda 21, houve necessidade de se realizar um novo encontro na Cimeira de Joanesburgo em 2002, na Conferência das Nações Unidas sobre desenvolvimento sustentável, para sensibilizar e persuadir os países a elaborarem planos de ação prioritários relativamente ao combate à pobreza, alteração dos padrões de produção e consumo, e proteção e valorização dos recursos naturais, correlacionando cada uma destas áreas com a problemática ambiental e a implementação de políticas no âmbito da indústria, energia, agricultura, transporte e turismo.

Em Junho de 2012 realizou-se uma cimeira das Nações Unidas no Brasil denominada Rio+20 cujo resultado foi um documento com 53 páginas acordado por 188 países, com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável. Também governos, empresários e parceiros da sociedade civil registaram 700 compromissos para a aplicação de medidas sustentáveis para responder a necessidades no campo da sustentabilidade energética e dos transportes (ONU Brasil, 2012).

Efetivamente, o desenvolvimento sustentável é muito mais abrangente do que na realidade se faz transparecer. Além da simples preservação dos ecossistemas, as gerações futuras devem ter igual acesso aos recursos naturais e deve existir equidade entre seres humanos a nível social, ético e económico. O desenvolvimento mundial tem que se posicionar de modo a que os sistemas naturais tenham capacidade para se regenerarem no tempo de vida útil das gerações humanas.

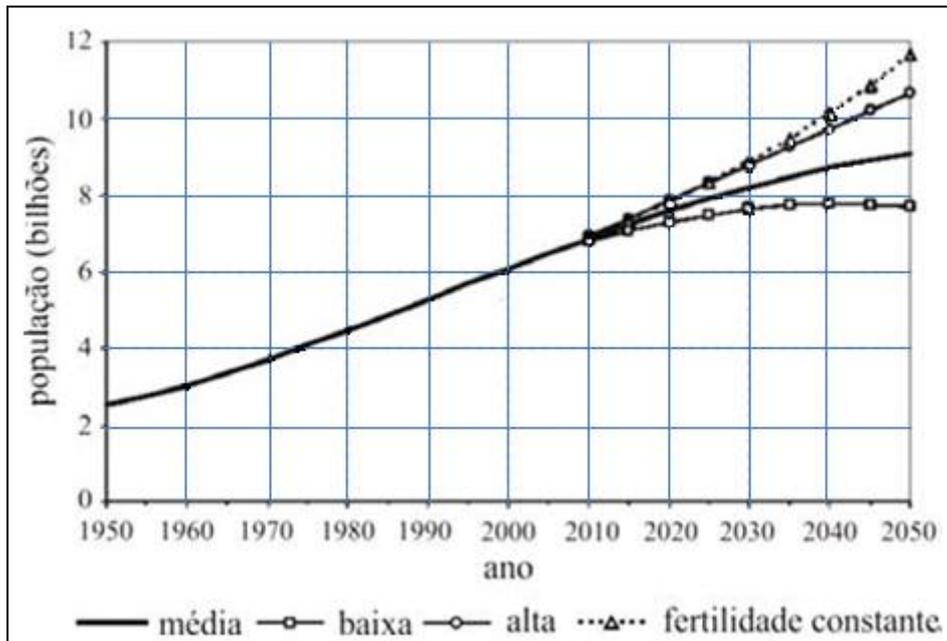


Figura 1: População mundial – Evolução e previsões segundo os índices de fertilidade.

Fonte: (Khalfan, 2002; Lopes, 2010)

Como ilustra a (Khalfan, 2002), em 2010 a população mundial atingiu os 6,9 mil milhões de habitantes, sendo o crescimento anual de 77 milhões por ano. Desde 1960, o consumo dos recursos naturais tem aumentado exponencialmente, assim como o consumo de combustíveis fósseis, a produção industrial, a exploração de espaços agrícolas, a desertificação, a contaminação dos ecossistemas, os confrontos e as despesas militares, o nível de conforto exigido e o desenvolvimento tecnológico. De forma inversa, decrescem as zonas florestais, os ecossistemas e as fontes de energia não renováveis. Grandes conferências como as que têm decorrido ao longo da História, medidas, políticas, leis e protocolos, revelam-se fundamentais para que o desenvolvimento sustentável seja uma realidade, com vista à prevenção do meio ambiente, redução da produção de resíduos nocivos, do consumo de recursos como a água e das fontes de energia não renováveis. Também não podem ser esquecidas as questões sociais como as necessidades humanas que são sustentadas em simultâneo com o desenvolvimento económico. Em suma, a sustentabilidade tem que ser aplicada de forma equitativa pelas áreas da economia, do ambiente e social. Atualmente a comunidade tem-se focado mais no desenvolvimento económico, atirando para segundo plano as questões sociais e o modelo de preservação do ambiente (Kates, 2010).

2.2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A construção é uma atividade inventada pelo homem e que passou de geração em geração civilizacional como meio de suporte à maioria das suas atividades. Exemplo disso é a construção de edifícios, pontes, redes de energia, vias de comunicação ou barragens, que possibilitaram a melhoria do nível de vida das pessoas.

Ao longo da História, o Homem necessitou de um espaço coberto e protegido quer para se abrigar das intempéries da natureza, quer para repousar após a execução das suas atividades diárias. Estes espaços foram caracterizados primeiramente como abrigos naturais e, com o avançar da tecnologia e conhecimentos, deram lugar a edifícios. Atualmente, não só as atividades de lazer e repouso são realizadas em edifícios, assim como muitas atividades laborais.

A posse de um abrigo é um direito humano. Porém, em todo mundo existem milhões de pessoas que não têm um lar, ou vivem em condições desumanas devido à pobreza, conflitos militares ou desastres naturais (Lopes, 2010).

Os edifícios podem ser agrupados em duas categorias: residenciais e de serviços, os quais visam satisfazer as necessidades do crescimento populacional e económico. Presentemente, a maioria dos edifícios projetados tem um tempo de vida útil superior a 40 anos e alguns dos já existentes podem atingir ou ultrapassar os 100 anos (CIB, 1999). Assim, conclui-se que há uma forte ligação entre o sector da construção e o ambiente com impactos duradouros a nível da acumulação de materiais, das emissões de cargas poluentes e do consumo de recursos, tais como:

- o solo que fica reservado a determinada infraestrutura;
- as matérias-primas que dão origem aos materiais de construção e materiais para os bens de consumo, que são desperdiçados pela ineficiência de processos de utilização ou de fabrico (CIB, 1999).

É fundamental que o desenvolvimento sustentável incida neste sector, para melhor racionalizar o consumo dos recursos utilizados, melhorar a qualidade de vida humana e aumentar o crescimento económico das comunidades, pelo número de postos de trabalhos que gera, volume de negócios a longo prazo e o impacto que tem na economia de cada país.

A construção sustentável foi definida pela primeira vez por Charles Kibert na Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável no ano de 1994, como sendo a conceção e gestão racional do ambiente construído, sustentando-se nos princípios da eco-eficiência e no uso racional dos recursos (CIB, 1999; iiSBE Portugal, 2011). As três dimensões que constituem a construção sustentável são as condicionantes económicas, de equidade social e de qualidade ambiental, como mostra a :



Figura 2: Dimensões da construção sustentável.

Fonte: (iiSBE Portugal, 2011)

O equilíbrio entre as três dimensões para se atingir uma construção sustentável depende dos princípios enunciados na conferência, como a diminuição do consumo de recursos, a maximização da reutilização de recursos, o uso de recursos renováveis e recicláveis, a preservação do meio ambiente evitando a poluição e a má qualidade do ambiente construído (CIB, 1999).

O design e a construção tradicional assentavam as suas diretrizes sobretudo no custo, desempenho e qualidade. A construção sustentável acrescenta a essas linhas orientadoras preocupações como a minimização do gasto dos recursos e da degradação do meio ambiente, procurando a criação de um ambiente construído saudável, sendo um desafio aplicá-las em todas as fases do ciclo de vida de uma construção (Huovila & Koskela, 1998).

Para cumprir os objetivos das linhas anteriormente referidas, é necessária a implementação de um conjunto de técnicas e medidas. Das técnicas fazem parte a arquitetura bioclimática,

a eficiência energética, os mecanismos de gestão e aproveitamento de água e a aplicação dos materiais adequados. Das medidas fazem parte a formulação de leis e incentivos, bem como as boas práticas na seleção dos equipamentos que consomem energia, no uso da água e na promoção da reutilização e reciclagem dos materiais (Khalfan, 2002; Rocheta et al, 2007).

Em suma, para que uma construção seja sustentável terá que respeitar passos essenciais como (Pinheiro, 2006):

- Planeamento sustentável da obra;
- Aproveitamento passivo dos recursos naturais;
- Eficiência energética;
- Gestão e economia da água;
- Gestão dos resíduos na edificação;
- Qualidade do ar e ambiente interior;
- Conforto térmico e acústico;
- Uso racional dos materiais;
- Uso de produtos e tecnologias verdes.

2.3. CONSUMO DE ENERGIA

Segundo o livro Eurostat edição 2012, a dependência energética da Europa dos 27 relativamente às fontes primárias para todas as suas atividades foi de 52,7% em 2010, o que representou uma subida de 6% desde o ano 2000. Por seu turno, a dependência energética portuguesa durante esses 10 anos ficou acima da média europeia, fixando-se nos 75,4% em 2010, devido à forte dependência dos recursos endógenos como carvão, petróleo e gás natural (European Commission, 2012).

Dependência Energética Portuguesa e Média EU-27							
Ano		2000	2006	2007	2008	2009	2010
EU-27		46,7	53,7	53,0	54,6	53,7	52,7
Portugal		84,9	83,0	82,0	82,8	81,0	74,4

Figura 3: Dependência energética Portuguesa e a média EU-27

Fonte: (European Commission, 2012)

A Europa a 27 tinha em 2010 uma potência instalada capaz de produzir 875 GW de energia elétrica. Essa capacidade de gerar de energia subiu cerca de 20,5% desde 2000, sendo que as centrais termoelétricas detêm a maior fatia da capacidade produtiva com 54,7%, contra 15% das centrais nucleares e 16,5% das hidroelétricas. Como se verifica na , a partir dos 875 GW instalados, foram produzidos em 2010 um total de 3320 TWh o que representou um crescimento de 10% na última década. Como era de prever, as centrais termoelétricas lideraram a produção com 52,5%, e apesar da potência instalada das centrais hidroelétricas ser superior à das nucleares, as últimas produziram cerca de 28% contra os 11% das centrais hidroelétricas (European Commission, 2012).

Potência Instalada por Tipo de Centrais (GW)												
Ano		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Total		695	704	712	728	739	751	772	778	810	833	875
Termoelétricas		407	410	412	423	428	434	446	451	459	464	478
Nucleares		137	137	138	137	136	135	134	133	133	132	132
Hidroelétricas		136	137	138	137	138	139	140	142	142	144	145
Outras		14	19	25	30	36	44	52	62	76	93	120
Produção de Energia (TWh) na EU-27												
Ano		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Total		3001	3082	3104	3193	3260	3280	3324	3339	3345	3183	3320
Termoelétricas		1642	1662	1715	1792	1805	1833	1861	1896	1858	1708	1744
Nucleares		945	979	990	996	1008	998	990	935	937	894	917
Hidroelétricas		353	373	315	306	323	306	309	310	327	328	366
Outras		61	68	83	99	123	143	165	197	222	253	293

Figura 4: Potência Instalada por Tipo de centrais (GW) e produção de energia (TWh) na EU-27

Fonte: (European Commission, 2012)

Apesar de não possuir centrais nucleares, Portugal segue a tendência da média Europeia, com a potência instalada das centrais termoelétricas a ser superior à das hidroelétricas entre o ano de 2000 e 2010. Em 2010 a capacidade total para a produção de energia era de 18.919 MW, sendo que 52% pertencia às centrais termoelétricas, 27% às hidroelétricas e 20% a outro tipo de centrais. A energia total produzida em 2010 foi de 53.888 GWh, tendo sido 47% produzida pelas centrais termoelétricas, 30% pelas centrais hídricas e 22% por outro tipo de centrais (European Commission, 2012).

Potência Instalada por Tipo de Centrais (MW)										
Tipo de Centrais	Total		Termoelétricas		Nucleares		Hidroelétricas		Outras	
Ano	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
EU-27	694 750	874 825	407 081	477 958	137 292	131 689	136 391	145 117	13 986	120 061
Portugal	10 899	18 919	6 275	9 871	-	-	4 526	5 093	98	3 955

Produção de Energia (GWh)										
Tipo de Centrais	Total		Termoelétricas		Nucleares		Hidroelétricas		Outras	
Ano	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
EU-27	3 000 855	3 319 817	1 642 072	1 743 964	944 993	916 610	352 534	366 247	61 256	292 996
Portugal	43 452	53 888	30 584	25 535	-	-	11 323	16 147	1545	12 206

Figura 5: Potência Instalada por tipo de centrais (MW) e produção de energia (GWh) em Portugal

Fonte: (European Commission, 2012)

Relativamente à média europeia, no que toca ao consumo final de energia entre 2000 e 2010, registou-se um acréscimo de 32 Mtoe (*Million Tonnes of Oil Equivalent*). Em conjunto, os sectores residencial e de serviços consomem mais energia (459 Mtoe) do que os sectores dos transportes (365 Mtoe) e industrial (292 Mtoe), representando 40%, valor que a União Europeia pretende reduzir até 2020. Em Portugal, durante os 10 anos ilustrados na , o crescimento do consumo final de energia foi de 0,42 Mtoe, representado um contributo de 1% para a média Europeia (European Commission, 2012).

Consumo Final de Energia na EU-27 e Portugal (Mtoe)										
Setor	Total		Indústria		Transportes		Residencial		Serviços	
Ano	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
EU-27	1121	1153	330	292	341	365	292	307	115	152
Portugal	17,74	18,16	6,29	5,39	6,54	7,37	2,80	2,98	1,39	1,95

Figura 6: Consumo final de energia(Mtoe) na EU-27 e Portugal

Fonte: (European Commission, 2012)

2.4. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

Ao longo do tempo foram desenvolvidos vários métodos para a avaliação da sustentabilidade nos produtos, dos quais se destacam duas vertentes como os métodos do foro qualitativo e quantitativo. A análise de ciclo de vida é um método quantitativo e qualitativo bastante usado na análise da sustentabilidade (Bos & Meesters, 2008). Desta análise resulta a produção de um relatório com os aspetos ambientais de um ou vários produtos em estudo, durante os seus ciclos de vida, que compreende as fases da aquisição de matérias-primas, da produção, da operação e do processamento de resíduos. Esses aspetos são agrupados pelos fatores de peso que produzem impactos equivalentes, ou seja,

por exemplo, os poluentes que causam chuvas ácidas são expressos por peso de SO₂ e os que contribuem para o efeito de estufa por peso de CO₂. Torna-se assim possível comparar os impactos ambientais de produtos com a mesma funcionalidade para determinar qual o mais sustentável (Bos & Meesters, 2008). Os impactos que podem ser estudados neste método são: gases de efeitos de estufa, destruição da camada de ozono, acidificação, eutrofização, nevoeiro fotoquímico, consumo energético, saúde humana e ambiental, esgotamento dos recursos, utilização do solo e água e desperdícios residuais (Bos & Meesters, 2008).

A análise de ciclo de vida teve origem nos anos 60 quando a comunidade científica começou a preocupar-se com o possível esgotamento rápido dos combustíveis fósseis. Efetuaram-se vários estudos em que se fazia a previsão do impacto do aumento da população mundial na procura de matérias-primas e recursos energéticos (Svoboda, 1995). O resultado suscitou maior interesse pela realização de cálculos mais detalhados relativamente à energia aplicada nos processos industriais. Exemplo disso foi o estudo efetuado pelo *Midwest Research Institute* para a Coca-Cola, que analisava qual o tipo de recipiente para a bebida que teria o menor impacto ambiental, e que requereria menor quantidade de matérias-primas e energia (European Environment Agency, 1997; Svoboda, 1995). Um estudo semelhante foi realizado no Reino Unido em 1972 por Ian Boustead que calculou a energia total consumida no fabrico de recipientes de vidro, plástico, ferro e alumínio (European Environment Agency, 1997).

Durante as décadas de 70, 80 e 90 a aplicação desta técnica de avaliação da sustentabilidade acentuou-se em produtos, processos e atividades diversificados, assim como aumentou o empenho em desenvolver metodologias relacionadas com a análise de ciclo de vida (Bos & Meesters, 2008). Grupos de investigadores tentaram criar consistência nos procedimentos da análise de ciclo de vida, como ocorreu em 1993 com a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), que publicou uns guias técnicos para usar o método. A maior descoberta da SETAC para este método foi a decomposição da *Life Cycle Assessment* (LCA) em três vertentes interligadas:

- *Life cycle inventory* – Processo que determina a quantidade de energia, de água e de recursos naturais necessários para extrair, produzir e distribuir um produto. Também considera os resultados subjacentes relativos às emissões atmosféricas e aos desperdícios.

- *Life cycle impact analysis* - Processo que avalia os efeitos na saúde humana e ecológica a partir das cargas ambientais presentes num inventário.
- *Life cycle improvement analysis* – Processo que permite reduzir a sobrecarga ambiental associada com a energia e matérias-primas utilizadas, assim como com o ciclo de vida total do produto em questão (Levan, 1995).

Para consolidar os procedimentos e métodos relacionados com a análise de ciclo de vida, a *International Organization for Standardization (ISO)* criou normas como a ISO 14040 a 14043, publicadas entre 1997 e 2000, e que foram substituídas pela revisão da ISO 14040 e 14044 de 2006 (UNEP, 2009).

2.4.1. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS

Tal como os produtos, os edifícios passam por várias fases ou estágios ao longo da sua existência, que variam conforme a sua utilidade e a qualidade dos materiais neles aplicados. As fases do ciclo de vida são (Georgia Institute of Technology, 2010):

- Fase de conceção – Corresponde ao período de tempo em que o edifício está a ser projetado e os seus estudos em desenvolvimento. Para esse processo são consumidos energia no funcionamento dos escritórios, combustíveis no transporte em deslocações ao local do projeto, água para necessidades básicas do homem e papel para esboços, planos, licenciamentos;
- Fase de construção – Etapa em que o edifício projetado e aprovado ganha forma, sendo que o processo construtivo é importante para a sustentabilidade desta fase. De facto, existe impacto associado à extração de matérias-primas, e sua transformação em materiais, transporte para o local de construção, consumo de energia em cada um dos processos anteriores, assim como a que é necessária para erguer a construção, à produção de resíduos devido ao desperdício dos materiais, à possível contaminação do solo e água pelo não controlo e tratamento dos resíduos produzidos, à destruição do ambiente natural até então instalado;
- Fase de operação – Período onde se assiste à sua ocupação e ao funcionamento do edifício, seja para serviços ou habitação, sendo nesta fase que o seu impacto no ciclo de vida é mais evidente. Existe consumo de energia e consequentes emissões atmosféricas relacionados com o uso de aparelhos elétricos e otimização do conforto térmico interno. Outro ponto significativo é o consumo de água, a necessidade de a tratar e evitar desperdícios deste elemento essencial à vida. Também, a produção de resíduos ao longo

do funcionamento dos edifícios tem impactos ambientais, devido ao processo usado no seu tratamento;

- Fase de demolição e reciclagem – É a última fase do ciclo de vida em que o edifício entra em período de desmantelamento. Assiste-se à produção de resíduos, dispêndio de energia tanto na demolição como no tratamento dos resíduos e no consumo de combustíveis no seu transporte. Por outro lado, associadas a estas atividades estão as emissões de gases de efeito de estufa e afetação do solo.

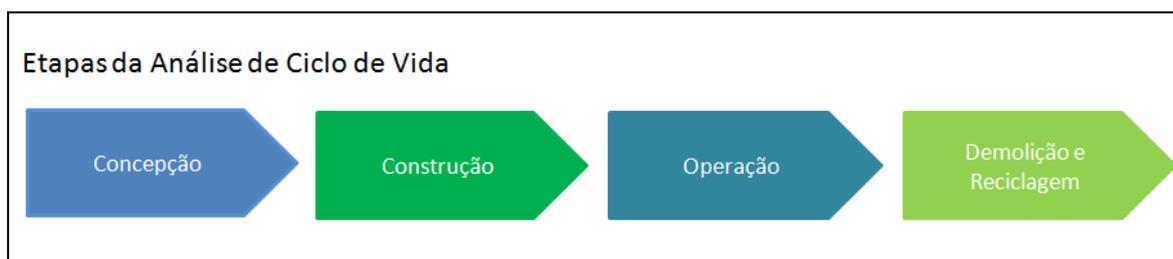


Figura 7: Fase do ciclo de vida dos edifícios

Fonte:(Georgia Institute of Technology, 2010)

Quando é realizada uma análise de ciclo de vida num edifício, geralmente são estudados os efeitos negativos presentes em cada uma das suas fases. Um edifício ou qualquer outra infraestrutura tem atualmente um tempo de vida superior a 40 anos. Alguns dos existentes poderão atingir, ou já ultrapassaram mesmo, os 100 anos. Isto implica que a fase de operação detém o maior impacto por a sua temporalidade atingir várias dezenas de anos, enquanto a fase de construção e demolição/reciclagem tem uma duração entre meses a poucos anos, dependendo da complexidade da obra (Marques, 2008).

De uma forma generalizada, os impactos ambientais durante o ciclo de vida dos edifícios, sejam negativos ou positivos, advêm da extração e consumo de matérias-primas, alteração do uso e poluição do solo, consumo de energia e conseqüente emissão de CO₂ e outros gases nocivos, consumo de água, geração de poluição sonora e luminosa, e conseqüente desmobilização dos habitats de diversas espécies (Marques, 2008).

No âmbito dos aspetos socioeconómicos, por um lado a concretização de um edifício gera riscos de saúde pública, obstáculos no quotidiano da comunidade envolvida, necessidade de edificação de vias de comunicação, estabelecimento de redes de transportes e alteração do trânsito e da segurança local. Por outro lado, sob um ponto de vista mais positivo,

assiste-se à criação de emprego, ao crescimento local potenciando oportunidades para desenvolver a economia local, à geração de conforto e funcionalidade (Marques, 2008).

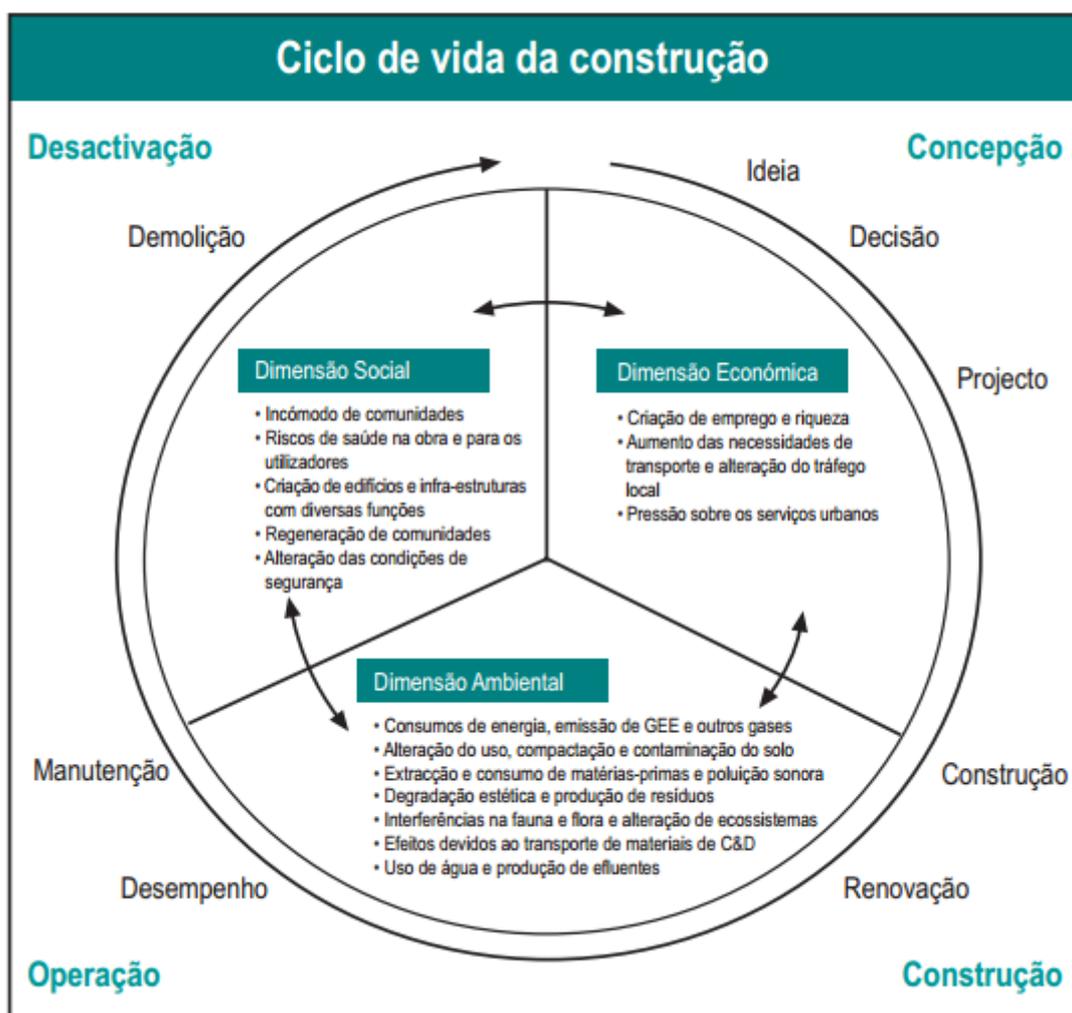


Figura 8: Etapas de um edifício e seus impactos

Fonte: (Pinheiro, 2006)Análise ciclo de vida energética dos edifícios de serviços

2.4.2. ANÁLISE CICLO DE VIDA ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS

Em face da multidisciplinaridade e do volume considerável de informação que é necessário reunir e tratar para se proceder ao estudo completo do ciclo de vida de um edifício, e porque muitos dos aspetos, fruto dessa multidisciplinaridade, extravasam a área da engenharia eletrotécnica, no âmbito desta tese apenas será focada a análise de ciclo de vida da energia nos edifícios de serviços e correspondente impacto ambiental, no que toca às emissões de dióxido de carbono para a atmosfera durante as principais fases como

construção, operação e demolição. Relativamente à energia consumida no ciclo de vida do edifício, numa publicação de 1996, Cole e Kernan sugeriram várias etapas (Cole & Kernan, 1996):

- A energia incorporada nos materiais para construir o edifício;
- A energia incorporada recorrente para reabilitar e manter o edifício na sua vida efetiva;
- A energia associada ao funcionamento do edifício, em termos de conforto térmico interior, iluminação e outros equipamentos;
- A energia relativa à demolição do edifício na fase final do seu ciclo efetivo.

Em 1998, Eaton e Amato definiram uma estrutura mais detalhada relativamente ao ciclo de vida energético dos edifícios em que a energia era consumida (Eaton & Amato, 1998):

- No transporte para o local dos materiais e mão-de-obra;
- Na construção do edifício;
- Na operação de todas as funcionalidades elétricas do edifício;
- Na manutenção, reparação e renovação do edifício;
- Na demolição ou desmantelamento do edifício no fim do ciclo de vida;
- No transporte dos resíduos para reciclagem;
- No processo de reciclagem ou de tratamento.

Segundo estudos realizados nesta vertente da análise de ciclo de vida da energia, normalmente as fases da construção e demolição não entram nas contas do desempenho energético do edifício, assim como nas respetivas emissões de CO₂ (Cole & Kernan, 1996; Page, 2006).

A energia incorporada é a energia consumida em todas as atividades necessárias que constituem um processo como a extração, transporte, refinação de materiais para fabrico e montagem dos produtos. A componente direta da energia consumida em cada uma das fases é menos difícil de ser quantificada, enquanto a componente indireta correspondente à energia necessária para sustentar os processos principais, é mais difícil de determinar. Esta última componente, inclui a energia incorporada de outras variáveis de entrada, como por exemplo, bens e maquinaria para auxiliar os processos.

A energia total incorporada comporta a energia direta comprada para o desenvolvimento do processo e a energia indireta de outras variáveis menos óbvias que ajudam o processo. Na construção, a componente direta corresponde à energia despendida na construção do

edifício e a indireta refere-se à energia incorporada nos materiais e produtos utilizados para a sua edificação. Estas duas componentes constituem a energia incorporada inicial do edifício. Ao longo do ciclo de vida do edifício a energia incorporada nos materiais é adicionada através dos bens e serviços utilizados na manutenção e restauração, sendo designada como energia recorrente (Fay et al, 2000).

Várias metodologias foram criadas para calcular a energia incorporada da forma mais completa e precisa possível como análise de processo, análise de entrada-saída e análise híbrida.

O método de análise de processo é o mais simples na determinação da energia embebida e está destinado a processos específicos da indústria.

Na produção de um produto facilmente se contabiliza a energia consumida na fábrica (energia direta). Porém, essa medida exclui a energia gasta para extrair a matéria-prima e transporta-la até à fábrica (energia indireta). Este método consegue determinar a energia consumida na produção de cada unidade. No entanto, em cada uma das fases não é capaz de introduzir a energia referente a bens e serviços auxiliares para o processo (Fay et al, 2000).

O método que permite estimar a energia total incorporada nos produtos é conhecido por análise entrada-saída. Este recorre à informação estatística nacional realizada pelos governos que serve para o estudo dos fluxos económicos nacionais que podem ser transformados em fluxos de energia através da média das tarifas de energia. Apesar de teoricamente ser um método completo, na prática revela-se insuficiente para um produto individual (Treloar, 1998).

Quanto ao método híbrido, este combina os pontos fortes da análise de processo com a análise entrada-saída, de forma a eliminar as fraquezas. O maior aspeto deficitário deste método é a falta de informação fiável e compreensível sobre o consumo de energia na indústria (Treloar, 1998).

A energia consumida no período de funcionamento do edifício está relacionada com o conforto térmico interior, nomeadamente o arrefecimento e aquecimento dos espaços, a preservação da qualidade do ar através da ventilação, a iluminação interior e utilização dos equipamentos elétricos e outros serviços. Os padrões de consumos registados nesta fase

variam com a tipologia do edifício, as técnicas e tecnologias aplicadas, estilo de vida dos seus ocupantes, a natureza climática do local e a estação do ano. Segundo os estudos realizados a fase de operação é a que tem mais peso na análise de ciclo de vida, relativamente ao consumo de energia num edifício comparativamente com os períodos de construção e demolição, e as parcelas de energia incorporada inicial e recorrente.

Através do estudo efetuado por Cole e Kernan, concluiu-se que com o melhoramento da eficiência energética dos edifícios, a importância da energia incorporada inicial crescerá, relativamente ao ciclo de vida da energia consumida (Cole & Kernan, 1996).

Num estudo realizado para edifícios de serviços, através dos resultados obtidos, Page hierarquizou as fases mais importantes do ciclo de vida de um edifício de serviços sob o ponto de vista energético. Atribuiu o primeiro posto à operação de um edifício de escritórios com um contributo para o seu ciclo de vida energético na ordem dos 82% e a segunda maior fase, à construção, que apresenta um impacto de 15% no ciclo de vida (Page, 2006).

A energia consumida na fase de demolição de um edifício é composta por três parcelas: desmantelamento, transporte e eliminação dos resíduos de desmantelamento. O cálculo da energia para esta fase é de difícil realização, porque existe muito pouca informação para o fazer, e o cálculo é baseado em suposições para o tempo de vida útil do edifício. No estudo efetuado por Cole e Kernan, o processo de demolição prevê um consumo de energia entre 1 a 3% da energia embebida inicial do edifício (Cole & Kernan, 1996).

2.5. REGULAMENTAÇÃO

Na União Europeia, a grande iniciativa respeitante à performance energética nos edifícios foi a promulgação da Diretiva 2002/91/CE por parte do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia. Esta Diretiva surge como uma iniciativa da Comunidade Europeia para corresponder aos compromissos assumidos com a assinatura do Protocolo de Quioto e para combater a dependência energética Europeia face ao exterior *Green Paper* (European Parliament Council, 2003). A Comunidade Europeia tem pouca influência no tocante aos recursos energéticos que tem à disposição, mas pode reduzir a sua dependência, e consequentes emissões de gases de efeito de estufa, através da melhoria da eficiência energética, já que até então o consumo dos edifícios era um terço da energia total consumida na UE (European Parliament Council, 2003). Esta Diretiva seguiu os requisitos

para o fabrico de esquentadores de água, através da Diretiva de 1992 92/42/EEC, assim como a Diretiva 89/106/EEC na aproximação das leis, regulações e posições administrativas dos Estados Membros, respeitante aos produtos de construção.

O âmbito da Diretiva 2002/91/CE assentava sobre o setor residencial e terciário. As disposições para a certificação não abrangem alguns edifícios tais como os edifícios históricos, instalações industriais, e outros. Também não estabelecia nenhuma medida para equipamentos móveis, como eletrodomésticos, já que as medidas para rotulagem e requisitos mínimos obrigatórios de eficiência estavam previstas no Plano de ação para a Eficiência Energética. Os principais pontos-chave desta Diretiva eram (European Parliament Council, 2003):

- a integração de uma metodologia de cálculo comum relativamente ao desempenho energético integrado dos edifícios, que inclui todos os aspetos que determinam a eficiência energética, como os sistemas de climatização, iluminação, posição e orientação do edifício, recuperação de calor e ocupação, e não apenas a qualidade do isolamento ;
- a aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios novos e dos edifícios existentes sujeitos a grandes obras de renovação;
- a existência de sistemas de certificação energética dos edifícios novos e existentes, e para os edifícios públicos a exibição proeminente dessa certificação e de outras informações relevantes. Os certificados devem possuir menos de 5 anos.
- a realização de inspeções regulares às caldeiras e aos sistemas centralizados de ar condicionado presentes nos edifícios, assim como uma avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras possuem mais de 15 anos.

Os certificados energéticos deviam ser disponibilizados aquando da construção dos edifícios, da sua venda ou aluguer. Para os proprietários dos edifícios alugados que não pagam as taxas para despesas de energia, a Diretiva previa atuação sobre os mesmos. Além disso, os próprios ocupantes dos edifícios teriam que regular o seu próprio consumo relativo ao aquecimento e águas quentes sanitárias, desde que as medidas fossem rentáveis (European Parliament Council, 2003). Por último, os Estados Membros ficaram com a responsabilidade de estabelecer as normas mínimas, bem como garantir a certificação e inspeção dos edifícios por pessoal qualificado e independente. A Comissão Europeia, com a assistência de um comité, ficaria responsável pela adaptação do anexo ao progresso

técnico. Este anexo contém o quadro para o cálculo do desempenho energético dos edifícios e os requisitos para a inspeção de caldeiras e instalações de sistemas de climatização centralizados (European Parliament Council, 2003).

No dia 19 de Maio de 2010 foi adotado pelo Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia uma nova reformulação da Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios 2010/31/EU, para reforçar os requisitos para o desempenho energético e clarificar e simplificar algumas disposições presentes na Diretiva 2002/91/CE. A importância desta reformulação consiste (European Parliament Council, 2010):

- na reação ao aumento da energia consumida pelos edifícios, que representava então 40% da energia total consumida na União Europeia, e à expansão progressiva do setor da construção;
- nas ações para atingir as metas estabelecidas para poupar energia até 2020, através da melhoria da eficiência energética nos edifícios;
- na redução do consumo de energia e no uso de energia obtida a partir das fontes renováveis, assim como na promoção da segurança na distribuição da energia e no desenvolvimento tecnológico para criar oportunidades de trabalho a nível rural e regional;
- na melhoria dos resultados relativos à implementação da Diretiva de 2002, já que esta última não foi bem sucedida.

O principal objetivo foi a implementação de um novo conceito “*Nearly Zero Energy Building*” que se entende por edifício com um desempenho energético muito elevado, em que as necessidades de energia são quase nulas, devendo ser satisfeitas através de energia proveniente de fontes renováveis, produzidas localmente ou nas proximidades (European Parliament Council, 2010).

A partir de 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos deverão satisfazer este novo conceito, enquanto os ocupados e detidos por autoridades públicas deverão preencher os mesmos requisitos até ao dia 31 de Dezembro de 2018 (European Parliament Council, 2010).

A metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios deve ser adotada pelos Estados Membros, quer a nível regional ou nacional, considerando aspetos fundamentais tais como as características térmicas reais, a instalação de aquecimento e fornecimento de

água quente, as instalações de ar condicionado, a ventilação natural ou mecânica, a iluminação, a conceção, posicionamento e orientação dos edifícios incluindo as condições climáticas exteriores, os sistemas solares passivos e proteções solares, as condições climáticas internas e as cargas internas (European Parliament Council, 2010). Também não devem ser esquecidas as condições locais de exposição solar, sistemas solares ativos, outros sistemas de produção de energia a partir das renováveis, a eletricidade produzida da cogeração, as redes urbanas de aquecimento/arrefecimento e a iluminação natural. De acordo com o estabelecido na metodologia de cálculo, os Estados Membros têm que definir os requisitos mínimos relativos ao desempenho energético, com o objetivo de atingir os níveis ótimos de rentabilidade, com uma revisão periódica de 5 em 5 anos (European Parliament Council, 2010).

Podem ser distinguidas várias categorias de edifícios como os novos, os já existentes ou os de outras tipologias. Os edifícios existentes, quando sujeitos a grandes renovações, devem beneficiar de uma melhoria do seu desempenho energético que cumpra os requisitos mínimos. Os novos edifícios estão obrigados a cumprir os requisitos mínimos e antes da sua construção serão alvo de estudos para a viabilidade da instalação de tecnologia para produção de energia renovável, instalação de bombas de calor, integração nas redes urbanas de aquecimento/arrefecimento e implementação ou ligação a sistemas de cogeração. Fora dos requisitos mínimos estão os edifícios oficialmente protegidos, os utilizados como locais de culto, os temporários, os residenciais a serem utilizados por um período anual limitado e os edifícios com área útil inferior a 50 m². Qualquer sistema técnico ou elemento construtivo da envolvente do edifício, se for instalado como sendo novo ou substituído, deve cumprir os requisitos mínimos sob o ponto de vista do desempenho energético (European Parliament Council, 2010).

No que toca aos incentivos financeiros e entraves ao mercado, os Estados Membros são responsáveis por delinear uma lista com os instrumentos existentes e potenciais para promover melhorias do desempenho energético dos edifícios com uma periodicidade de 3 em 3 anos.

Os Estados Membros devem implementar um sistema de certificação do desempenho energético dos edifícios que inclua informações sobre o consumo energético dos edifícios, bem como recomendações sobre a melhoria da rentabilidade. Sempre que um edifício ou uma fração autónoma sejam colocados à venda ou em arrendamento, o indicador de

desempenho energético do respetivo certificado deve ser mencionado nos anúncios publicados nos meios de comunicação comerciais (European Parliament Council, 2010).

Quando forem construídos, vendidos ou arrendados edifícios ou frações autónomas, este certificado é mostrado ao novo inquilino ou ao potencial comprador e entregue ao comprador ou ao novo inquilino. No caso dos edifícios com uma área total ocupada por uma autoridade pública superior a 500 m² e dos edifícios com uma área total frequentemente visitada pelo público superior a 500 m², o certificado de desempenho energético deve ser afixado em posição de destaque, claramente visível para o público em geral (este limiar será reduzido para 250 m² em 9 de Julho de 2015).

Os Estados Membros são responsáveis por implementar um sistema de controlo regular dos sistemas de aquecimento e ar condicionado dos edifícios (European Parliament Council, 2010).

Sendo um Estado Membro da União Europeia, Portugal concluiu a transposição da Diretiva 2002/91/CE, relativamente ao desempenho energético dos edifícios, para a legislação nacional em Abril de 2006, através da publicação de três Decretos-Lei (Decreto-Lei n.º 78/2006; RCCTE & RSECE, 2006):

- Decreto-Lei n.º 78/2006 - funda o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e estabelece as regras de funcionamento compreendendo os artigos n.º 7 e 10 da Diretiva Europeia.
- Decreto-Lei n.º 79/2006 - exerce uma revisão ao RSECE, adicionando disposições para a inspeção regular de caldeiras e equipamentos de ar condicionado, como indicam os artigos 8 e 9 da Diretiva Europeia.
- Decreto-Lei n.º 80/2006 - realiza uma revisão ao RCCTE em concordância com os artigos 3 a 6 da Diretiva Europeia.

Outros dois documentos legislativos complementares foram publicados, como a Portaria n.º 461/2007, que definiu o faseamento da implementação do processo de certificação, e a Portaria n.º 835/2007, que estabeleceu as taxas de pagamento pelo registo e validação dos certificados no sistema.

Com esta implementação o SCE perseguiu dois objetivos: a economização de energia; e a garantia do conforto térmico e qualidade do ar interior nos edifícios. A Agência para a Energia (ADENE) é a entidade que ficou com a responsabilidade de gerir este processo. A

implementação do SCE nos diferentes tipos de edifícios dividiu-se em duas fases e conheceu a sua total aplicação em Janeiro de 2009.

Numa primeira fase, apenas os novos edifícios residenciais e não residenciais com área superior a 1000 m² e cujos pedidos de licenciamento ou autorização de edificação fossem apresentados à entidade competente, a partir de julho de 2007, estavam obrigados ao cumprimento das novas normas.

A segunda fase aplicou-se a todos edifícios novos sem restrições a nível da sua área e entrou em vigor um ano depois da primeira fase (Decreto-Lei nº78/2006; RCCTE & RSECE, 2006).

O SCE funciona conjuntamente com o RCCTE e o RSECE e o seu cumprimento é verificado ao longo das diversas fases da existência dos edifícios, por peritos qualificados. O certificado energético é produto resultante da aplicação da legislação relativa ao SCE, que serve para classificar o desempenho energético de edifícios residenciais e não residenciais, evidenciando possíveis melhorias para o seu desempenho. A classificação atribuída varia numa escala de eficiência que vai de A+ (alta eficiência) a G (baixa eficiência).

As metodologias de cálculo estão especificadas tanto no RCCTE como no RSECE para as diferentes tipologias de edifícios. Foi criado um programa pelo INETI para certificar os edifícios residenciais e não residenciais pequenos. Para estes os cálculos podem também ser efetuados manualmente, numa folha de cálculo, havendo programas comerciais disponíveis para o efeito com melhores interfaces gráficas, bases de dados de materiais e pormenores construtivos.

Relativamente aos grandes edifícios não residenciais têm que ser usados programas comerciais que estejam validados pela norma ASHRAE 140-2004, baseada em critérios do *Building Energy Simulation Test (BESTEST)* da *International Energy Agency (IEA)*, para se proceder ao cálculo do consumo de energia, com o auxílio de simulações horárias detalhadas numa base anual. Existem cerca de 20 programas Americanos e Europeus reconhecidos pelo *United States Department of Energy (US DOE)* (RCCTE & RSECE, 2006).

Aos novos edifícios e grandes remodelações apresentadas depois de 3 de Julho de 2006, aplicam-se os novos pedidos de licenciamento ou autorização de construção. Consoante o tipo de edifícios, sejam eles residenciais, escritórios, escolas, ou outros, estão destinados diferentes tipos e níveis de requisitos, dos quais fazem parte (RCCTE & RSECE, 2006):

- os valores máximos das necessidades de aquecimento/arrefecimento por m² de área útil (só para edifícios residenciais e pequenos não residenciais sem sistemas centralizados de climatização - $P < 25$ kW);
- os valores máximos admissíveis do coeficiente de transmissão térmica U para a envolvente;
- os requisitos mínimos relativos às pontes térmicas;
- os requisitos mínimos de sombreamento para os envidraçados;
- o limite de necessidades para as águas quentes sanitárias, implementando obrigatoriamente painéis solares térmicos. Especificamente para todos os novos edifícios residenciais e grandes edifícios não residenciais, com exposição solar acertada;
- o consumo máximo de energia para todos os edifícios, traduzido em energia primária por m² de área útil do pavimento;
- os requisitos mínimos de eficiência e qualidade para os componentes dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado, no caso dos edifícios não residenciais.

Para os edifícios grandes não residenciais existentes com área superior a 1000 m², o consumo global específico de energia é avaliado periodicamente por auditoria energética no âmbito do SCE, não podendo ultrapassar os valores estabelecidos pelo RSECE. Se o consumo global ultrapassar o máximo permitido, o proprietário do edifício terá que submeter um plano de racionalização energética (PRE) para aprovação nas entidades responsáveis, num prazo de 3 meses (RCCTE & RSECE, 2006). Nos edifícios grandes a construir, o consumo de energia nominal é determinado em simulação dinâmica, e após o seu funcionamento será sujeito a uma auditoria no final do 3º ano. Se o valor analisado em auditoria for superior ao que está estabelecido, o proprietário fica sujeito a uma coima anual até que a conformidade seja reposta. Também estão especificados requisitos rigorosos para a qualidade do ar interior dos novos edifícios não residenciais, que têm de garantir o mínimo de admissão de ar novo, de acordo com os seus espaços, e dos existentes que ficam sujeitos a monitorizações periódicas, bem como ações corretivas quando os poluentes ultrapassarem os limites (RCCTE & RSECE, 2006).

A transposição da Diretiva 2010/31/EU ainda se encontra numa fase de reformulação dos regulamentos referentes ao SCE, RCCTE e RSECE.

2.6. “NEARLY ZERO ENERGY BUILDING ”:TÉCNICAS E TECNOLOGIAS

A construção tradicional era considerada competitiva se os elementos construtivos utilizados otimizassem a fase de construção, conseguindo reduzir o seu período e recuperar rapidamente o investimento efetuado no projeto. Por estas razões, como se pode verificar na , advém a irrelevância e influências pouco ambientalistas atribuídas a determinados aspetos, como orientação do edifício, matérias-primas e materiais que o constituem, configuração e mecanismos de conforto interno onde a soma do contributo de cada parcela se traduz num elevado consumo energético (Mateus, 2004).

Após a primeira abordagem da definição de construção sustentável com a autoria do professor Kibbert em 1994, foram-se efetuando análises às características da construção tradicional, com base nas novas diretivas sustentáveis para os materiais de construção, produtos, processos construtivos e tecnologia emergente. As tipologias de construção eco eficiente e bioclimática tiveram origem no sentido de mudança e rutura, perante o caminho que as ações humanas estavam a seguir, as quais prejudicam a continuidade da vida no planeta. Estas duas tipologias pretenderam a preservação do meio ambiente, a partir do alargamento dos padrões da qualidade a todo ciclo de vida dos edifícios (Mateus, 2004). A grande diferença entre a construção bioclimática e a eco eficiente está na abrangência dos campos de atuação para a sustentabilidade. Enquanto a construção bioclimática foca-se essencialmente na redução dos consumos energéticos, através da aplicação de medidas eficientes na construção, a tipologia eco eficiente, para além do uso racional da energia, preocupa-se com a escolha dos materiais e matérias-primas em prol da defesa do ambiente, assim como com questões estruturais e soluções técnicas do edifício que se integrem no meio ambiente (Mateus 2004).

Aspectos	Tipos de construção		
	Convencional	Bioclimática	Eco-eficiente
Configuração do edifício	Outras influências	Influenciada pelo clima	Influenciada pelo meio ambiente
Orientação do edifício	Pouco importante	Crucial	Crucial
Fachadas e janelas	Outras influências	Dependentes do clima	Dependentes do meio ambiente
Fonte de energia	Gerada	Gerada/ambiente	Gerada/ambiente/local
Controlo do ambiente interno	Electromecânico (artificial)	Electromecânico/natural	Electromecânico/natural
Consumo de energia	Geralmente elevado	Reduzido	Reduzido
Fontes de matérias-primas	Pouco importante	Pouco importante	Reduzido impacte ambiental
Tipo de materiais	Pouco importante	Pouco importante	Reutilizáveis/recicláveis/reciclados

Figura 9: Tipos de construção

Fonte: (Mateus, 2004)

O “nearly zero energy building” é um conceito recente que conjuga a arquitetura, construção e desempenho energético, e entrou em força na UE, através da publicação da Diretiva 2010/31/EU em 2010. Com esta Diretiva pretende-se que os novos edifícios até 2020 tenham um desempenho energético elevado, em que as necessidades quase nulas sejam satisfeitas com a produção de energia a partir de fontes renováveis (European Parliament Council, 2010).

A forma para se atingir o que é requerido pela Diretiva, como se verifica na , passa por conjugar as diferentes soluções ao nível da envolvente do edifício, com os sistemas passivos e medidas de estanquicidade, de acordo com as condições de exposição climáticas do local. Conforme as necessidades energéticas e a ocupação do edifício, existem atualmente várias soluções eficientes para satisfazer as necessidades do conforto térmico no que diz respeito ao aquecimento, arrefecimento e renovação do ar, bem como preparação de águas quentes sanitárias. Também a nível dos equipamentos elétricos para o desenvolvimento das atividades, existe a possibilidade de utilizar aqueles que estão

certificados como os mais eco eficientes. Para colmatar as necessidades energéticas quase nulas dos edifícios segundo as características do local, estas poderão ser satisfeitas com tecnologias que usam fontes renováveis, tais como: solar térmico, fotovoltaico, aerogeradores, biomassa, energia das ondas e energia hidroelétrica (European Parliament Council, 2010; Gonçalves et al, 2012).

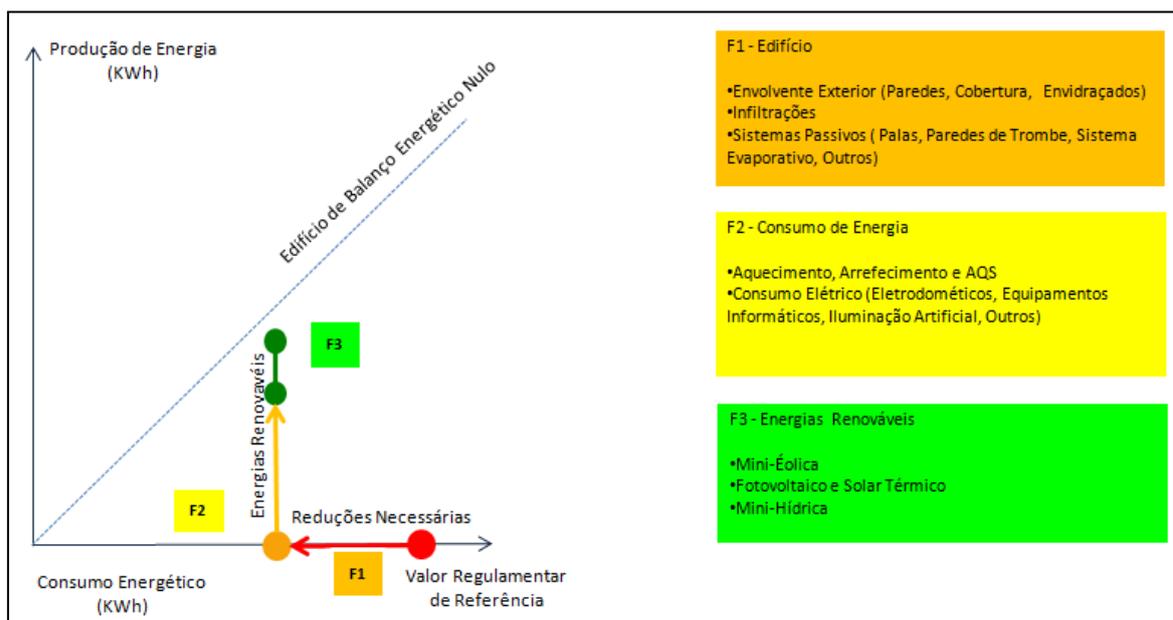


Figura 10: Forma de atingir o NZEB

Fonte: (Gonçalves et al, 2012)

2.6.1. FORMA E ORIENTAÇÃO DO EDIFÍCIO

No que respeita à forma e orientação do edifício, ambos têm que privilegiar a exposição solar do local. Geralmente, o ideal é que a maior fachada do edifício esteja orientada a sul para que a mesma receba o máximo de energia possível, não esquecendo a aplicação de sistemas de sombreamento no verão.

Outra condicionante a não esquecer nestes dois atributos de um edifício é as movimentações das massas de ar dominantes no local e a respetiva influência nas infiltrações no meio interior.

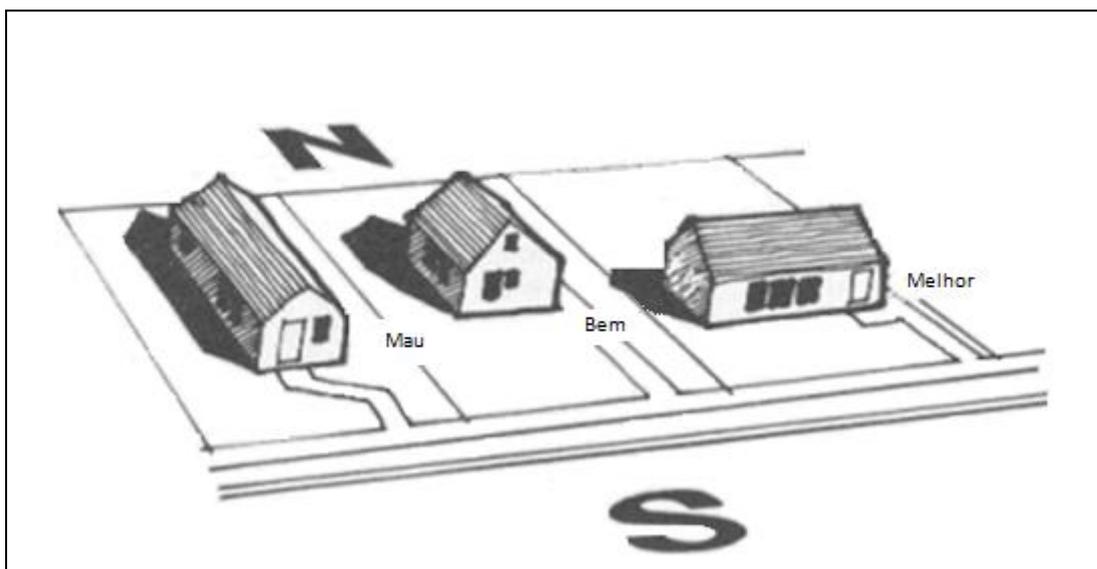


Figura 11: Correta orientação de um edifício

Fonte: (Lanham A. et al, 2004)

O contacto do edifício com a deslocação dos ventos, pode originar ganhos ou perdas de calor, tanto maiores quanto maior for a superfície de contacto. No verão, é benéfico para um edifício alto estar exposto ao vento mas, no inverno, é muito prejudicial. Através da dominância dos ventos no local, é possível estabelecer uma solução aceitável (Cañas et al, 2011; Lanham et al 2004; Horta 2012).

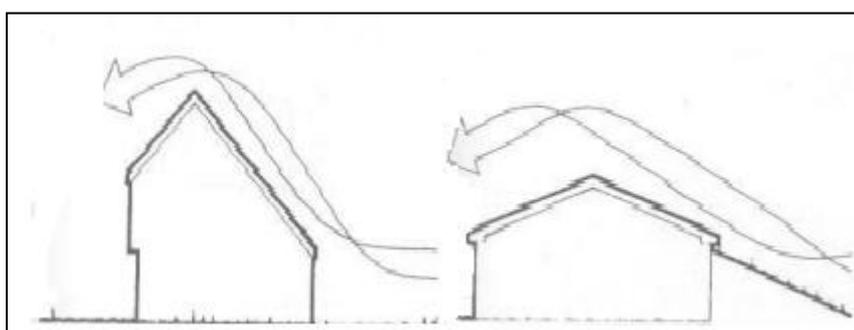


Figura 12: Relação entre a forma do edifício e o fluxo da massa de ar

Fonte: (Lanham A. et al, 2004)

2.6.2. INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica é um fenómeno que permite amortecer as condições térmicas no exterior e interior de um edifício, revelando-se determinante num clima com grandes amplitudes térmicas em curtos espaços de tempo, como é o caso do clima Português. A massa térmica,

resultante da conjugação dos diferentes elementos construtivos, influencia a transmissão de calor e consequente variação de temperatura no ambiente interior.

Na podem-se observar os diferentes comportamentos da temperatura interior consoante o nível da massa térmica. O funcionamento diário ideal no inverno, permite que o ganho de energia durante o dia se manifeste durante a noite, e no verão permite que a energia possa ser libertada com auxílio da ventilação, evitando a saturação da inércia térmica para o dia seguinte, devido ao armazenamento excessivo de calor. A integração de isolamento térmico nas soluções construtivas é fundamental não só pelo seu contributo para o desempenho da massa térmica requerida, bem como para reduzir as perdas de calor por condução relativamente às pontes térmicas existentes nos edifícios (Cañas et al, 2011; Lanham et al 2004; Horta 2012).

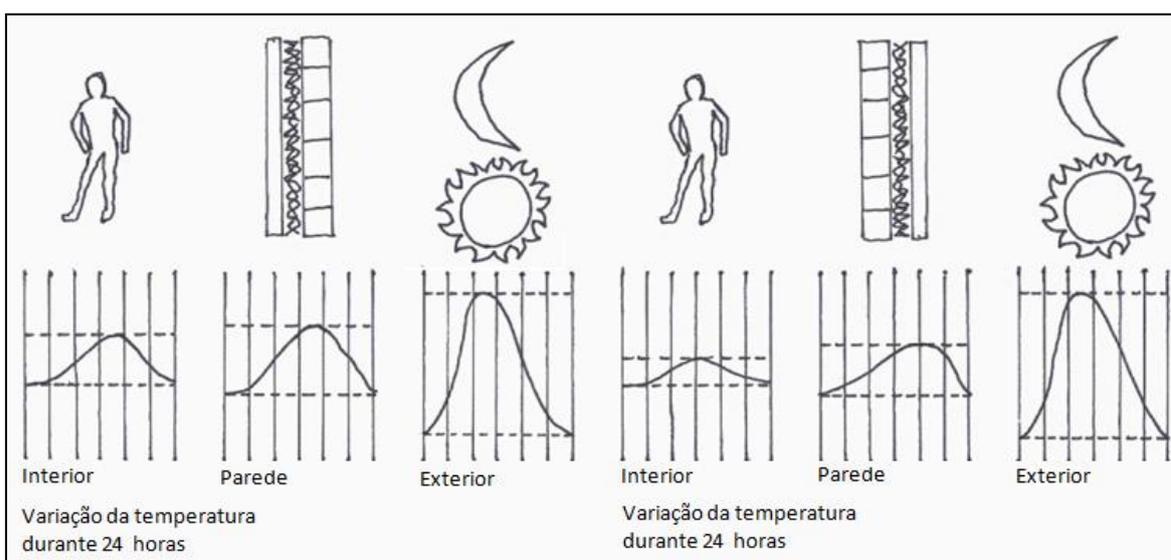


Figura 13: Efeito do tipo de massa térmica

Fonte: (Lanham A. et al, 2004)

2.6.3. ISOLAMENTO TÉRMICO

O isolamento térmico é um elemento construtivo com uma condutibilidade térmica (λ) que constitui uma barreira à transferência de calor por condução entre o meio exterior e o interior do edifício. A sua inclusão na envolvente opaca (parede exterior, cobertura, pavimento) revela-se importante para reduzir as perdas por pontes térmicas no Inverno e os elevados ganhos térmicos no Verão, não esquecendo a sua conjugação com a zona

climática do edifício e da inércia térmica desejável (Horta, 2012). Atualmente, existem vários tipos de isolantes, tais como (Santos et al, 2006):

- a lã mineral (MW) $\lambda = 0,040-0,045 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$
- aglomerado de cortiça (ICB) $\lambda = 0,045 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$
- poliestireno expandido moldado (EPS) $\lambda = 0,037-0,055 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$
- poliestireno expandido extrudido (XPS) $\lambda = 0,037 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$
- espuma rígida de poliuretano (PUR) ou de poli-isocianurato (PIR) $\lambda = 0,037-0,042 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$

2.6.4. APROVEITAMENTO SOLAR PASSIVO

O aproveitamento solar passivo é a estratégia seguida na arquitetura bioclimática que se divide em duas técnicas: a captação direta de energia através dos vãos envidraçados, e a captação indireta por intermédio de paredes de trombe (Cañas et al, 2011; Lanham et al 2004, Mendonça, 2005).

Os vãos envidraçados captadores da radiação solar podem ser constituídos por vidro simples ou duplo. A segunda opção reduz cerca de 30 a 40% as perdas térmicas, mas também diminui ganhos por uma menor transmitância. Embora a instalação do vidro simples possa apresentar grandes perdas térmicas, é a solução mais viável para a obtenção máxima dos ganhos solares, aliando um isolamento térmico em sistemas de oclusão noturnos nas janelas. Caso se aumente a área do envidraçado, é necessário que o espaço possua materiais que armazenem calor, de modo a que as oscilações de temperatura não ultrapassem o 6°C (Mendonça, 2005).

As paredes de Trombe funcionam como um sistema combinado de radiação e convecção. São compostas por um vão envidraçado com vidro duplo e orientado a Sul, por uma caixa-de-ar e por uma parede de betão, a qual, na sua face exterior, é pintada com uma cor negra para potenciar a absorção dos raios solares e, na face interior, aplicando-se o mesmo acabamento que qualquer outra parede na habitação. No momento em que a parede aquece por efeito da radiação solar, uma parcela do calor é absorvida pela parede e a outra é transferida ao ar encerrado entre o vidro e a parede. Podem ainda ser aplicadas aberturas nas suas partes inferior e superior. O calor absorvido pela parede é transferido posteriormente por convecção, quando as aberturas estão abertas, ou simplesmente por condução, quando os orifícios estão fechados (Mendonça, 2005).

2.6.5. SISTEMAS DE SOMBREAMENTO E DE ARREFECIMENTO EVAPORATIVO

Uma das soluções de arrefecimento passivo no verão, é a proteção contra a incidência da radiação solar, para evitar ganhos térmicos excessivos no ambiente interior. Esta resume-se na aplicação de técnicas ou tecnologias de sombreamento, tais como: palas fixas, palas exteriores ajustáveis, estores, cortinas ou outros. Alguns destes dispositivos estão ilustrados na .



Figura 14: Exemplos de palas fixas e palas ajustáveis

Fonte: (Marinoski D.)

Uma técnica que poderá ser usada como sistema de sombreamento é a implementação de estruturas de plantas de folhas caduca ou árvores com essa característica comum, que permite o corte dos raios solares no verão e o seu aproveitamento no inverno, como se pode constatar na .

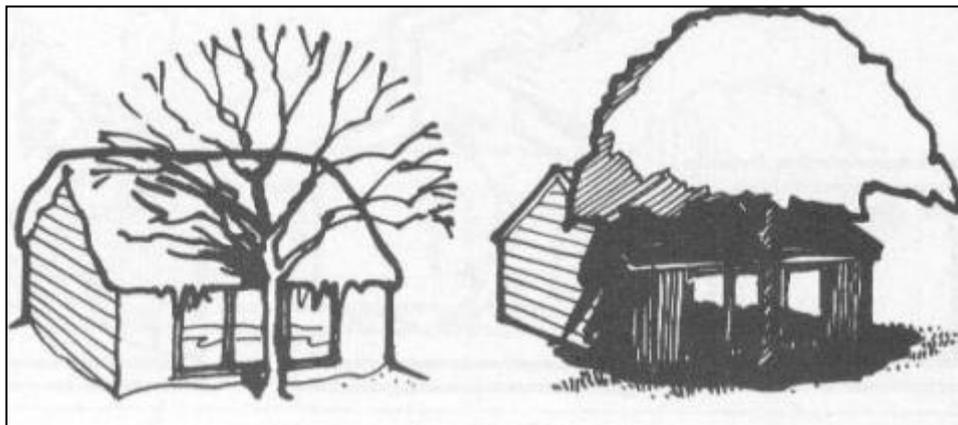


Figura 15: Sombreamento através de árvore de folha caduca

Fonte: (Lanham A. et al, 2004)

O tamanho e características dos envidraçados também influenciam a reflexão dos raios, assim como a emissividade que pode reduzir os ganhos de calor (Lanham et al 2004). Outro sistema de arrefecimento é o evaporativo que recorre à evaporação da água para arrefecer as zonas adjacentes.

Existem duas formas de arrefecimento por evaporação: a forma ativa em que a água é a fonte para essa finalidade; e a passiva onde existem situações que fornecem humidade. São exemplos de aplicações no edifício as condutas de água subterrâneas, as fontes, bombas e camadas de água, a vegetação nas fachadas e telhado, e a pulverização de água em torno do edifício (Cañas et al, 2011; Lanham et al 2004).

2.6.6. VENTILAÇÃO NATURAL

No campo da ventilação, o mecanismo natural é o sistema mais efetivo para arrefecimento passivo e renovação do ar interior no verão. Consiste na introdução de sistemas de passagem de ar no edifício. Para a máxima eficiência destes sistemas, convém que os mesmos sejam conjugados com as características das massas de ar no verão e respetiva forma e orientação do edifício. Os sistemas mais conhecidos são: a ventilação cruzada, a ventilação por aspiração vertical, a chaminé solar, ventilação em pátios, aspiração estática e as torres de vento (Cañas et al, 2011; Lanham et al 2004; Monteiro A., 2011). Alguns destes sistemas estão ilustrados na .

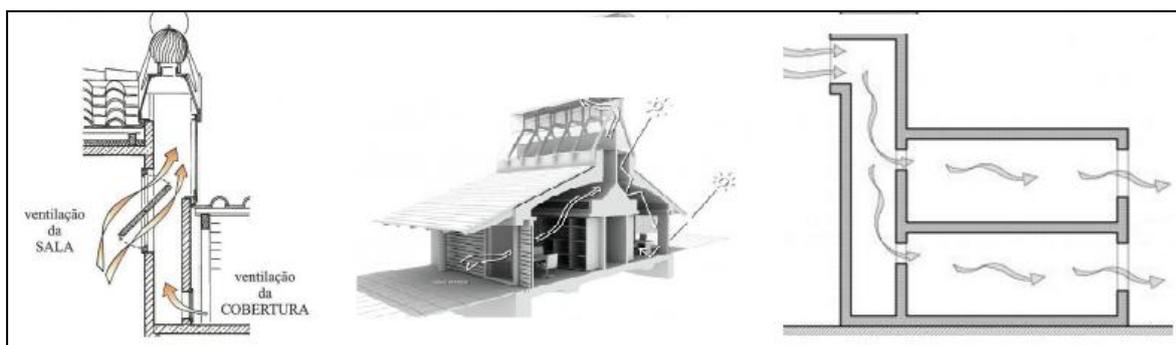


Figura 16: Exemplos ventilação natural: chaminé solar, aspirador estático e torre de vento

Fonte: (Monteiro A., 2011)

2.6.7. TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

As características e condições climáticas do território Português e sua zona económica exclusiva apresentam condições bastante favoráveis para a produção de energia a partir de

fontes renováveis. Efetivamente, o número de horas de exposição solar a que o país está sujeito situa-se entre as 2200 e 3000 horas anuais. O aproveitamento solar ativo está relacionado com a transformação da energia solar noutra género de energia através de mecanismos integrados nos edifícios como é o caso da tecnologia fotovoltaica em que a energia é captada por células fotovoltaicas e transformada em energia elétrica que pode ser acumulada em baterias ou injetada na rede (Horta, 2012).



Figura 17: Edifício com sistema solar ativo

Fonte: (Horta R, 2012)

Os painéis fotovoltaicos são compostos por um conjunto de células fotovoltaicas associadas em séries. Existem três tipos de células fotovoltaicas (Horta, 2012):

- Silício monocristalino;
- Silício policristalino;
- Filme fino ou silício amorfo.

Tendo em conta a variedade de painéis e fabricantes, a sua escolha deve ter em conta o projeto e insolação a que está sujeito, retorno do investimento, capacidade de produção, eficiência e vida útil.

As grandes barreiras na implementação de painéis fotovoltaicos como uma possível solução para que o edifício alcance o balanço nulo são (Horta, 2012):

- O investimento elevado devido à necessidade do emprego de tecnologia de ponta na sua conceção;

- O baixo rendimento de conversão de energia em relação ao custo de investimento inicial;
- A pouca competitividade da produção de energia face a outras formas de produção, excetuando os casos em que as necessidades de energia são reduzidas, os locais são isolados ou ao abrigo de proteção ambiental;
- O agravamento do custo do projeto fotovoltaico devido à necessidade de baterias de armazenamento.

Contudo, o amadurecimento da tecnologia fotovoltaica e o seu progresso contribuirá para que a implementação desta fonte de energia renovável se torne mais competitiva, sabendo que os preços dos combustíveis fósseis tenderão a escalar com a ultrapassagem dos seus picos de produção (Horta, 2012).

A produção anual de energia fotovoltaica pode ser calculada através da equação:

$$\text{Produção anual de energia fotovoltaica} = PR \times Me \times Vst \times (A \times Gr \times 365)$$

Sendo:

PR – o coeficiente de rendimento do sistema

Me – a eficiência do módulo

Vst- o valor da radiação solar em condições padrões de teste de irradiância

A- a área dos painéis

Gr- a radiação solar global

2.6.8. COLETORES SOLARES TÉRMICOS

Os sistemas solares térmicos aproveitam a luz do Sol para preparar águas quentes sanitárias. Existem dois tipos de coletores solares térmicos: sistema solar por termossifão e sistema solar por acumulação forçada.

O sistema solar por termossifão é composto por um painel plano com uma inclinação mínima, encimado por um depósito, respeitando o efeito de termossifão que se manifesta pelas diferenças de densidades entre os circuitos de água quente e fria. O aquecimento da água quente sanitária é efetuado retirando-se o calor do circuito do líquido que circula entre o painel e o depósito através de um permutador de calor (Solar Project; Horta, 2012).

O sistema de circulação forçada possui algumas diferenças em relação ao sistema anterior, visto que o acumulador é instalado no interior do edifício e requer uma bomba regulada

por um controlador. A bomba faz circular o fluido de aquecimento entre o coletor solar e a serpentina do acumulador, onde o calor é transferido para o circuito de água quente sanitária. A velocidade da bomba é regulada pelo controlador consoante os valores de temperatura registadas no acumulador e no painel (Solar Project; Horta, 2012; Vulcano, 2012).

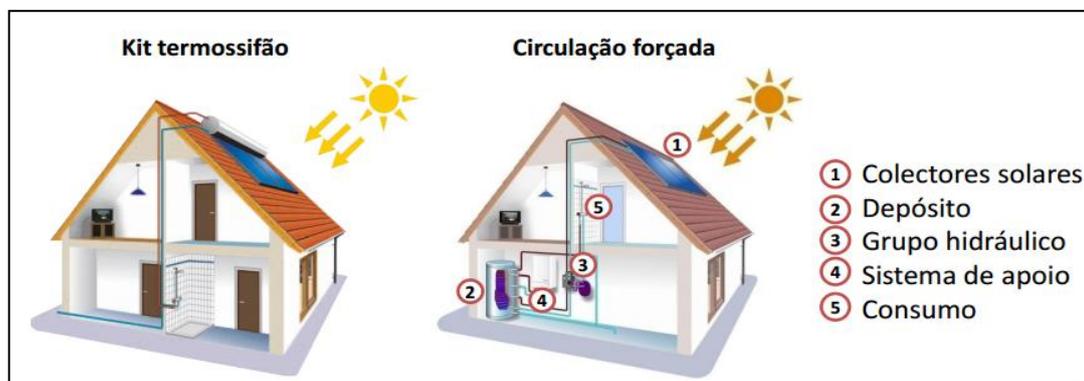


Figura 18: Sistema solar por termossifão e por circulação forçada

Fonte: (Solar Project)

A aplicação deste tipo de tecnologia para preparação de AQS é obrigatória ao abrigo do RCCTE. No Quadro VIII do Anexo VII da Nota técnica NT-SCE-01, estão presentes os valores de referência, $E_{\text{solar}}^{\text{ref}}$, da contribuição dos sistemas de coletores solares por termossifão e circulação forçada para Portugal em kWh/ano, bem como a fórmula de cálculo para os determinar (ADENE, 2009).

A seleção entre os dois sistemas disponíveis está dependente da carga energética a cobrir, do local de instalação e da disponibilidade económica. Geralmente o coletor solar por termossifão destina-se a moradias unifamiliares por ser mais económico, não ocupar espaço no interior e não possuir equipamentos elétricos. Por outro lado, o sistema de circulação forçada adapta-se a grande parte dos edifícios por ser mais eficiente, por causa do controlo eletrónico e pelo facto de o acumulador não estar sujeito à severidade do inverno (Vulcano, 2012).

2.6.9. CLIMATIZAÇÃO

Num espaço fechado a ocupação e o funcionamento dos equipamentos provocam a libertação de energia, a produção de CO_2 e a libertação de vapor de água, existindo ainda a possibilidade da formação de odores. No verão, a temperatura do ar interior pode tornar-se excessiva devido aos ganhos internos e solares, a qualidade do ar interior (QAI) quase nula

e a concentração de gases poluentes e partículas fora dos valores aceitáveis. No inverno, o comportamento pode ser idêntico se as perdas pela envolvente exterior forem reduzidas ou existir um ambiente de frio pelo arrefecimento derivado das perdas para o exterior (Roriz, 2007). Assim, os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) permitem efetuar o tratamento do ar de forma a alterar a sua temperatura, humidade relativa e a QAI, para atingir o conforto térmico dos ocupantes, bem como preservar o funcionamento dos equipamentos e o estado dos objetos presentes no espaço (Roriz, 2007).

Atualmente existem diversos tipos de sistemas de climatização que podem ser agrupados em: sistema primário de produção de energia térmica e sistemas do tipo AVAC. A ilustra os diferentes equipamentos englobados no sistema primário de produção de energia.

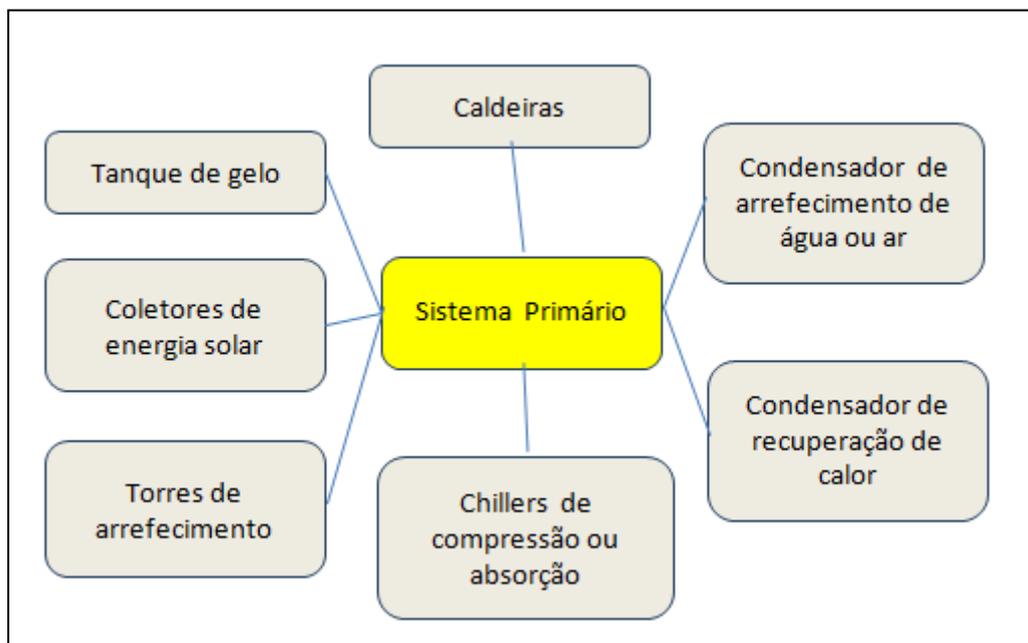


Figura 19: Sistemas primários de produção de energia

Fonte: (AuditAC)

A apresenta um esquemático referente aos tipos de sistemas AVAC, os quais se podem dividir em quatro grandes subsistemas: sistema tudo-ar, sistemas de água, unidades tratamento de ar (UTAs) e sistemas de expansão direta.

Existem várias hipóteses de reduzir o consumo de um sistema de climatização implementando uma variedade de técnicas eficientes (AIVC, 1996):

- Minimização da necessidade de ventilação por intermédio da redução na emissão de fontes de poluição evitáveis no interior do espaço;
- Análise e investimento na boa estanquicidade do edifício para evitar a agressividade da grande diferença de temperatura entre o interior e o exterior. Uma fraca estanquicidade resulta numa infiltração de ar para o interior e conseqüente perda de energia não controlada;
- Controlo da necessidade de ventilação através da inclusão de sensores de CO₂ que permitem identificar e medir a poluição interna dominante, e conseqüentemente ajustar o caudal de ar a insuflar;

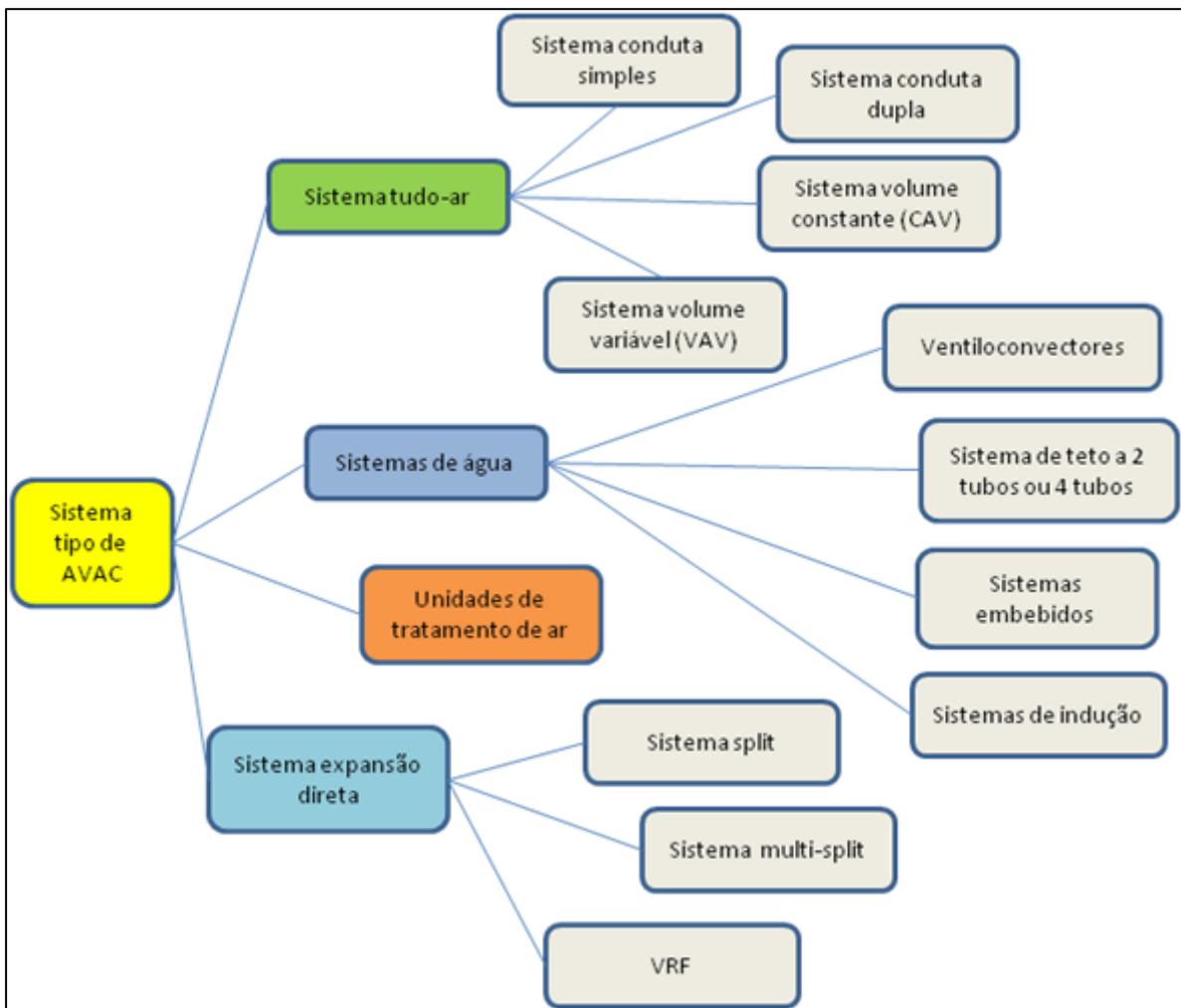


Figura 20: Sistemas do tipo de AVAC

Fonte: (Auditac)

- Emprego da técnica de *free-cooling* quando a temperatura do ar exterior for inferior à do ar interior, com o objetivo de arrefecer o espaço sem o funcionamento do sistema primário de produção de energia.
- Emprego do método de arrefecimento *night cooling* para arrefecimento da estrutura do edifício por ventilação mecânica ou natural, durante a noite. O objetivo passa por tirar partido do potencial da massa térmica da envolvente para que durante o dia a temperatura radiante e a ventilação sejam reduzidas, atingindo-se o conforto térmico.
- Emprego de sistemas de recuperação de calor, os quais podem atingir até 70% da energia normalmente perdida na extração de caudal do espaço interior. No entanto, o sucesso deste sistema é dependente da severidade do clima exterior, da qualidade da envolvente exterior do edifício e da necessidade de ventilação.

2.6.10. ILUMINAÇÃO

A iluminação é uma necessidade permanente da atividade humana, que pode ser natural, proveniente de fontes de luz própria, ou artificial através de equipamentos apropriados para o efeito.

O conforto luminoso é o principal objetivo a atingir quando se elabora um projeto de iluminação. Entende-se por conforto luminoso as condições necessárias para satisfazer a visibilidade, segurança e orientação dentro de um ambiente fechado para que o ser humano desenvolva as suas atividades de cariz laboral ou de lazer (OSRAM; Corceiro, 2008). Isto significa que perante qualquer atividade que se desenrole num determinado espaço fechado, é necessária a quantidade de luz adequada sobre o plano de trabalho, bem como a sua boa distribuição para evitar grandes contrastes de luminosidade. Com isto, o esforço de adaptação do ser humano ao ambiente será o menor possível, dando-lhe a sensação de maior conforto (OSRAM; Corceiro, 2008).

A norma europeia EN 12464-1 regula a iluminação em locais de trabalho interiores, estabelecendo valores médios de iluminância, brilho e restituição cromática adequados a cada área a iluminar em função da sua utilização, privilegiando o consumo energético racional (ETAP, 2012).

Entende-se por intensidade luminosa a medida de potência luminosa emitida numa determinada direção. A sua unidade de medida é o “candela” (cd).

O fluxo luminoso é a potência total de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço. A sua unidade de medição é o lúmen (lm).

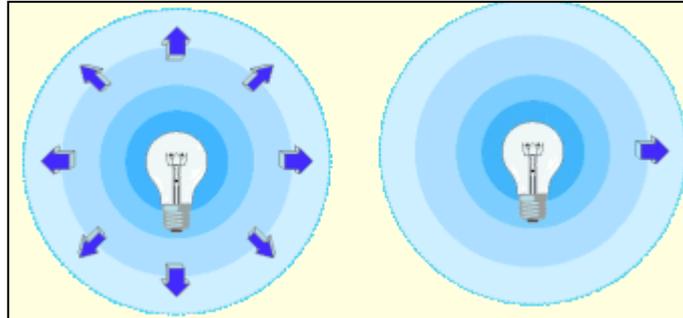


Figura 21: Fluxo luminoso e intensidade luminosa

Fonte: (Corceiro, 2008)

Consoante o seu tipo e a sua potência, as lâmpadas apresentam um fluxo luminoso diferente (Philips, 2009):

- lâmpada incandescente de 100 W - 1620 lm
- lâmpada fluorescente de 45 W - 2850 lm
- lâmpada vapor de mercúrio de 250 W - 12700 lm
- lâmpada multi-vapor metálico de 250 W 27000 lm
- lâmpada LED de 7 W - 230 lm

O fluxo luminoso que incide sobre uma superfície situada a uma certa distância da fonte de luz é denominado iluminância. A sua unidade de medida é o lux.

A luminância ou brilho é a intensidade de luz produzida ou refletida por uma superfície e que é avaliada pelo cérebro. A sua unidade é o candela/m².



Figura 22: Iluminância e luminância

Fonte: (Couceiro, 2008)

Relativamente ao índice de restituição cromática ou reprodução da cor, este representa a percentagem média da reprodução da tonalidade de uma ou várias cores, estando este valor dependente do tipo de iluminação aplicado (Fiorini T.,2006).

Existem várias tecnologias de iluminação como lâmpadas incandescentes, de halogéneo, fluorescentes, de descarga (multi-vapor metálico, vapor de sódio, vapor de mercúrio e mistas), LEDs e fibra ótica (Ferreira R., 2010). Estas tecnologias distinguem-se entre si pela quantidade de energia que consomem, eficiência luminosa, horas de funcionamento e tipo de aplicações mais comuns.

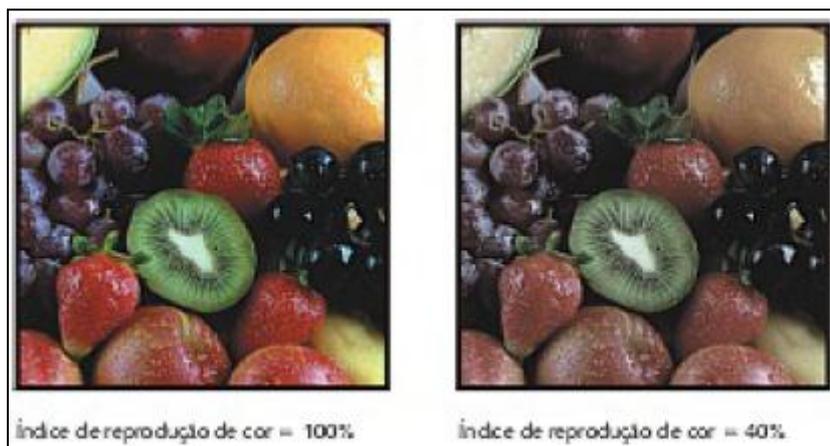


Figura 23: Índice de reprodução cromática

Fonte: (Fiorini, T., 2006)

A partir da percebe-se que para a potência mínima existente no mercado de um determinado tipo de lâmpada, as lâmpadas de descarga apresentam os maiores valores de

eficiência e uma durabilidade bastante considerável sendo as preferidas para aplicações de iluminação pública, fachadas e complexos desportivos.

Para iluminação de espaços interior, as lâmpadas fluorescentes e a tecnologia LED apresentam melhores eficiências e maior número de horas de funcionamento. A tecnologia LED ainda se encontra numa fase de desenvolvimento, ainda com soluções muito limitadas quer a nível de potência e fluxo luminoso e com preços bastante elevados para projetos de alguma dimensão.

Tipo de Lâmpadas	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Vida útil (h)
Incandescentes	25	205-230	8-9	750-1000
Halogéneo	20	300	15	2000
Descarga	60	6900	115	32000
Fluorescente	8	400-500	50-78	8000
LED	7	150-230	22-33	45000

Tabela 1: Tabela de diferentes tipos de lâmpadas

Fonte: (Philips, 2009)

Num projeto luminotécnico de um espaço, os sistemas de iluminação devem respeitar três aspetos:

- a forma como a luz deverá ser distribuída pelo espaço;
- a forma como a luminária irá distribuir a luz;
- a função a ser desenvolvida no espaço.

A distribuição da luz pelo espaço está diretamente ligada ao método de disposição das luminárias pelo ambiente, o qual varia entre iluminação geral, localizada e de tarefa, como se pode verificar na (OSRAM).

As luminárias também influenciam a distribuição da luz pela quantidade de fluxo luminoso que é irradiado e pela direção que este segue. Alguns exemplos estão ilustrados na .

Dependendo da forma como a luz é projetada no ambiente, temos sistemas:

- Diretos - a luz é praticamente toda projetada no plano horizontal (90-100%);

- Indiretos – cerca de 90 a 100% da luz é projetada para uma superfície refletora como o teto;
- Diretos-Indiretos - combinam as formas direta e indireta na projeção da luz podendo 60% ser direcionada para o plano horizontal e 40% para outras superfícies refletoras, ou vice-versa.

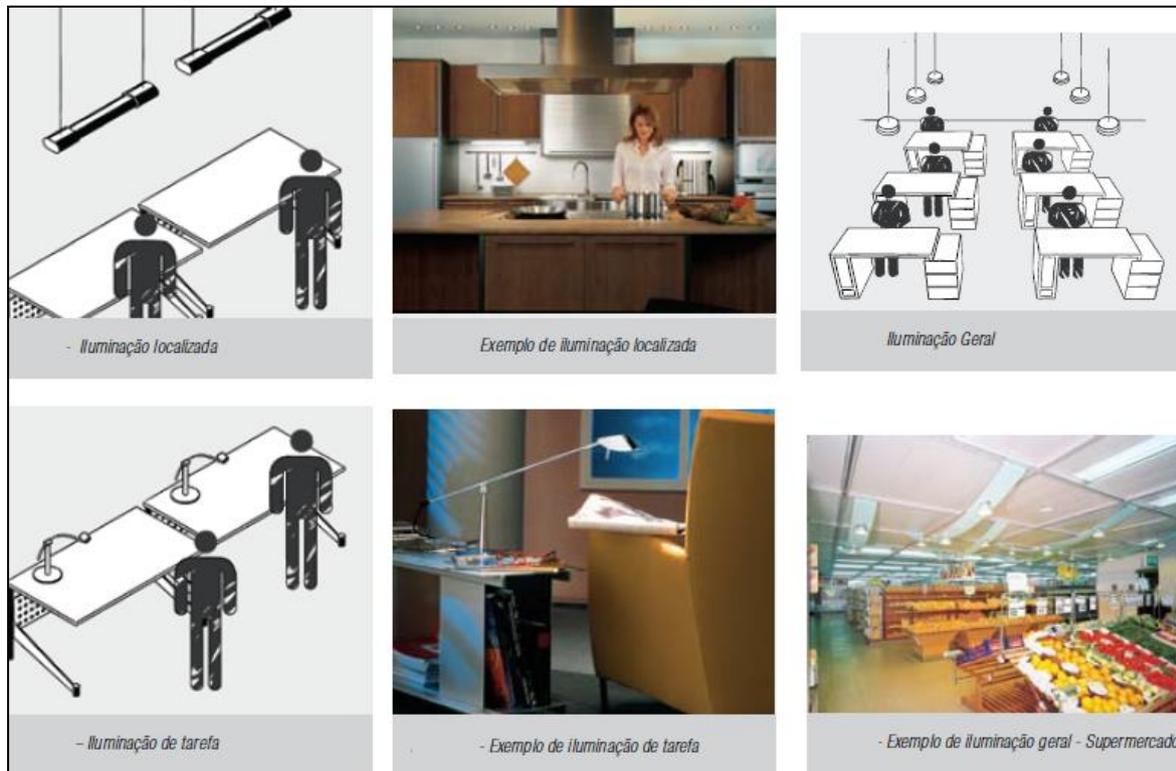


Figura 24: Exemplos do método de distribuição da luz

Fonte: (OSRAM)

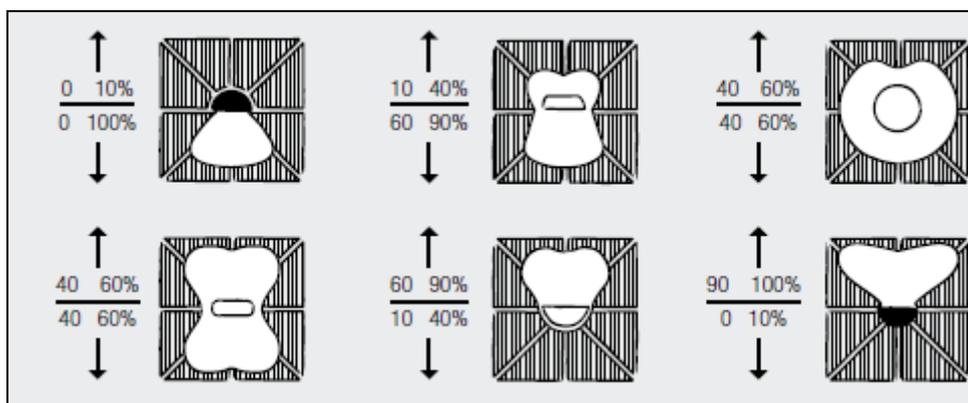


Figura 25: Forma como a luz é distribuída pelas luminárias

Fonte: (OSRAM)

No âmbito das funções que se desenrolam nos ambientes fechados, a norma EN 12464-1 define os requisitos mínimos, relativamente à média de iluminância, índice de encandeamento, uniformidade a respeitar e reprodução das cores como ilustra a , no caso dos escritórios (ETAP, 2012).

3 Escritórios					
Ref. No.	Tipo de interior, tarefa ou actividade	\bar{E}_m	UGR_L	U_o	R_a
3.1	Desempenho do trabalho, fotocópia, etc.	300	19	0,4	80
3.2	Escrita, digitação e leitura, processamento de dados num PC	500	19	0,6	80
3.3	Desenho técnico	750	16	0,7	80
3.4	Postos de trabalho CAD	500	19	0,6	80
3.5	Salas de conferências e reuniões	500	19	0,6	80
3.6	Secretárias de recepção	300	22	0,6	80
3.7	Arquivos	200	25	0,4	80

Figura 26: Requisitos mínimos nos escritórios segundo norma EN 12464-1

Fonte: (ETAP, 2012)

No final, tendo em conta a conjugação dos fatores descritos anteriormente, é essencial ajustar o tipo de luminária, não esquecendo a influência que tem a nível do investimento inicial do projeto, bem como os custos associados à sua manutenção no futuro, consoante a vida útil da tecnologia aplicada e do espaço a iluminar.

2.6.11. EQUIPAMENTOS CONSUMIDORES DE ENERGIA EFICIENTES

Um fator determinante para as variações do consumo de energia é o uso de equipamentos eficientes. Se um equipamento possuir uma eficiência reduzida, irá verificar-se um maior consumo e vice-versa (ADENE, 2010).

Presentemente, existe a etiqueta energética que é utilizada em toda a Europa e serve de ferramenta informativa ao serviço dos utilizadores de equipamentos elétricos. Segundo a legislação vigente é obrigatório o vendedor exibir a etiqueta energética em cada equipamento, assim como o fabricante está obrigado a fornecer os valores que avaliam os equipamentos que produz. As etiquetas *Energy Star* são usadas em equipamentos de escritório e na eletrónica de consumo (ADENE, 2010).

A etiqueta energética fornece aos consumidores a informação sobre a classe de eficiência do equipamento, o qual pode ser classificado numa escala que vai do A+++ até ao G. A classificação A+++ indica uma eficiência muito alta e a classificação G uma eficiência muito baixa, quer a nível de energia, quer no consumo de água (ADENE, 2010).

Em suma, na aquisição de um equipamento mais eficiente, classificação A, é possível reduzir os consumos de energia e de água.

2.6.12. NEARLY ZERO ENERGY BUILDING EM PORTUGAL

Em Portugal existe um exemplo de edifício de serviços cuja conceção assenta no novo conceito *nearly zero energy building* e que foi construído em Lisboa no ano 2006. O design do edifício e as soluções construtivas ao nível da envolvente foram dois dos aspetos considerados importantes para alcançar o objetivo de reduzir as necessidades térmicas e garantir o conforto térmico, como se pode verificar na .

Elementos do Edifício	Material	Valor U (W/m ² .K)
Paredes Exteriores	Parede de tijolos + ETICS (6 cm)	0,45
Cobertura	Betão com isolamento térmico (10 cm)	0,26
Pontes Térmicas	Betão com isolamento térmico (6 cm)	0,55
Envidraçados	Vidro duplo transparente	3,50
Envolvente (média)		0,88

Figura 27: Edifício Solar XXI e características da envolvente

Fonte: (Gonçalves et al, 2012)

Os ganhos solares também constituíram uma preocupação neste projeto, estando a fachada orientada a sul coberta por janelas e células fotovoltaicas nas devidas proporções. O edifício Solar XXI também aplicou a técnica de sombreamento das janelas, aplicando venezianas ajustáveis para diminuir as necessidades de arrefecimento no verão, para além de possuir um sistema de arrefecimento subterrâneo que fornece pré-arrefecimento usando o solo. A nível de ventilação e iluminação natural, os sistemas usados são a ventilação cruzada e uma claraboia no hall de entrada, a qual serve também como o principal distribuidor da luz incidente para os escritórios, a par das janelas nas fachadas. De acordo com uma monitorização realizada em 2011 relativa ao desempenho energético do edifício Solar XXI, este mostrou um consumo total de 36 MWh compensados pela produção de 38 MWh a partir da tecnologia fotovoltaica instalada localmente (Gonçalves et al, 2012).

2.7. CONCLUSÃO

Em suma, a análise de ciclo de vida revela-se uma ferramenta essencial no caminho para a sustentabilidade. Porém, a sua aplicação ao edificado é complexa, já que, como enunciado anteriormente, estão muitas variáveis em jogo. A variável associada à energia é o ponto principal desta dissertação, onde a determinação dos consumos associados às fases de conceção, construção e demolição, apresentam um elevado grau de incerteza na sua contabilização. Este facto deve-se à não existência de certificados ambientais dos materiais integrados na construção, ao registo dos equipamentos e meios de mobilidade utilizados, e respetivos gastos energéticos no transporte, construção e demolição. Também é muito difícil de determinar a quantidade de energia despendida pelo trabalho de cada colaborador, seja para extrair matérias-primas, seja para construir o edifício, seja para efetuar manutenções e outros.

A reformulação da Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios e a implementação do NZEB nos países da União Europeia, revela-se uma medida muito positiva no que diz respeito à sustentabilidade, já que abre caminho para que os edifícios se tornem autossustentáveis sobre o ponto de vista energético. O ponto-chave para essa meta passa pela produção de energia a partir de fontes renováveis, para satisfazer as necessidades quase nulas do edifício. Efetivamente, todo o processo desde que o edifício é projetado até ao momento em que esteja pronto a entrar em funcionamento, tem de evoluir no sentido da aplicação de medidas passivas, de medidas de eficiência e de produção de energia localizada por intermédio de renováveis. O maior desafio da Humanidade será tornar sustentável a produção de energia para satisfazer as atividades humanas.

3. CASO DE ESTUDO

3.1. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

3.1.1. TIPOLOGIA DO EDIFÍCIO, LOCALIZAÇÃO, ZONA CLIMÁTICA

O caso de estudo incidiu sobre o edifício de serviços *Porto Technical Center* (PTC), integrado no complexo fabril de produtos elétricos, da empresa multinacional YAZAKI Saltano . Este edifício está localizado na zona industrial do concelho de Ovar, situado a 3,5 km da costa a uma altitude de 247 metros do nível médio do oceano, estando sujeito às condições climáticas de referência I1, V1, cuja amplitude térmica é de 9 °C e a sua época de aquecimento tem a duração de 6,3 meses.

Constituição, Orientação e Forma do Edifício Este edifício é constituído por 2 pisos acima do solo, com uma área bruta de 4200 m². Do piso 0 fazem parte o átrio, o auditório, os escritórios, o armazém, os WCs, a cafetaria, o posto médico, as salas de reuniões, o *crimping center* e o roupeiro. O piso 1 para além de um espaço amplo, tem gabinetes, arquivo, economato, sala de servidores, copa e WCs.

Como se pode constatar na , o edifício apresenta um formato paralelepípedo, cujas faces de maior área estão voltadas respetivamente a Norte e a Sul. É também de salientar que a maior área de envidraçados, com cerca de 275 m², está voltada para Norte, enquanto a entrada principal do edifício está virada a Este.



Figura 28: Localização do edifício de serviços

Fonte (Google Maps, 2013)

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DA ENVOLVENTE EXTERIOR

A apresenta as características da envolvente exterior do edifício: paredes exteriores, pavimentos térreos e sobre exterior, vãos envidraçados, cobertura plana e inclinada. Os valores do coeficiente de transmissão térmica de cada elemento construtivo foram calculados com base a Ficha Técnica do edifício e os valores tabelados no ITE 50.

3.1.3. OCUPAÇÃO, ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

De acordo com os dados reais do edifício, levantados numa visita às instalações, diariamente operam cerca de 330 funcionários no edifício cuja distribuição e horário está presente na :

Relativamente à iluminação artificial, através do projeto e mapa de iluminação foram identificadas vários tipos de lâmpadas instaladas:

- lâmpadas fluorescentes tubulares TL5
- lâmpadas fluorescentes compactas PL-E e TC-D
- lâmpadas compactas de descarga PL-C
- LED

No total, a potência instalada para iluminação artificial interior perfaz aproximadamente um total de 40 kW, estando instalados 12,6 kW no piso 0 e 27, 5 kW no piso 1.

Elemento Construtivo	Constituição	Espessura (cm)	Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m ² .°C)
Parede exterior	Alvenaria de bloco de cimento 50x20x20 cm placas de gesso cartonado de 13 mm no interior sistema tipo painel sandwich de 40 mm no exterior	29	0,57
Pavimento Térreo	Laje térrea com camada de enrocamento de 15 cm betão hidrofugado com malhasol incorporada com 15 cm betonilha de betão leve de 12 cm betonilha de enchimento com 8 cm. Revestimento superior: cerâmico hidráulico, sistema flotex e betão industrial pintado com tinta epoxy	50	1,65
Pavimento Intermédio	Laje fungiforme de 40 cm pavimento de placas de aglomerado de 4cm, sobrelevado através de pinos de 15 cm de altura. O Revestimento final é o alcatifa flotex. Revestimento inferior sistema em tecto falso de gesso cartonado 19 mm	60	0,87
Pavimento sobre Exterior	Laje fungiforme de 40 cm Pavimento de placas de aglomerado de 4cm, sobrelevado através de pinos de 15 cm de altura. O Revestimento final é o alcatifa flotex. Revestimento inferior este baseia-se num sistema de capoto com 4cm	60	0,61
Cobertura Inclinada	Painel sandwich de 50 mm pelo exterior Lâmina de ar Teto falso em gesso cartonado de 19 mm no interior	154	0,67
Cobertura Plana	Betão de 25 cm Painel sandwich de 50 mm pelo exterior Teto falso em gesso cartonado de 19 mm pelo interior	32	0,59
Vãos	Vidro duplo 4(16)4 mm em caixilharia de alumínio com corte térmico.	2,6	1,53

Tabela 2: Características da envolvente exterior do edifício de serviços

Fonte: (Ficha Técnica, 2011)

Espaço	Ocupação	Horário
Open Space P1	289	8-13h 14h-17h
Open Space P0	29	8-13h 14h-17h
Crimping Center	5	8-13h 14h-17h
Escritório CC	22	8-13h 14h-17h
Cafetaria	116	10h30-11h 12h30-14h
Atrio	2	8-13h 14h-17h
Gabinete Dir	1	8-13h 14h-17h
Gabinete Assit	1	8-13h 14h-17h
Posto Médico	2	10-11h
Salas Reuniões	10	9-10h 14-16h

Tabela 3: Dados reais de perfis de ocupação real

Diariamente, existe uma diversidade de equipamentos em funcionamento nos diversos espaços do edifício de serviços:

- Computadores (*desktop e laptop*)
- Impressoras (multifunções)
- Projetores
- Máquinas de *vending*
- Frigorífico
- Plasma
- Micro-ondas
- Servidores
- Elevador
- Máquinas de cravação

O mapa com a estimacão da potência instalada referente à iluminação e equipamentos dos diversos espaços pode ser consultado no Anexo A.

3.1.4. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

A produção de energia térmica para o edifício é obtida por intermédio de uma central de produção de frio ou de calor, que é constituída por um chiller/bomba de calor do tipo ar-água, e que serve praticamente todo o edifício. A potência térmica instalada para a produção de frio é de 200 kW e de para a produção de calor de 205 kW. Pontualmente existem umas unidades de expansão direta do tipo *split* que climatizam um espaço autónomo, com requisitos de arrefecimento 24 h/dia, como é o caso da sala de servidores.

O tratamento de ar na maioria dos espaços ocupados é realizado através de 2 UTANs e 2 UTAs. A distribuição nas diversas divisões do edifício é feita por grelhas e difusores de baixa indução. O mapa dos caudais de ar pode ser consultado no Anexo A.

Em alguns espaços tais como gabinetes administrativos e posto médico, existem unidades locais de climatização do tipo ventiloconvectores a 2 tubos, que fazem a recirculação do ar, para que seja possível efetuar a correção da carga térmica destes espaços.

O sistema centralizado de climatização do edifício é monitorizado e controlado através de um sistema de gestão técnica centralizada, responsável pela gestão dos horários e parâmetros de funcionamento do edifício. O circuito de produção de frio funciona entre o

início de Abril e o fim de Outubro e o circuito de produção de quente opera nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro. O arranque de funcionamento é às 8h e encerra a atividade às 17 h. As UTAs são controladas independentemente, no entanto os seus *setpoints* de temperatura são iguais, estando programados para os 23 °C no verão e os 20 °C no inverno. O sistema de monitorização de CO₂ prevê que as UTAs entrem em modo tudo ar novo quando se atingem valores de CO₂ acima de 900 ppm.

As unidades do tipo *split* que servem a sala de servidores condicionam o espaço à temperatura de 20 °C.

3.2. SIMULAÇÃO DINÂMICA

O uso de métodos dinâmicos para calcular as cargas térmicas de um edifício é efetuado cada vez através de simuladores informáticos certificados pela norma AHSRAE 140, uma vez que possibilitam a simulação de situações reais tendo em conta os dados de estudo, com resultados muito satisfatórios e um grau elevado de aproximação à realidade. Através de uma simulação dinâmica podem ser determinados parâmetros como as necessidades de aquecimento e arrefecimento, ganhos internos e provenientes do exterior. Estas variáveis estão dependentes do estudo das cargas térmicas que se podem dividir em:

- Internas que são produzidas pelos ocupantes, pela iluminação e pelos mais diversos equipamentos em funcionamento;
- Externas que têm a sua origem no clima local que afeta o edifício, e manifestam-se pelas variações da temperatura, da radiação solar, do fluxo do vento e da humidade existente;
- Infiltrações e ar novo que resultam quer da fraca estanquicidade do edifício, quer da renovação do ar interior.

Através do conhecimento das cargas térmicas é possível dimensionar os sistemas de climatização e renovação de ar novo para estabelecer o conforto térmico do edifício, e determinar posteriormente os consumos de energia associados ao seu funcionamento.

O programa utilizado para efetuar as simulações dinâmicas com o objetivo de se fazer uma previsão dos consumos do edifício de serviços foi o *Integrated Environment Solutions Virtual Environment* (IES VE). Esta ferramenta informática cumpre a norma AHSRAE 140 e é uma interface de *inputs* e *outputs* de um conjunto de ferramentas que foram desenvolvidas no *Department of Energy* (DOE). Com um ambiente muito amigável para o

utilizador, tem como pontos fortes o desenvolvimento de modelos 3D dos edifícios, afetação das suas características construtivas, ocupação e equipamentos, e também a construção do modelo de climatização através do módulo APACHE. No final, é possível fazer análises detalhadas dos resultados através da visualização gráfica das inúmeras variáveis calculadas ao longo do tempo, podendo-se incluir os dados climáticos de qualquer concelho de Portugal (IES VE, 2013).

3.2.1. CONSTRUÇÃO DO MODELO 3D

A geometria 3D do edifício de serviços foi elaborada no módulo ModelIT, que disponibiliza diversos comandos de desenho, baseados na extrusão de polígonos, para desenhar formas geométricas rápidas, como, por exemplo: espaços cúbicos, paralelepípedos regulares e irregulares, cilíndricos, semiesféricos e outros. Uma vez que a forma do edifício de serviços em estudo apresenta uma silhueta muito simples, apenas foi necessário usar o comando para extrudir uma linha fechada. A ilustra o resultado da modelação:

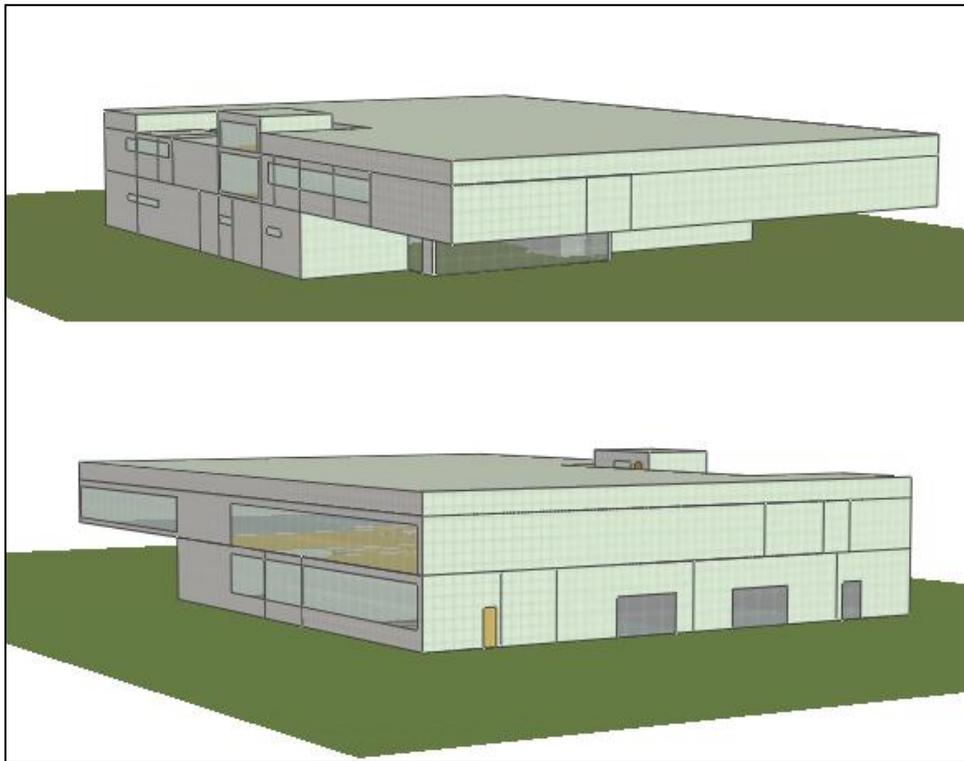


Figura 29: Modelo 3D do edifício de serviços

Seguidamente, ainda no módulo ModelIT, procedeu-se à definição das características dos elementos construtivos através do separador *constructions*. Visto que não é possível a inclusão de um novo material a partir dos que já existiam, executaram-se as devidas

edições para que o coeficiente de transmissão térmica dos elementos construtivos fosse o pretendido. A atribuição de um elemento construtivo pode ser feita de uma forma geral, ou localmente, espaço a espaço. A apresenta um exemplo de como os elementos construtivos são atribuídos.

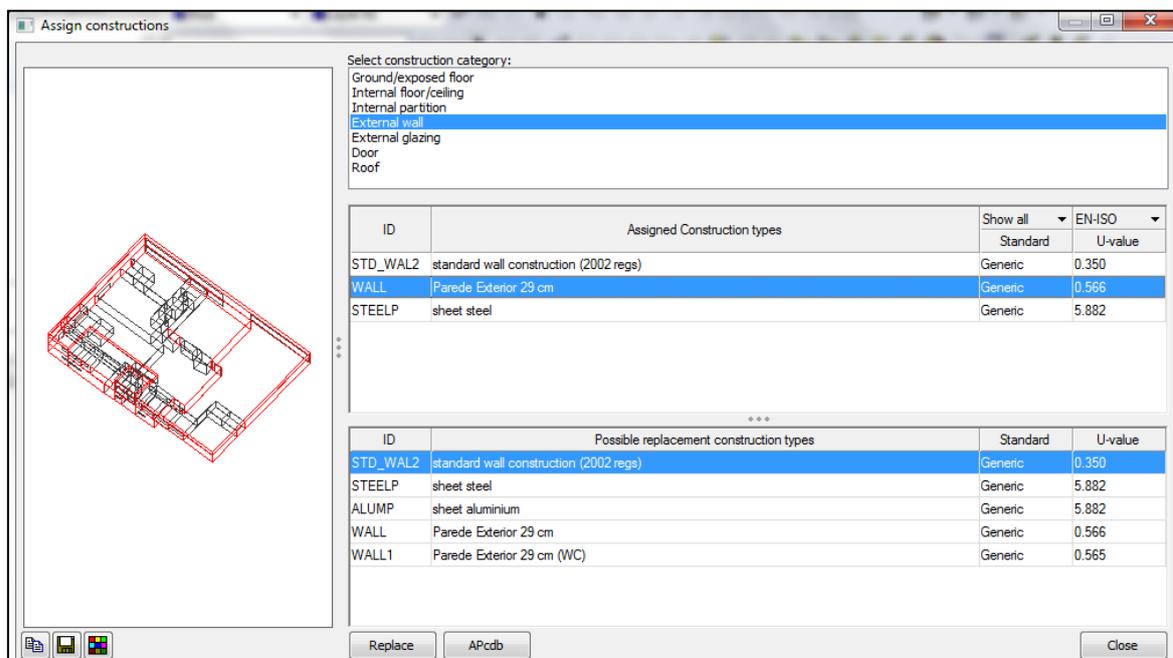


Figura 30: Exemplo de atribuição dos elementos construtivos no modelo 3D

Fonte: (IES VE)

A partir do comando Aplocate carregou-se o ficheiro climático referente à zona de Ovar. Este ficheiro foi conseguido através duma conversão de um ficheiro climático do SOLTERM.¹ Aqui também foram incluídos os feriados nacionais que têm influência nos resultados finais.

Posteriormente procedeu-se ao cálculo solar através do comando “solar shading calculation” no módulo SunCast, onde são determinados os ganhos solares sobre o edifício ao longo do ano. Os seus resultados são utilizados para determinar o impacto que têm nas necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento.

¹ O SolTerm é um programa de análise de desempenho de sistemas solares, através de simulação numérica de balanços energéticos ao longo de um ano de referência, e especialmente concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal (sic) (LNEG, 2010).

No ApacheHVAC construiu-se o sistema de climatização existente no edifício de serviços, desde a definição do Chiller/Bomba de calor e respetivos circuitos de água quente e fria, à conexão destes com as baterias das UTAs e ventiloconvectores, carregando as características dos equipamentos a partir das suas especificações técnicas, e de acordo com os dados recolhidos numa visita efetuada ao local. Os circuitos podem ser consultados no Anexo B, dando-se um exemplo através da .

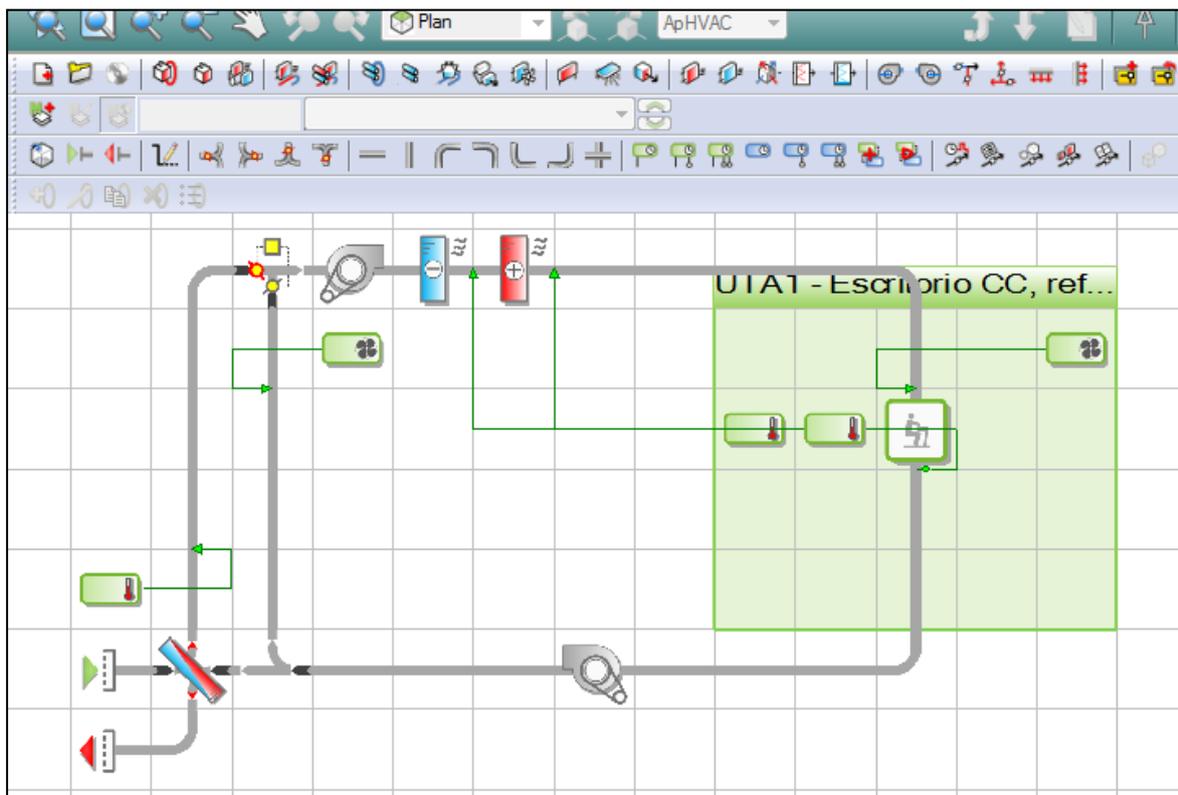


Figura 31: Exemplo de construção do sistema AVAC parte do ar

Fonte: (IES VE)

O módulo Apache permite realizar o cálculo das cargas térmicas no momento em que o edifício está em fase de projeto, para se efetuar o dimensionamento do sistema de climatização, assim como a sua simulação dinâmica, para se determinar os consumos de energia quando este se encontrar operacional.

3.2.2. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA REAL E DESAGREGAÇÃO DE CONSUMOS

Assim, tendo em consideração os pressupostos em cima descritos, com os cálculos efetuados no módulo Apache e adicionando o consumo associado à iluminação exterior e o referente ao elevador em modo *standby*, estima-se que o edifício de serviços tem um consumo anual de energia elétrica que ronda os 498,39 MWh. A tabela dos resultados fornecidos pelo IES VE está disponível no Anexo C.

Com o objetivo de se perceber as características do consumo de energia do edifício de serviços, o consumo anual foi desagregado, como ilustra a, conforme os perfis de funcionamento dos equipamentos dependentes de eletricidade, o único tipo de energia que o edifício consome.

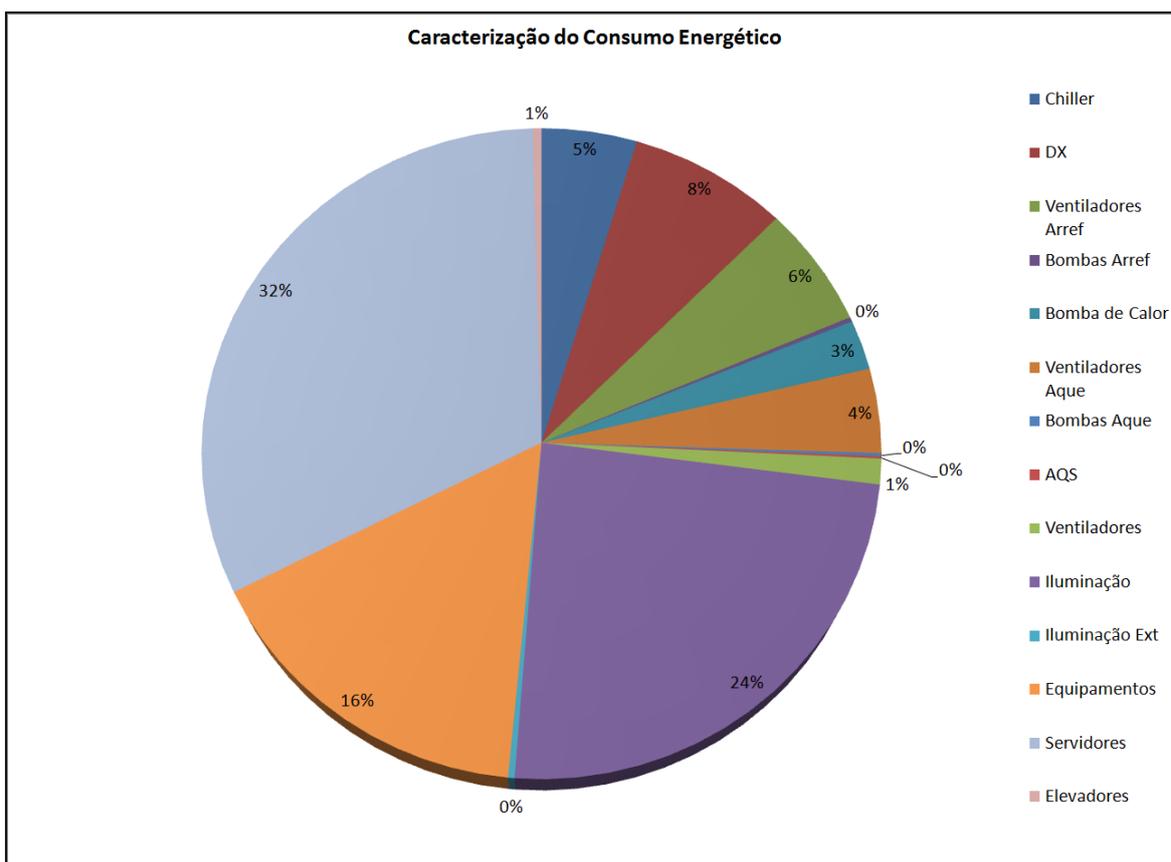


Figura 32: Caraterização do consumo energético do edifício de serviços

Devido às 24 horas de funcionamento diário e à grande potência instalada, os servidores consomem cerca de 32% da eletricidade total. Os sistemas de climatização do edifício são responsáveis por 25% do consumo, sendo 19% para arrefecimento, 4,8% para aquecimento e 1,2% para extração de ar. A iluminação e os equipamentos detêm o restante consumo

com 24% e 16%, respetivamente. Comparativamente com o grosso do consumo, o elevador e o sistema de AQS apresentam um consumo residual de 0,4% e 0,1%, respetivamente.

3.2.3. INDICADOR DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, IEE REAL E IEE LIMITE

O aplicativo IES VE permite obter os resultados obtidos relativos à energia que é consumida anualmente no edifício, expressos em MWh. Estes resultados foram convertidos segundo o Indicador de Eficiência Energética (IEE) expresso em kgep/m².ano, de acordo com a legislação vigente. Este índice tem valores limites estabelecidos na lei para cada tipologia de edifício que são obrigatórios, e quando se calcula o valor do IEE com base em perfis de utilização definidos no Decreto-Lei nº 79/2006 (IEE nominal), permite efetuar comparações do desempenho energético entre edifícios semelhantes, através do cálculo de uma classe energética. Quando na simulação dinâmica se utilizam os perfis reais do edifício, calcula-se o seu consumo real, que é transposto para um valor de eficiência do edifício, o IEE real. O IEE obtido a partir da simulação dinâmica é calculado segundo a expressão matemática seguinte (RCCTE & RSECE):

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p}$$

Em que:

IEE – Indicador de eficiência energética (kgep/m².ano);

IEE_I – Indicador de eficiência energética de aquecimento (kgep/m².ano);

IEE_V – Indicador de eficiência energética de arrefecimento (kgep/m².ano);

Q_{out} – consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento (kgep/ano);

A_p – Área útil de pavimento (m²).

Por sua vez:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times FC_I \text{ e } IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times FC_V$$

Q_{aq} – Consumo de energia de aquecimento (kgep/ano);

FC_I – Fator de correção do consumo de energia de aquecimento;

Q_{arr} – Consumo de energia de arrefecimento (kgep/ano);

FC_V – Fator de correção do consumo de energia de arrefecimento.

Como se pode verificar no Anexo C, o IEE real determinado por simulação dinâmica real é de 34,71 kgep/m².ano respeitando o valor limite estabelecido pelo RSECE de 35 kgep/m².ano para edifícios de serviços com tipologia de escritórios.

Neste capítulo, procedeu-se à caracterização do caso de estudo, criando-se uma base de análise para a proposta de soluções de otimização dos consumos energéticos, propostas essas que são o tema do próximo capítulo.

4. OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

4.1. SOLUÇÃO DE GESTÃO DE ENERGIA

A monitorização da energia é fundamental porque permite obter uma informação detalhada sobre os hábitos de consumo de energia possibilitando a implementação de ações de racionalização da energia. O edifício de serviços que serve de caso de estudo em parceria com outro edifício presente no local de características diferentes, possuem um consumo energético anual que ronda o 701,935 MWh. Assim não se sabe qual o consumo real do edifício nem se conhecem as parcelas de consumo referentes a todos equipamentos consumidores de energia instalados. Antes de se fazer qualquer plano de eficiência energética ou de racionalização de consumos, não seria mau pensado instalar-se contadores nos quadros elétricos dos edifício bem como nos motores com potência instalada superior a 5 kW como impõe o RSECE. A ilustra uma possível solução que oferecer uma monitorização constante e simples dos gastos energéticos. Apenas é necessário instalar o contador totalizador no quadro geral, conectá-lo à consola (painel web). Este acesso poderá ser local, por ligação direta à consola, ou a partir de um PC ligado à rede Ethernet (QEnergia).

4.2. AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

No caminho para o NZEB, com o objetivo de melhorar a eficiência energética do edifício, reduzindo à potência instalada e mantendo os requisitos de uma boa iluminação, fez-se um estudo luminotécnico no *open space* do piso 1, espaço com maior impacto no consumo final de eletricidade, onde estão instaladas 289 luminárias TBS 417 HFP C8 da Philips, utilizando lâmpadas TL5 de 80W.

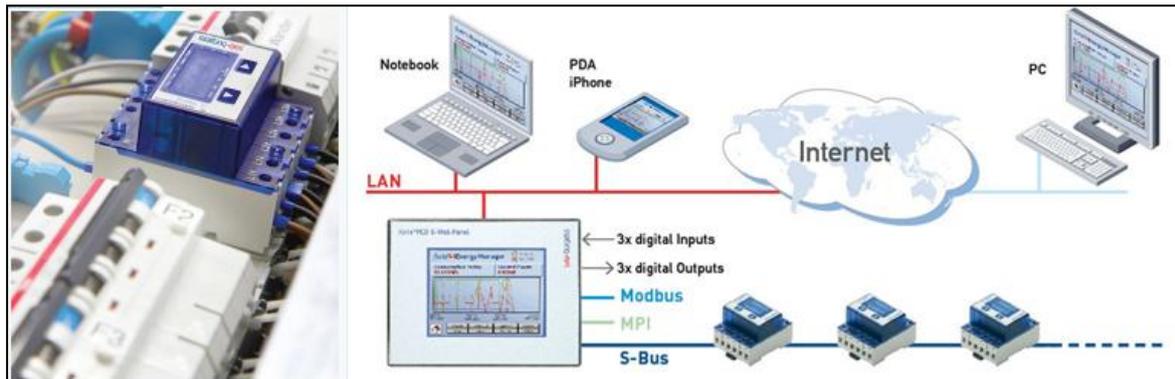


Figura 32: Exemplo de contador de energia ligado a uma consola (Q Energia)

Não existindo qualquer tipo de controlo de iluminação no *open space*, como se pôde verificar nas telas do projeto de iluminação do edifício, o consumo de eletricidade do espaço foi ponderado, considerando-se 13h diárias de funcionamento, das 7h30 até às 20h30, durante 262 dias, o que corresponde a um ano de trabalho. Para uma potência total instalada (balastro + lâmpadas) de 25,4 kW, o seu consumo é de:

$$\text{Consumo} = \text{Potência Instalada} \times n^{\circ} \text{ dias} \times n^{\circ} \text{ horas}$$

$$\text{Consumo} = 25,4 \text{ kW} \times 262 \times 13 = 86.621,4 \text{ kWh}$$

As emissões de CO₂ anual e a 50 anos são de (Iberdrola, 2012):

$$\text{Emissão de CO}_2 = \text{Fator de Emissão de CO}_2 \times \text{Consumo}$$

$$\text{Emissão de CO}_2 = 0,264 \times 86.621,4 = 22.868 \text{ Kg de CO}_2$$

$$\text{Emissão de CO}_2 \text{ a 50 anos} = 22868 \times 50 = 1.143.402 \text{ Kg de CO}_2$$

Utilizando-se o aplicativo DIALux adequado para este tipo de estudo luminotécnico, reproduziu-se a instalação atual de iluminação no *open space*, e descobriu-se que os valores de intensidade luminosa estão muito acima do que a norma requer para trabalho com computadores: mínimo regulamentado 500 lux; média *open space* 750 lux.

Para reduzir a intensidade luminosa para a mínima regulamentada de 500 lux, foram estudadas 3 soluções possíveis e respetiva viabilidade económica que incidiram sobre:

- manter o mesmo tipo de lâmpadas, alterando-se a disposição das luminárias segundo a recomendação do DIALux;
- alterar o tipo de lâmpada para TL5 49 W;
- alterar o tipo de lâmpada para TL5 35 W.

Da simulação dos 3 casos no DIALux, resultou um decréscimo do número de luminárias para lâmpadas de 80 W, e um acréscimo do número de luminárias para as lâmpadas de 35 e 48 W. Como se pode ver na , estas novas soluções apresentam decréscimos, tanto na potência instalada que varia entre os 15 e os 17 kW, bem como no consumo total anual de eletricidade que atingiu valores compreendidos entre os 54 kWh e os 60 kWh.

Luminária	Potência (W)	Nº Luminárias	Potência total (W)	Consumo (kWh)	Emissões CO ₂ (kg)	Emissões CO ₂ a 50 anos (kg)
Balastro + Lâmpada 35W	39	409	15951	54329	14343	717143
Balastro + Lâmpada 49 W	55	322	17710	60320	15924	796224
Balastro + Lâmpada 80W	88	203	17864	60844	16063	803141

Tabela 4: Resultados DIALux, consumo total e emissões CO₂

Do ponto de vista ambiental, tendo em conta o fator de emissões de CO₂ de 0,264 kg/kWh verificado no ano de 2012 (Iberdrola, 2012), a solução que beneficiaria mais o ambiente seria a implementação das lâmpadas TL5 35 W, atendendo a que poluiria menos do que as outras opções cerca de 79.000 a 85.000 kg de CO₂ durante o tempo de vida útil do edifício.

Com o auxílio dos preços e tendo em conta a vida útil das luminárias, lâmpadas e balastros presentes no catálogo da Philips, e da média tarifária que a empresa paga à Iberdrola, foi realizada a análise económica das 3 soluções possíveis, quer a nível de retorno, quer para o ciclo de vida do edifício.

Luminária	Investimento inicial (€)	Fatura anual eletricidade (€)	Custo da manutenção (€)	Fatura a 50 anos (Eletricidade + manutenção) (€)	Retorno (anos)	Poupança Total (€)
Balastro + Lâmpada 35W	20280	5715	17116	368716	6	126767
Balastro + Lâmpada 49 W	5544	6345	13475	382586	2	127633
Balastro + Lâmpada 80W	3000	6400	8629,5	362283	1	150479

Tabela 5: Análise económica para a iluminação

Do ponto de vista económico, claramente a proposta de mudar a configuração das luminárias com as lâmpadas de 80 W, é a solução mais viável, visto que apresenta uma manutenção mais barata e permite poupar mais cerca de 23.000 a 24.000 € ao longo do ciclo de vida do edifício, que a mudança de lâmpadas para 35 e 49 W.

4.3. SUBSTITUIÇÃO DOS COMPUTADORES

Numa atividade em que a tecnologia computacional tem influência na produtividade para o aumento do volume de negócios e o ciclo de vida dos computadores ronde os 10 anos, a verdade é que normalmente estes sejam trocados ao fim de 5/6 anos por exigências de software. Uma vez que se tem de trocar de computadores, que esta troca seja feita por máquinas mais eficientes, com consumos de energia mais reduzidos. Uma vez que a política de renovação dos equipamentos varia de empresa para empresa, admitiu-se que a em estudo renova os computadores no de 6 anos. Já que existem cerca de 330 computadores com diversas configurações de hardware, foi assumido um valor de consumo médio definido no manual da AHSRAE (AHSRAE, 2009) de 73W para computadores do tipo de secretária. Através do *experts reviews* que é uma página internet onde peritos divulgam e avaliam novas tecnologias, escolheram-se duas possíveis alternativas como os modelos: Sony Vaio Tap 20 e Asus Transformer P1801. Os peritos estimam que o Sony Vaio Tap 20 tem um consumo médio ativo de 51 W e um consumo inativo de 35 W. Já para o Asus Transformer P1801 apontam para um consumo médio de 64 W e um consumo inativo de 41 W.

Tendo em conta o perfil de ocupação dos operadores, foi analisado o impacto que a substituição pelos dois modelos tem no consumo anual de energia e respetivas emissões de

CO₂, bem como a sua influência no ciclo de vida do edifício a 50 anos, e cujos resultados se apresenta na .

PCs	Potência (W)	Consumo diário por unidade (kWh)	Consumo anual por unidade (kWh)	Nº PCs	Consumo total anual (kWh)	Consumo a 50 anos (MWh)	Emissões de CO ₂ (Kg)	Emissões de CO ₂ a 50 anos (Kg)
Computadores Secretária	73	0,66	172,13	330,00	56804,22	2840,21	14996,31	749815,70
Asus Transformer P1801	Ativo 64 Inativo 41	0,55	143,88	330,00	47480,29	2374,01	12534,80	626739,79
Sony Vaio TAP 20	Ativo 51 Inativo 35	0,44	115,37	330,00	38070,76	1903,54	10050,68	502534,02

Tabela 6: Consumo total e emissões de CO₂ na substituição de PCs

Através da , constata-se que o consumo anual de energia dos computadores do tipo secretária é de 56.804,22 kWh emitindo 14.996,31 kg de CO₂. Comparando-se os dois modelos, verifica-se que o Sony Vaio TAP 20 é a melhor alternativa, consumindo anualmente cerca de 38.070,76 kWh contra os 47.480,29 kWh do modelo Asus Transformer P1801. Efetuando-se projeções a 50 anos através dos dois modelos seria possível reduzir ao consumo de energia entre 9.041 a 18.165 kWh e emissões de CO₂ entre os 123.075 a 247.281 kg.

PCs	Investimento inicial (€)	Fatura anual eletricidade (€)	Fatura a 50 anos (Eletricidade) (€)	Poupança anual (Eletricidade) (€)	Poupança a 50 anos (Eletricidade) (€)	Retorno (anos)
Asus Transformer P1801	350856,00	4994,93	249746,31	-980,88	-49043,89	59,62
Sony Vaio TAP 20	313368,00	4005,04	200252,19	-1970,76	-98538,01	26,50

Tabela 7: Análise económica da substituição dos PCs

Admitindo um desconto de 20% na aquisição de um grande número de unidades, e analisando a , percebe-se que o modelo Sony Vaio Tap 20 reforça o seu estatuto como melhor opção já que permite uma redução na fatura de energia de cerca 1.970,76 € anuais contra os 980,88 € do modelo Asus Transformer P1801. A substituição de computadores é sempre uma opção que deve ser muito bem ponderada, visto o elevado investimento que é

necessário fazer para adquirir este tipo de equipamentos. A viabilidade económica da substituição de computadores de secretária está dependente do seu nível de contributo para a obtenção de riqueza da empresa, isto é, se a sua não substituição implica uma perda maior na rentabilidade da empresa, devido a uma diminuição da produtividade potencial, que a perda resultante dos custos associados à sua substituição.

4.4. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DEDICADO DOS SERVIDORES

Como se constatou na simulação dinâmica real, o sistema de climatização dedicado dos servidores tem um consumo anual de 38,62 MWh contribuindo para a emissão de 10.195 kg de CO₂. Uma vez que estes funcionam 24 horas por dia, foi projetada uma medida de *free-cooling*, que se baseia na instalação de dois ventiladores de conduta, controlados por dois sensores de temperatura. Um dos sensores só permitiria o funcionamento dos ventiladores sempre que a temperatura exterior fosse inferior a 20 °C e o outro controlaria a entrada de funcionamento da segunda unidade de expansão direta assim que a temperatura dentro da sala registasse 25 °C. Esta alteração pode ser verificada na Figura 47 do Anexo B e o resultado da simulação dinâmica para estas mudanças na seguinte :

	ApHVAC DX cooling systems energy (MWh)	ApHVAC distr fans energy (MWh)
	recuperador.aps	recuperador.aps
Date		
Jan 01-31	1.4634	4.6914
Feb 01-28	1.3696	4.1477
Mar 01-31	1.7111	4.4402
Apr 01-30	1.8371	4.5326
May 01-31	2.2493	4.6965
Jun 01-30	2.6367	4.1003
Jul 01-31	3.0731	4.4745
Aug 01-31	3.0249	4.3524
Sep 01-30	2.7926	4.2677
Oct 01-31	2.3698	4.7259
Nov 01-30	1.6893	4.3910
Dec 01-31	1.4811	4.6812
Summed total	25.6982	53.5015

Figura 33: Resultados da colocação dos ventiladores de conduta através de simulação dinâmica

Realizou-se uma simulação dinâmica no IES VE tendo em conta a medida proposta e, como se verifica na , a sua implementação permitiria uma poupança anual de 12,92 MWh no consumo de energia e uma redução nas emissões de CO₂ de cerca 3.411 kg, sendo que durante o ciclo de vida do edifício a 50 anos a redução de consumo situar-se-ia na ordem dos 647 MWh, com as respetivas emissões de dióxido de carbono à volta dos 170.595,74 kg.

Climatização Servidores	Potência (W)	Consumo diário por unidade (kWh)	Consumo total anual (MWh)	Consumo a 50 anos (MWh)	Emissões de CO ₂ (Kg)	Emissões de CO ₂ a 50 anos (Kg)
Expansão Direta	7000	105,81	38,62	1931,00	10195,66	509782,94
Expansão Direta + Ventiladores de conduta	8000	70,40	25,70	1284,80	6783,74	339187,20

Tabela 8: Consumo e emissões de CO₂ dos sistemas de climatização dedicados aos servidores

Após aferir através de uma consulta ao mercado das opções e dos preços de ventiladores de insuflação com filtro e de extração simples e de sensores de temperatura, procedeu-se a uma análise económica, ilustrada na . A inclusão de um sistema dedicado para a sala de servidores possibilita a redução da fatura anual de eletricidade em 1.359 €. O investimento é recuperado em menos de 3 anos. Ao longo do ciclo de vida do edifício para 50 anos são poupados cerca de 67.979 €.

Climatização Servidores	Investimento inicial (€)	Fatura anual eletricidade (€)	Fatura a 50 anos eletricidade (€)	Poupança anual eletricidade (€)	Poupança a 50 anos eletricidade (€)	Retorno (anos)
Expansão Direta	0,00	4062,82	203140,78	0,00	0,00	0,00
Expansão Direta + Ventiladores de conduta	3769,00	2703,22	135160,96	1359,60	67979,82	2,77

Tabela 9: Análise económica da instalação dos ventiladores

4.5. IMPLEMENTAÇÃO DE SENSORES DE CO₂

No documento das condições técnicas especiais dos sistemas de climatização do edifício consta que as UTAs e UTANs dispõem de variadores de velocidade e funcionam a volume constante. A solução possível para se tirar partido da existência de variadores de velocidade é a colocação de sensores de CO₂ nos espaços em que haja variação da ocupação, permitindo a regulação do caudal a insuflar sempre que existam flutuações nas concentrações de CO₂ nos espaços. Integrando esta solução no modelo construído no IES VE e realizada a respetiva simulação dinâmica, verifica-se através da uma poupança anual de 18,78 MWh no consumo de energia relativa ao funcionamento do Chiller/Bomba de calor, UTAs e UTANs. Também se verifica uma redução nas emissões de CO₂ de cerca 4.958 kg.

Efetuando-se uma análise de ciclo de vida do edifício a 50 anos, tal implica uma redução de consumo na ordem dos 939 MWh e das respetivas emissões de dióxido de carbono à volta dos 247.896 kg.

Sensores	Consumo Anual Chiller (MWh)	Consumo Anual Bomba de Calor (MWh)	Consumo Anual Ventiladores UTAs (MWh)	Consumo total Anual (MWh)	Consumo total a 50 anos (MWh)	Emissões de CO ₂ (Kg)	Emissões de CO ₂ a 50 anos (Kg)
Apenas Controlo Setpoint	23,60	11,68	59,88	95,16	4758,05	25122,50	1256125,20
Controlo Setpoint + Sensores de CO ₂	18,99	8,75	48,64	76,38	3819,05	20164,58	1008229,20

Tabela 10: Impacto da instalação dos sensores de CO₂ no consumo e emissões de CO₂

Depois de uma consulta de mercado ao nível dos sensores de CO₂, calculou-se o impacto económico da sua integração em conjunto com o funcionamento dos variadores de velocidade das UTAs e UTANs, como é apresentado na .

Sensores	Investimento inicial (€)	Fatura anual eletricidade (€)	Fatura a 50 anos eletricidade (€)	Poupança anual eletricidade (€)	Poupança a 50 anos eletricidade (€)	Retorno (anos)
Apenas Controlo Setpoint	0,00	10010,94	500546,86	0,00	0,00	0,00
Controlo Setpoint + Sensores de CO ₂	1500,00	8035,28	401764,06	1975,66	98782,80	0,76

Tabela 11: Análise económica da instalação dos sensores de CO₂

Anualmente prevê-se a diminuição na fatura de eletricidade em cerca de 1.975 €, pelo que o investimento é recuperado em menos de 1 ano. Ao longo do ciclo de vida do edifício para 50 anos são poupados cerca de 98.782 €.

4.6. DIMENSIONAMENTO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Com o objetivo de alcançar um balanço energético nulo e mediante as tecnologias para produção de energia renovável disponíveis e viáveis tendo em conta a localização e envolvente do edifício, a que é mais favorável para o efeito é a tecnologia fotovoltaica. Recorrendo à expressão matemática enunciada no ponto 2.6.7, pode ser estimada a produção anual de energia da seguinte forma:

$$\text{Produção anual de energia fotovoltaica} = PR \times Me \times Vst \times (A \times Gr \times 365)$$

Tendo em conta que o PR é igual a 0,81, que Gr é de 3,99 kWh/m², determinada através do ficheiro climático do SOLTERM, que Me é de 15,4 % e que o valor de Vst em condições padrão de teste de irradiância é de 1 kWh/m², para satisfazer um consumo anual de 422 MWh a área necessária para instalação dos painéis fotovoltaicos é de:

$$A = 422000 \div (0,81 \times 0,154 \times 1 \times 3,99 \times 365) \approx 2322,95 \text{ m}^2$$

Com o auxílio de um aplicativo de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para produção de energia renovável, o PVsyst, realizou-se um estudo assumindo que:

- módulo fotovoltaico CSUN250-60P - 250 Wp;
- miniprodução de 250 kW/309 kWp - 1236 módulos com área útil de 2007 m²;
- inclinação do modulo de 30° e azimute 0°.

Tendo em conta os parâmetros de entrada e as perdas associadas à eficiência dos equipamentos e condutores que integram o sistema fotovoltaico, a previsão de produção de energia fotovoltaica por parte do PVsyst é de 451,5 MWh/ano.

Uma vez que este tipo de aplicativos apenas prevê a área útil dos painéis fotovoltaicos a instalar, foi necessário calcular a distância mínima necessária entre painéis para evitar o sombreamento, como se ilustra na .

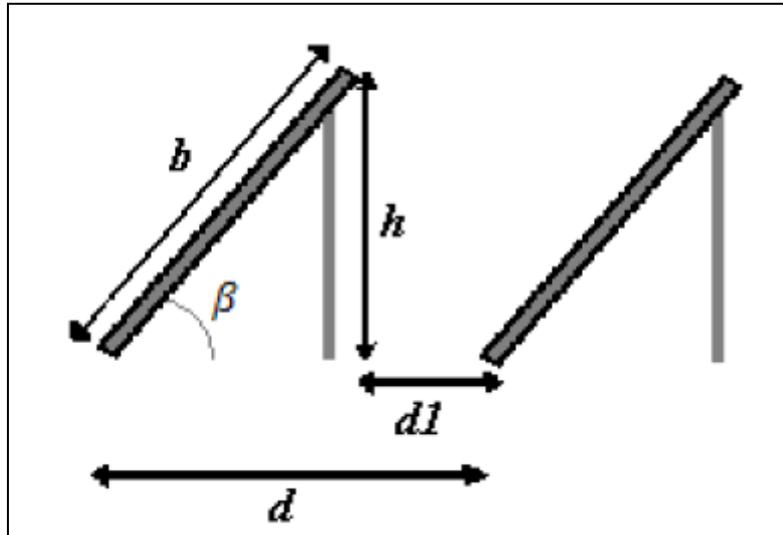


Figura 34: Distância entre painéis para evitar sombreamento

Fonte: (Dias, 2009)

A distância entre fileiras consecutivas d , depende da largura do painel b , da inclinação do painel β e do valor mínimo de altura solar que tolera o sombreamento γ .

$$d = \frac{b \times \text{sen}(180 - \beta - \gamma)}{\text{sen } \gamma}$$

Uma vez que a altura solar ao longo do ano é dinâmica, utilizou-se um método simplificado para se determinar a distância necessária para se evitar o sombreamento nos painéis, segundo a equação (Dias, 2009):

$$d = 2,25 \times b$$

$$d = 2,25 \times 0,99 \approx 2,23 \text{ m}$$

Sabendo que os módulos estão organizados num conjunto de 21 módulos em série distribuídos por 56 fileiras e noutro de 20 módulos por distribuídos em 3 fileiras, a área total necessária para a instalação fotovoltaica é de:

$$A = n^{\circ} \text{ fileiras} \times d \times \text{comprimento módulo} \times n^{\circ} \text{ módulo série}$$

$$A = 56 \times 2,23 \times 1,64 \times 21 + 3 \times 2,23 \times 1,64 \times 20 \approx 4520,29 \text{ m}^2$$

No que toca à análise financeira, o valor referente ao investimento para uma central fotovoltaica de 250 kW/309 kWp com entrega de energia em Média Tensão é de 403.000 €, apresentando um valor atual líquido de 43.029 € e uma taxa interna de retorno de 8%, como se pode verificar no Anexo D.

Sabendo que a eficiência do sistema decresce 1% ao ano, que a tarifa bonificada é de 0,125 € durante 15 anos e que a partir daí o preço de entrega à rede passa a ser igual ao valor de compra, o retorno do investimento é conseguido em 9 anos, como se verifica na :

Período Bonificado									
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9
Produção (kWh)	451520	447004,8	442534,8	438109,4	433728,3	429391	425097,1	420846,1	416637,7
Preço (kWh)	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209
Proveitos (€)	54588,77	54042,88	53502,45	52967,43	52437,75	51913,38	51394,24	50880,3	50371,5
Investimento inicial (€)	403000	353870,2	305286,4	257242,9	209734,5	162755,7	116301,3	70366,1	24944,8
Manutenção (€)	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459
Saldo (€)	-353870	-305286	-257243	-209734	-162756	-116301	-70366,1	-24944,8	19967,69

Tabela 12: Retorno do investimento do sistema fotovoltaico

Uma vez que as empresas que fabricam os equipamento integrantes do sistema fotovoltaico dão a garantia de 25 anos de ciclo de vida com a devida manutenção, em 50 anos de funcionamento do edifício, admitindo-se pouca variação das condições climáticas e do fator emissão de CO₂ e excluindo o progresso tecnológico destes sistemas, seriam produzidos cerca de 20.063 MWh de energia elétrica, evitando-se a emissão de 5234 t de CO₂, como é possível verificar no Anexo D.

4.7. SIMULAÇÃO DINÂMICA REAL FINAL E DESAGREGAÇÃO DOS CONSUMOS

Após integração no IES VE de todas as propostas anteriormente descritas neste capítulo, através dos cálculos efetuados pelo módulo Apache e adicionando o consumo associado à iluminação exterior e ao elevador em modo *standby*, estima-se que o edifício de serviços reduza o seu consumo anual de energia elétrica para 422,298 MWh. A tabela dos resultados fornecidos pelo IES VE está disponível no Anexo C.

Uma vez que não foi implementada nenhuma medida relativamente ao funcionamento dos servidores, o seu consumo manteve-se e como o consumo global do edifício diminuiu, o

seu contributo relativo aumentou para os 38%. Os sistemas de climatização do edifício registaram uma descida no consumo de 25% para 19,9 %, sendo 14,5% para arrefecimento, 4,1% para aquecimento e 1,2% para extração de ar. A iluminação e os equipamentos também diminuíram a sua contribuição na fatura energética, representando 19,5% e 12,6% do consumo, respetivamente. Os consumos do elevador e do sistema de AQS mantiveram a sua representação no consumo apresentando valores residuais que se situam nos 0,4% e 0,1%, respetivamente.

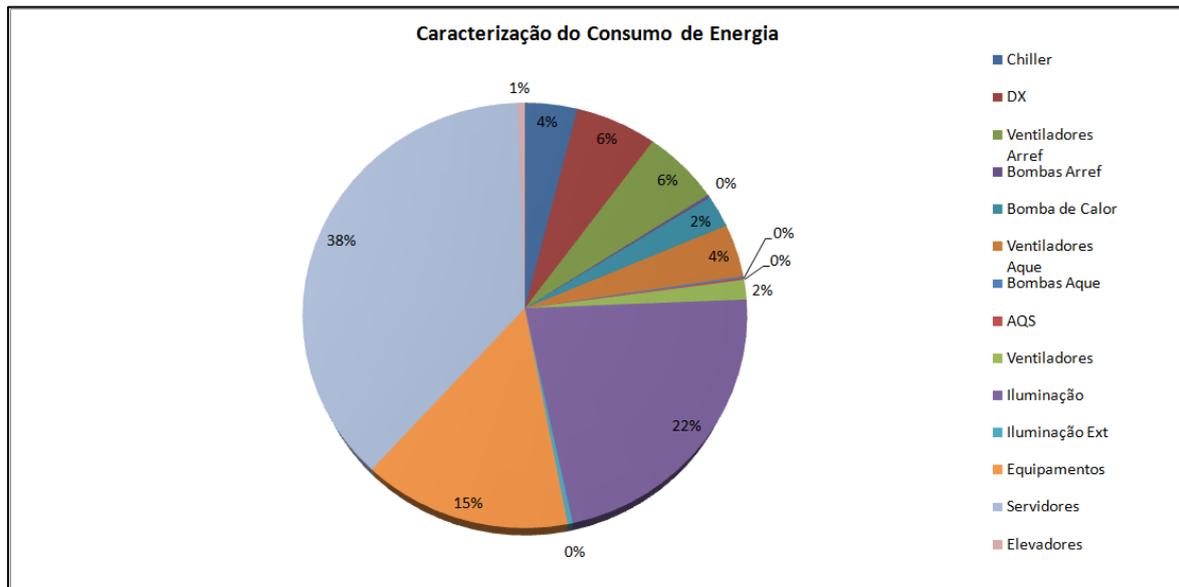


Figura 35: Caraterização do consumo energético final do edifício de serviços

4.8. IEE REAL APÓS OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

Como se pode verificar no Anexo C, o IEE real determinado por simulação dinâmica real sofreu uma diminuição de 34,71 kgep/m².ano para 29,4 kgep/m².ano, continuando dentro do valor limite regulamentar estabelecido pelo RSECE de 35 kgep/m².ano para edifícios de serviços com tipologia de escritórios.

4.9. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DO EDIFÍCIO DE SERVIÇOS

Os estudos sobre análise de ciclo de vida em edifícios ainda se encontram numa fase embrionária, sendo difícil a sua realização em todas as fases que o compreendem, já que nem sempre existe ou se tem acesso a dados que satisfaçam as variáveis de entrada para o método de cálculo. Provavelmente, devido a estes fatores, até à data de elaboração desta dissertação não existe em Portugal nenhum estudo sobre a análise de ciclo de vida em

grandes edifícios de serviços, nem foi definido nenhum edifício padrão segundo esta tipologia que sirva de base de comparação. Assim, no âmbito desta dissertação e com os dados disponíveis para este caso de estudo, em termos de análise de ciclo de vida, apenas são analisados o consumo de energia do edifício e respetivas emissões de CO₂ a 50 anos, uma idade média que a comunidade científica prevê para o funcionamento dos edifícios. O gráfico da foi construído com base no output das simulações dinâmicas disponíveis em Anexo C, extrapolando-se o consumo para 50 anos, admitindo-se que o consumo anual se mantém igual, conforme o equilíbrio do balanço entre o aumento da carga de funcionamento e a sua eficiência.

A aplicação das medidas de otimização preconizadas permite uma diminuição total energética de 6.134,79 kWh/m² para 5.198,16 kWh/m², o que representa uma redução de 15% de cada kWh consumido por unidade de área.

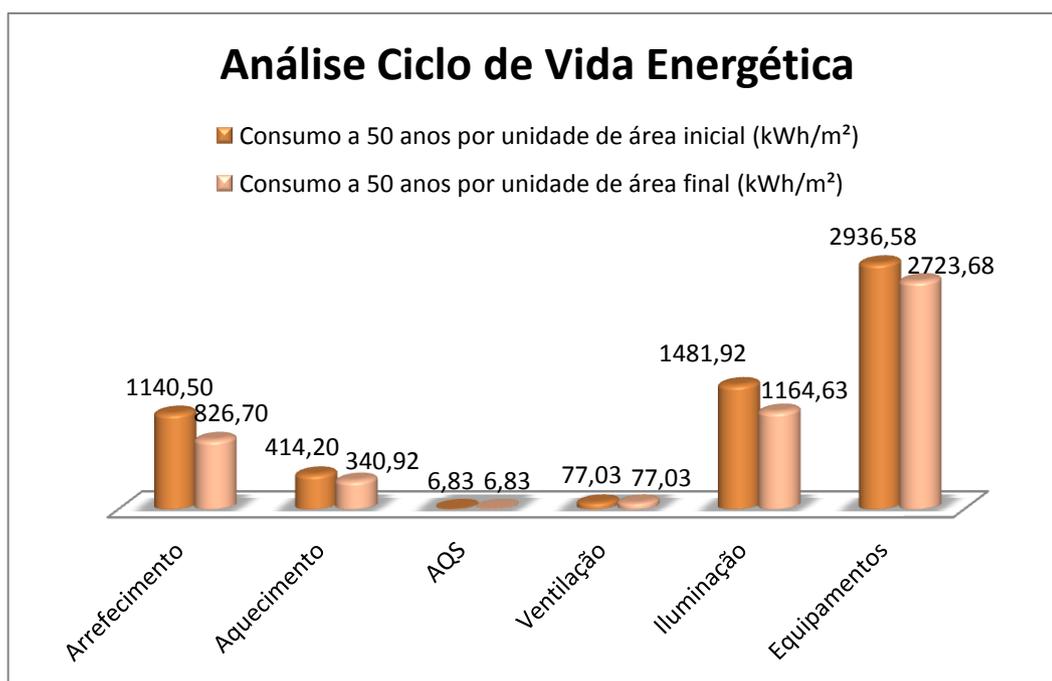


Figura 36: Análise de ciclo de vida energética na fase de operação.

Relativamente ao impacto ambiental por intermédio das emissões de CO₂ para a atmosfera, a possível implementação das medidas permitiria diminuí-las de 1.619,59 kg/m² para 1.372,31 kg/m², o que representaria uma redução de 15% em cada kg de CO₂ emitido por unidade de área. Como se verifica na , as medidas aplicadas no âmbito da climatização,

iluminação e equipamentos detêm a quota maior de responsabilidade na redução acima referida.

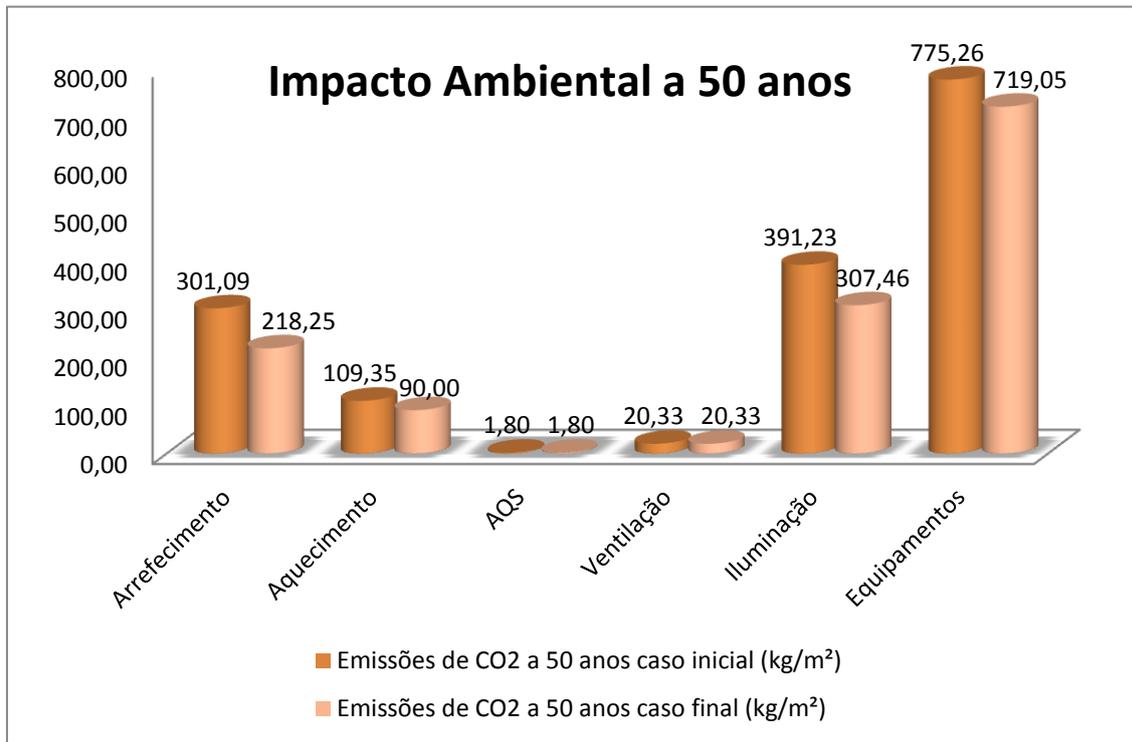


Figura 37: Impacto ambiental na fase de operação

Contabilizando-se o contributo da produção de energia elétrica a partir da tecnologia fotovoltaica ao longo de 50 anos, como se pode constatar no Anexo D e na , seriam produzidos cerca de 4.939,35 kWh/m² de “energia verde”, o que representaria uma poupança em termos de emissões de CO₂ em cerca de 1.303,99 kg/m².

Produção total a 50 anos por unidade de área (kWh/m ²)	Emissões de CO ₂ a 50 anos (kg/m ²)
4939,35	1303,99

Tabela 13: Produção de energia a 50 anos a partir do sistema fotovoltaico e respetivas emissões de CO₂ evitadas

Integrando este cenário juntamente com as medidas de otimização energética ao longo dos 50 anos, a energia consumida por fontes não renováveis seria cerca de 258,81 kWh/m² e as respetivas emissões de CO₂ seriam cerca de 68,32 kg/m². Isto significa que, no ciclo de

vida do edifício de serviços a 50 anos, para este ser autossuficiente a nível energético teria que produzir localmente mais 5% de cada kWh por unidade de área para tornar as emissões de CO₂ nulas.

5. CONCLUSÕES

A análise de ciclo de vida é uma ferramenta que pode ser útil na conceção de um edifício desde que este é construído até ao seu desmantelamento, podendo-se projetar e implementar processos que possibilitem que este tenha o menor impacto possível, quer a nível do ambiente, quer a nível de recursos utilizados e resíduos gerados. Porém, perante uma situação real de um edifício de serviços já existente e em que os dados disponíveis são escassos, as fronteiras de análise de ciclo de vida tiveram de ser reduzidas apenas ao seu consumo energético e respetivas emissões de CO₂. É de salientar, que mesmo que mais dados existissem, a análise do impacto energético de cada recurso usado na construção do edifício seria tarefa impossível, não só pelo seu número, mas também por ser de todo possível isolar os fluxos energéticos envolvidos, dado que o sistema não é passível de ser isolado. Isto é, ao se regredir temporalmente na análise, não é possível nunca atingir um ponto de início, pois os fluxos energéticos estão de tal forma encadeados, que não é possível isolar aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a construção do edifício. Além disto, não existem em Portugal, bases de dados dinâmicas que permitam consultar as energias incorporadas em todos os recursos utilizados na construção do edifício, e neste caso específico deste edifício já construído, não foi possível ter acesso à quantificação dos recursos efetivamente utilizados na construção. Por estes motivos, a análise do ciclo de vida deve ser efetuada na fase de conceção do edifício e deve ser atualizada durante a sua vida útil.

A nova reformulação da Diretiva 2010/31/EU com o objetivo de implementar o novo conceito NZEB nos novos edifícios a partir de 31 de Dezembro de 2020, ao ser respeitada na íntegra por todos os Estados Membros, revela-se como uma medida importante para promover a redução do consumo energético dos edifícios e incentivar o consumo de energias renováveis. Perante o caso de estudo traçado no âmbito desta dissertação concluiu-se que a aplicação do NZEB carece de uma definição quantitativa para que possam ser calculados alguns valores, como a energia que pode ser poupada através de medidas que se mostrem necessárias e viáveis economicamente no edifício, e também, a energia renovável que o edifício deve captar. Neste último caso, as tecnologias de conversão de energias renováveis, apresentam ainda um potencial de desenvolvimento elevado, o que explica as eficiências reduzidas e pouco competitivas a nível económico, comparativamente com a produção de energia através de combustíveis fósseis.

Através do caso em estudo verificou-se que apesar de estarem bem aplicadas algumas medidas passivas que servem de primeiro passo para NZEB, tal como a orientação, a forma e outros, o edifício apresenta um consumo relativo às necessidades de climatização de 26%, sendo a maior fatia de consumo relativa aos equipamentos e à iluminação, 74%, sobre um valor total anual de 498 MWh. Dada a análise deste cenário de consumos, pode concluir-se que a implementação das medidas passivas contribui para um melhor desempenho energético do edifício, mas não é suficiente fazer face aos consumos reais que o edifício apresenta.

Relativamente à análise de ciclo de vida energética do edifício a 50 anos e respetivas emissões de CO₂, foi estimado um consumo específico anual de 6 MWh/m², correspondente à emissão de 1,62 t/m² de CO₂. Com a integração de diversas medidas de otimização energética sobre as parcelas que mais contribuem para os gastos energéticos como a climatização, equipamentos e iluminação artificial, estimou-se uma redução no consumo total anual, de 76 MWh, o que resulta numa estimativa mais baixa de consumo anual, de 5,2 MWh/m² e consequentes emissões de CO₂, de 1,37 t/m².

Na tentativa de alcançar o objetivo de balanço energético nulo para o edifício, foram ponderadas várias alternativas de captação de energias renováveis (solar, eólica, mini-hídrica, biomassa) para fazer face ao consumo total anual de 422 MWh. Foi selecionada a captação de energia solar fotovoltaica, tendo sido dimensionado um sistema fotovoltaico para produzir 451 MWh anuais. Uma vez que o sistema perde 1% de eficiência na

produção de energia ao ano durante um tempo de vida útil de 25 anos garantido pelos fabricantes, constatou-se que para o edifício ter balanço energético nulo no seu ciclo de vida ter-se-ia que sobredimensionar o sistema. Assim, para o sistema fotovoltaico projetado nos 50 anos de ciclo de vida do edifício, a energia consumida proveniente de fontes não renováveis seria de 258,8 kWh/m² e as respectivas emissões de CO² de 68,3 kg/m².

REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

- ADENE - Guia da Eficiência Energética, Portugal: Agência Para a Energia, 2010.
- ADENE - NOTA TÉCNICA NT-SCE-01, Portugal: Agência Para a Energia, 2009.
- ASHRAE - *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals* - Atlanta, US: Mark S. ASHRAE Handbook Editor, 2009.
- AIVC - *A Guide to Energy Efficient Ventilation*, Air Infiltration and Ventilation Centre- University of Warwick Science Park, 1996. ISBN 0 946075 85 9.
- AuditAC - Auditac Trainnig Package, Auditac.
- BOS, Harriette; MEESTERS, Koen - *Sustainability evaluation of high value-added products*. Agrotechnology and Food Sciences Group, 2008. ISBN 978-90-8585-346-6.
- CAÑAS I.; NÚÑEZ,P.;MARTÍN-OCAÑA S.; MAZARRÓN F.; GARCÍA-GRINDA, J. - *Bioclimatic passive designs rural buildings*, Italy: Proceedings of the IMProve, 2011.
- CIB - Agenda 21 on sustainable construction, Netherlands: CIB Report Publication 237, 1999. ISBN 90-6363-015-8.
- CORCERIO, Leandro - Eficiência Energética Aplicada a Edifícios de Serviços, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2008.
- COLE, Raymond; Kernan, Paul - *Life-Cycle Energy Use in Office Building*, UK: Building and Environment, 1996.
- Decreto-Lei nº78/2006, Diário da República, 2006.
- EATON, K.; AMATO, A. - *A Comparative Life Cycle Assessment of Steel and Concrete Framed Office Building*, UK: Journal of Constructional Steel Reaserch, 1998.
- DIALux 4.10 [Executável]. DIAL GmbH.
- DIAS, Fransisco - Soluções técnicas para o projecto de edifícios de habitação incorporando produção própria de energia, Portugal: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2009.
- EUROPEAN COMMISSION - Eurostat : Energy, transport and environment indicators, 2012 edition, Luxembourg: European Comission,2012. ISBN 978-92-79-26596-9
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY - *Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources*, Denmark: European Environment Agency,1997.
- EUROPEAN PARLIAMENT, COUNCIL - *Directive 2002/91/EC :energy performance of buildings*, Official Journal, EU, 2003.
- EUROPEAN PARLIAMENT, COUNCIL - *Directive 2010/31/UE :energy performance of buildings (recast)*, Official Journal, EU, 2010.

- ETAP - Dossier EN 12464-1, Descrição Resumida da Norma, ETAP NV, 2012
- FARINHA, João; POEIRA, Lurdes; SILVA, Graciete - AALBORG+10 Inspirando o Futuro, 2004. [Consult. 3 Feb 2012]. Disponível em WWW:<http://www.esb.ucp.pt/twt/WebDriveAgenda21/Gallery/aalborg_commitments_portud9dba25d8108/aalborg_commitments_portuguese.pdf>.
- FAY, Roger; TRELOAR, Graham; IYER-RANIGA, Usha - Life cycle analysis of buildings: a case study, Australia: Building Research & Information, 2000
- FERREIRA, Rodrigo - Manual de Luminotécnica, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010.
- FICHA TÉCNICA - Ficha Técnica Centro Tecnológico de Ovar YAZAKI SALTANO, Janeiro 2011.
- FIORINI, Thiago - Projeto de Iluminação de Ambientes Internos Especiais, Vitória, Brasil: Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.
- GENERAL ASSEMBLY - *Program for the Further Implementation of Agenda 21*, 1997. [Consult. 10 Jun 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.un.org/documents/ga/res/spec/aress19-2.htm>>.
- GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY—*AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*, USA: The American Institute of Architects, 2010.
- GONÇALVES, Helder; AELENEI, Laura; RODRIGUES, Carlos - *SOLAR XXI: A Portuguese Office Building towards Net Zero-Energy Building*, *REHVA Journal*, 2012
- HEINBERG, Richard - *Beyond the Limits to Growth, The Post Carbon Reader Series: Foundation Concepts*. Post Carbon Institute, 2010.
- HORTA, Ricardo - Construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero, FCT - Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- HUOVILA, Pekka; KOSKELA, Lauri - *Contribution of the Principles of Lean Construction to Meet the Challenges of Sustainable Development*, Finland: VTT Building Technology, 1998.
- Iberdrola - *Climate change and green gas emissions* de 2012, Iberdrola, 2012. [Consult. 25 Set 2013]. Disponível em WWW:<<http://www.iberdrola.es/webibd/corporativa/iberdrola?IDPAG=ENWEBRESMAGESPRICAM>>.
- IES VE - IESVE for Engineers, IES VE, 2013. [Consult. 25 Set 2013]. Disponível em WWW:<<http://www.iesve.com/software/flyers/iesve-for-engineers-global.pdf>>.
- iiSBE PORTUGAL - Construção Sustentável, 2011. [Consult. 2 Jan 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.iisbeportugal.org/portugues/portugues.html>>.
- KATES, Robert W.; PARRIS, Thomas M.; LEISEROWITZ, Anthony A. - *What Is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values and Practice*, 2005. [Consult. 2 Jan 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.environmentmagazine.org/Editorials/Kates-apr05-full.html>>.

- KATES, Rober W. - *CID Working Paper No.213: Readings in Sustainability Science and Technology*. Robert Kates and Harvard College, 2010
- KHALFAN, Malik - *Sustainable Development and Sustainable Construction*, C-SanD, 2002. pp 20-26
- Kreith, Frank; Kreider, Jan F.- *Principles of Sustainable and Renewable Energy*. CRC Press: Taylor & Francis Group, 2011.
- LANHAM, Ana; GAMA, Pedro; BRAZ, Renato - *Arquitetura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro*, Lisboa: Instituto Técnico de Lisboa, 2004.
- LEVAN, Susan - *Life Cycle Assessment: Measuring Environmental Impact*, USA: Forest Products Society, 1995.
- LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, SolTerm - *Análise de desempenho de sistemas solares* [Em linha]. 2010. [Consult. 16 Set. 2013]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.lneg.pt/iedt/projectos/370/>>.
- LOPES, Filipa - *Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*, Lisboa: FCTUNL, 2010.
- MARINOSKI, Deivis - *Proteções Solares*, LabEEE, [Consult. 10 Jun 2013]. Disponível em WWW:<www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20-%20Aula%205%20-%20proteções%20solares.pdf>.
- MARQUES, Luís— *O Papel da Madeira na Sustentabilidade da Construção*, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2008.
- MATEUS, Ricardo - *Novas Tecnologias construtivas com Vista à Sustentabilidade da Construção*, Universidade do Minho, 2004.
- MENDONÇA, Paulo - *Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados*, Guimarães: Universidade do Minho, 2005.
- MONTEIRO, Andreia - *A Arquitetura Bioclimática, Experiência e aplicação em Portugal*, Portugal: FCTUC, 2011.
- ONU BRASIL - *Além da RIO+20: Avançando rumo a um futuro sustentável*, 2012. [Consult. 10 Jun 2013]. Disponível em WWW:<www.onu.org.br/rio20>.
- OSRAM - *Iluminação: Conceitos e Projetos*, OSRAM. [Consult. 10 Jun 2013]. Disponível em WWW:< <http://www.slideshare.net/davidaloi/apostila-osram-iluminacao-e-conceitos>>.
- PAGE, Ian - *Timber in Government buildings - cost and environmental impact analysis*, New Zealand: Branz Limited, 2006.
- PHILIPS - *Guia Prático Philips Iluminação*, Philips, 2009
- PINHEIRO, Manuel - *Ambiente e Construção Sustentável*, Amadora: Instituto do Ambiente, 2006. ISBN 972-8577-32-X
- Q Energia - S-Energy - *Solução de gestão de energia pronta a funcionar*, Q Energia [Consult. 30 Set 2013]. Disponível em WWW:<<http://www.qenergia.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=277>>.

- RCCTE & RSECE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos edifícios e Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Porto Editora, 2006. ISBN 978-972-0-01291-3.
- ROCHETA, Vera; FARINHA, Fátima; Beyer—Práticas de Projecto e Construtivas para a Construção Sustentável, Faro: Universidade do Algarve, 2007.
- RORIZ, Luis - Climatização: Conceção, Instalação e Condução de Sistemas, Amadora: Edições Orion, 2007. ISBN 978 972 8620 09 7
- SANTOS, Carlos; MATIAS, Luís - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, LNEC, 2006. ISBN-10 972-49-2065-8.
- SOLAR PROJECT - Painéis solares para produção de água quente. Solar Project. [Consult. 3 Ago 2013]. Disponível em WWW:<URL:http://www.ispgaya.pt/eventos/2semana_eng/Termico_%20Eng_Borges.pdf>.
- SVOBODA, Susan - Note on Life Cycle Analysis, National Pollution Prevention Center for Higher Education, University of Michigan Dana Building, 1995.
- TRELOAR, Graham - A Comparative Embodied Energy Analysis Framework, Faculty of Science and Technology, Deakin University, 1998.
- TURNER, Graham - A Comparison of the Limits to Growth with Thirty Years of Reality. CSIRO Sustainable Ecosystems, 2008. ISBN 1834-5638.
- UNITED NATIONS - Kyoto Protocol, 2013. [Consult. 3 Mai 2012]. Disponível em WWW:<URL:http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>.
- UNEP - Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products, United Nations Environment Programme, 2009. ISBN 978-92-807-3021-0.
- VULCANO - Solar Térmico, Portugal, Vulcano, 2012. [Consult. 31 Dez 2012]. Disponível em WWW:<URL: http://vulcano-pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/cat_logo_de_produtos/solar/versonet26setcatlogo_solar_2012_22.pdf>.

ANEXOS

Anexo A. Perfis Usados Na Simulação Dinâmica

Edifício		Área (m ²)	Área IES (m ²)	Iluminação (w)	W/m ²	Computadores W	improve pc	Equipamento
Piso 0	Cod IES	1604,28		13701			-	-
Sub-contract	P0_subcontract	46,77	53,46	432,00	9,24		-	-
Roupeiro	P0_roupeiro	29,35	18,61	294,00	10,02		-	-
Atrio	P0_atrio	297,27	310,00	1857,00	6,25	72	-	-
Escadas 2	P0_escadas2	27,60	30,54	52,00	1,88		-	-
Auditorio 1	P0_Auditorio	234,02	263,73	1911,00	8,17	144	-	340
Refeitório	P0_refeitório	200,00	209,16	391,00	1,96		-	5278
Caixa de Elevador	P0_elevador	7,34	6,98	0,00	0,00		-	-
Zona Técnica	P0_zona_tecnica	24,62	26,46	196,00	7,96		-	-
Crimping Center	P0_produção	309,32	320,20	3540,00	11,44	146	-	-
Dispensa	P0_dispensa	11,22	12,23	52,00	4,63		-	-
Escadas	P0_escadas1	41,62	39,72	104,00	2,50		-	-
Escritórios CC	P0_escritorioCC	89,00	94,89	756,00	8,49	1569	1107	270
Escritórios CD	P0_openspace	140,50	135,90	2112,00	15,03	1969	1419	135
Posto Médico	P0_pmedico	11,00	11,75	264,00	24,00		-	-
Sala 1	P0_gabinete1	16,80	19,48	176,00	10,48	72	-	-
Sala 2	P0_gabinete2	16,80	17,39	176,00	10,48	36	-	-
Zona de Apoio	P0_zona_de_apoio	53,35	58,74	944,00	17,69		-	-
WC F	P0_WCf	11,30	12,38	156,00	13,81		-	-
WC M	P0_WCm	11,50	12,59	104,00	9,04		-	-
WC D	P0_WCd	5,20	5,89	52,00	10,00		-	-
Regie	P0_regie	8,92	7,16	80,00	8,97		-	-
Unknown	P0_unknown	10,78	11,50	52,00	4,82		-	-
Piso 1		2457,98		30312,00			-	-
Arquivos	P1_arquivo	104,22	111,99	486,00	4,66		-	-
Copa	P1_copa	12,00	12,15	156,00	13,00		-	-
Economato	P1_economato	17,00	17,07	104,00	6,12		-	-
Gab Assist.	P1_gab_assist	23,13	23,13	176,00	7,61	73		51
Gab Dir 1	P1_gab_dir1	29,60	29,83	352,00	11,89	73		51
Gab Dir 2	P1_gab_dir2	29,60	29,83	352,00	11,89	73		51
Open Space	P1_openspace	1915,00	1975,00	26224,00	13,69	20727	14589	1155
Servidores	P1_servidor	37,00	50,44	216,00	5,84		-	18000
WC F	P1_WCf	38,20	40,14	364,00	9,53		-	-
WC M	P1_WCm	25,70	25,87	312,00	12,14		-	-
WC D	P1_WCd	5,40	5,83	52,00	9,63		-	-
Escadas	P1_escadas	68,60	69,41	132,00	1,92		-	-
Caixa de Elevador	P1_elevador	7,34	7,34	0,00	0,00		-	2000
Sala 1	P1_sala_reunioes1	25,00	25,44	352,00	14,08	36		170
Sala 2	P1_sala_reunioes2	25,00	25,27	352,00	14,08	36		-
Sala 3	P1_sala_reunioes3	18,30	18,96	176,00	9,62	36		-
Sala 4	P1_sala_reunioes4	18,30	20,12	176,00	9,62	36		170
Divisão	P1_divisão	13,11	13,18	66,00	5,03		-	-
Acesso ao telhado	P1_escadas	45,48	39,99	264,00	5,80		-	-

Tabela 14: Tabela com a estimativa da potência instalada em termos de iluminação e equipamentos.

CÓDIGO	DESIGNAÇÃO	UTILIZAÇÃO (ANEXO VI)	TIPOLOGIA (ANEXO XI)	PISO	CÁLCULO REAL										VENTILAÇÃO (PROJECTO)								
					ÁREA	PÉ DIREITO	VOLUME	OCUPAÇÃO REAL	CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO (M3/H) - CRITÉRIO ÁREA	CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO (M3/H) - CRITÉRIO OCUPANTE	CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO (M3/H)	EFICIÊNCIA DA VENTILAÇÃO O %	CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO DE PROJECTO (M3/H)	INSUFLAÇÃO	INSUFLAÇÃO	CAUDAL VENTILACIONECTOR	EQUIP. CLIMATIZAÇÃO	EQUIP. INSUFLAÇÃO	EQUIP. EXTRACÇÃO	FRACÇÃO AR NOVO	CAUDAL DA SOLUÇÃO	EXTRACÇÃO	RPH
					m2	m	m3							m3/h	L/S	m3/h	REF.	REF.	REF.	%	m3/h	m3/h	
P0_subcontract	Sub-contract	Área de armazenamento	Comercial	0	46,770	3,8	177,726	0	5	0	233,85	0,8	292,3125	450	125	0	0	UTA 1	UTA 1	1	450	450	2,531987441
P0_roupheiro	Roupeiro	N/A	N/A	0	29,350	3,8	111,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	UTA 3	UTA 3	0	0	100	0
P0_atrio	Atrio	Atrios	Entertimento	0	297,270	3,8	1129,626	2	5	0	1486,35	0,8	1857,938	1615	448,6111	0	0	UTA 2	UTA 2	0,75	1211,25	1085	1,429676725
P0_escadas2	Escadas 2	N/A	N/A	0	27,600	4,8	132,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	n/a	0	0	0	0	
P0_auditorio	Auditorio	Auditorio	Entertimento	0	234,020	3,2	748,864	56	0	30	1680	0,8	2100	2800	777,7778	0	0	UTA 3	UTA 3	1	2800	2800	3,758996667
P0_refeitorio	Refeitorio	Sala de refeições	Serviço de refeições	0	200,000	3,2	640	116	0	35	4060	0,8	5075	1900	527,7778	0	0	UTA 1	UTA 1	1	1900	1900	2,96875
P0_elevador	Caixa de Elevador	N/A	N/A	0	7,340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	n/a	0	0	0	#DIV/0!	
P0_zona_tecnica	Zona Tecnica	N/A	N/A	0	24,620	3,8	93,556	0	0	0	0	0	0	0	0	1	UI.3 e UI.5	n/a	n/a	0	0	0	0,010688785
P0_produção	Crimping Center	Sala de computadores	Serviços	0	309,320	3,8	1175,416	5	0	30	150	0,8	187,5	2750	763,8889	0	0	UTA 1	UTA 1	1	2750	2750	2,559597215
P0_dispensa	Dispensa	N/A	N/A	0	11,220	3,2	35,904	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	n/a	0	0	0	0	
P0_escritorioCC	Escritorios CC	Sala de computadores	Serviços	0	89,000	3,8	338,2	22	0	30	660	0,8	825	900	250	0	0	UTA 1	UTA 1	1	900	900	2,66114725
P0_openspace	Escritorios CD	Sala de computadores	Serviços	0	140,500	3,2	449,6	29	0	30	870	0,8	1087,5	1345	373,6111	0	0	UTA 2	UTA 2	0,75	1008,75	1175	2,991548043
P0_pmedico	Posto Médico	Consultório Médico	Serviços	0	11,000	3,2	35,2	2	0	35	70	0,8	87,5	0	0	800	Vc 2	n/a	Ve	0	0	100	22,72727273
P0_gabinete1	Sala 1	Gabinete	Serviços	0	16,800	3,2	53,76	2	5	35	84	0,8	105	170	47,22222	800	Vc 3	UTA 2	UTA 2	0,75	127,5	170	18,04315478
P0_gabinete2	Sala 2	Sala de recepção	Serviços	0	16,800	3,2	53,76	10	15	30	300	0,8	375	170	47,22222	800	Vc 4	UTA 2	UTA 2	0,75	127,5	170	18,04315476
P0_zona_de_apoio	Zona de apoio	Sala de recepção	Serviços	0	53,350	3,8	202,73	10	15	30	800,25	0,8	1000,313	300	83,33333	0	0	UTA 2	n/a	0	0	0	1,47980072
P0_WCF	WC F	N/A	N/A	0	11,300	3,2	36,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	Ve	0	0	0	300	0
P0_WCm	WC M	N/A	N/A	0	11,500	3,2	36,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	Ve	0	0	0	300	0
P0_WCd	WC D	N/A	N/A	0	5,200	3,2	16,64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	Ve	0	0	0	135	0
P0_regie	Regie	N/A	N/A	0	8,920	3,2	28,544	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	UTA3	0	0	0	100	0
P0_unknown	Unknown	N/A	N/A	0	10,780	3,2	34,496	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	n/a	0	0	0	0	
P1_arquivo	Arquivos	Área de armazenamento	Comercial	1	104,220	3,5	364,77	0	5	0	521,1	0,8	651,375	600	166,6667	0	0	UTA 4	n/a	0,905473	543,2836	0	1,644872111
P1_copa	Copa	N/A	N/A	1	12,000	3,5	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	Exaustor	0	0	0	500	0
P1_economato	Economato	N/A	N/A	1	17,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	Ve	0	0	0	280	#DIV/0!
P1_gab_assist	Gab Assist.	gabinets	Serviços	3	23,130	3,5	80,955	1	5	35	115,65	0,8	144,5625	500	138,8889	800	Vc 5	UTA 4	UTA 4	0,905473	452,7363	500	16,058304
P1_gab_dir1	Gab Dir 1	gabinets	Serviços	4	29,600	3,5	103,6	1	5	35	148	0,8	185	500	138,8889	800	Vc 6	UTA 4	UTA 4	0,905473	452,7363	500	12,54826255
P1_gab_dir2	Gab Dir 2	gabinets	Serviços	5	29,600	3,5	103,6	1	5	35	148	0,8	185	500	138,8889	800	Vc 7	UTA 4	UTA 4	0,905473	452,7363	500	12,54826255
P1_openspace	Open Space	Sala de computadores	Serviços	1	1956,000	3,5	7045,776	289	0	30	8670	0,8	10837,5	16800	4666,667	0	0	UTA 4	UTA 4	0,905473	15211,94	16500	2,384407339
P1_servidor	Servidores	N/A	N/A	1	37,000	3,5	129,5	0	0	0	0	0	0	0	0	858	UI.1e UI.2	n/a	Ve	0	0	280	6,625482625
P1_WCF	WC F	N/A	N/A	1	38,200	3,5	133,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	Ve	0	0	0	1200	0
P1_WCm	WC M	N/A	N/A	1	25,700	3,5	89,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	Ve	0	0	0	780	0
P1_WCd	WC D	N/A	N/A	1	5,400	3,5	18,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	Ve	0	0	0	160	0
P1_escadas	Escadas	N/A	N/A	1	68,600	4,8	329,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	n/a	0	0	0	0	
P1_elevador	Caixa de Elevador	N/A	N/A	1	7,340	10,87	79,7858	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	n/a	0	0	0	0	
P1_sala_reunioes1	Sala 1	Sala de recepção	Serviços	1	25,000	3,5	87,5	12	15	30	375	0,8	468,75	300	83,33333	0	0	UTA 4	n/a	0,905473	271,6418	0	3,428571429
P1_sala_reunioes2	Sala 2	Sala de recepção	Serviços	1	25,000	3,5	87,5	10	15	30	375	0,8	468,75	300	83,33333	0	0	UTA 4	n/a	0,905473	271,6418	0	3,428571429
P1_sala_reunioes3	Sala 3	Sala de recepção	Serviços	1	18,300	3,5	64,05	10	15	30	300	0,8	375	300	83,33333	0	0	UTA 4	n/a	0,905473	271,6418	0	4,683840749
P1_sala_reunioes4	Sala 4	Sala de recepção	Serviços	1	18,300	3,5	64,05	10	15	30	300	0,8	375	300	83,33333	0	0	UTA 4	n/a	0,905473	271,6418	0	4,683840749
P1_divisao	Divisão	N/A	N/A	1	13,110	3,5	45,885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n/a	UTA 4	0	0	0	200	0

Tabela 15: Quadro com os caudais de ar em cada espaço

Anexo B. Sistema de Climatização do Edifício de Serviços Construídos Para as Simulações - IES VE

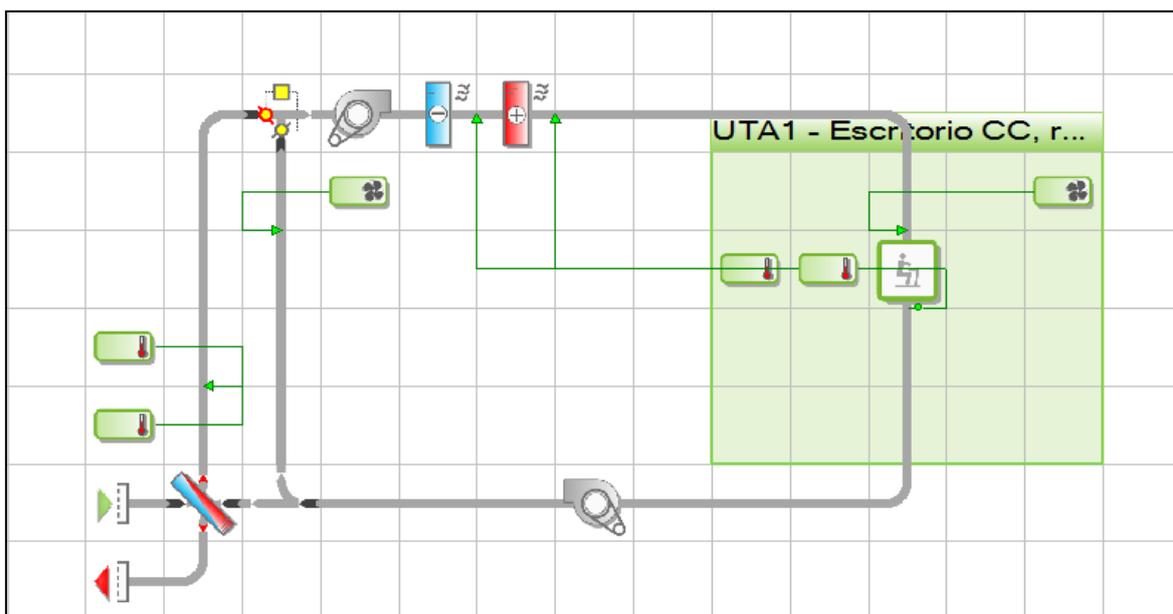


Figura 38: UTA 1 e climatização dos espaços: Escritório CC, *Crimping Center*, Cafetaria e *Sub - Contract*.

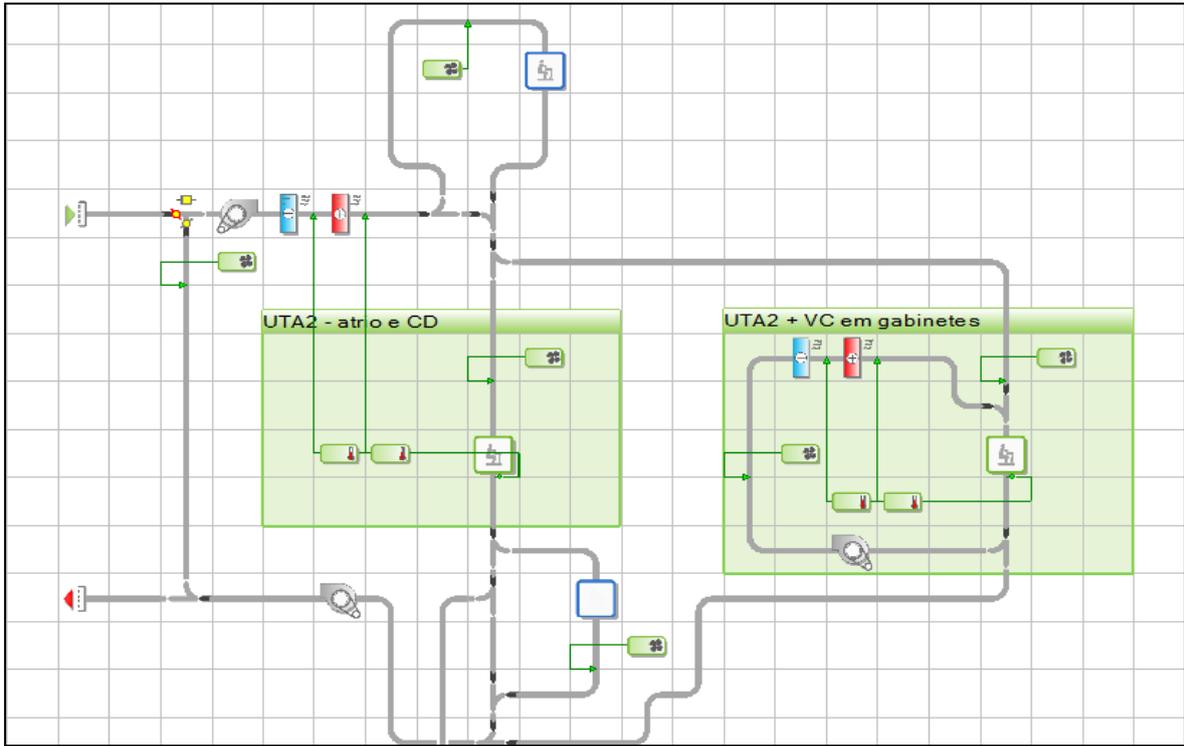


Figura 39: UTA 2 e climatização dos espaços: Átrio, *Openspace P0* e Gabinetes.

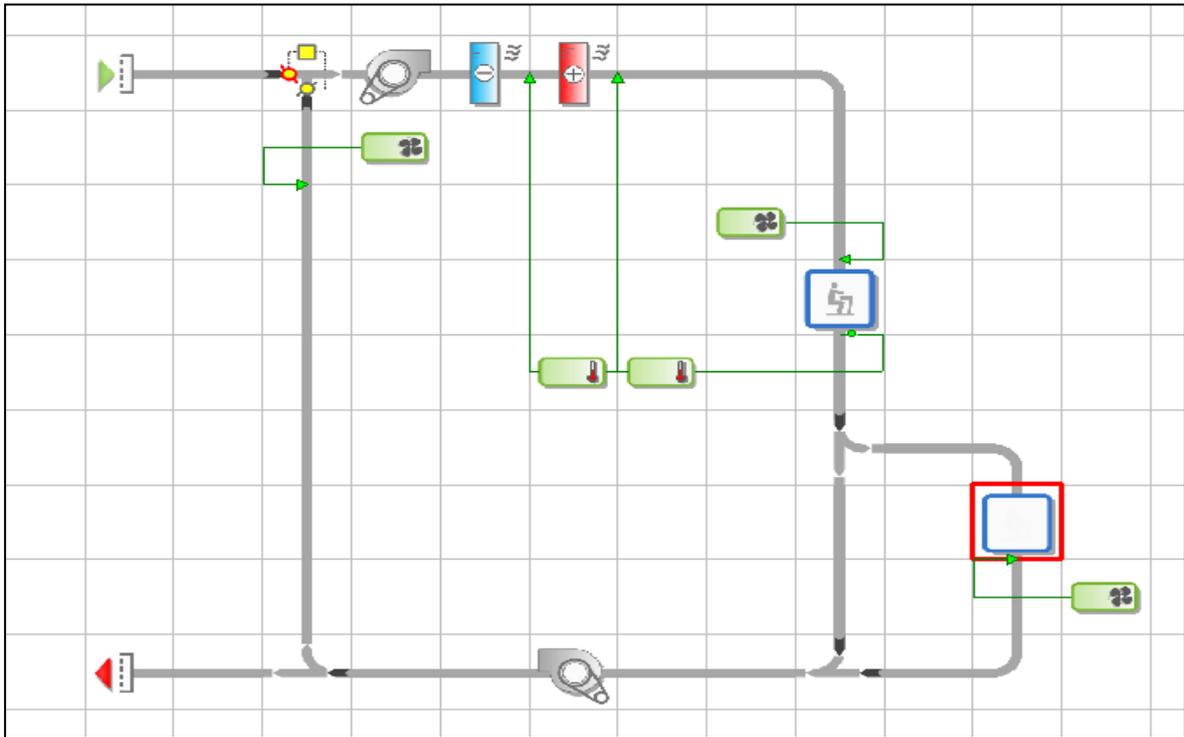


Figura 40: UTA 3 e climatização do auditório e extração da Régie

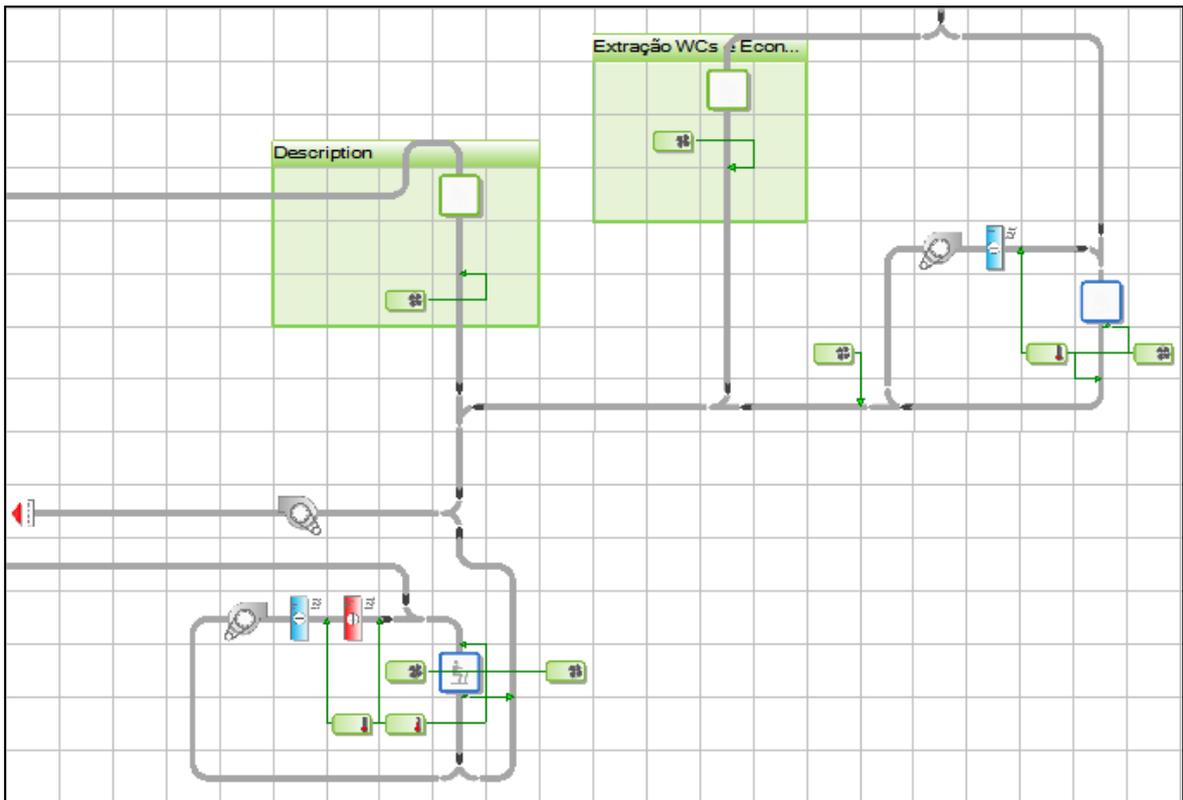


Figura 41: Ventiloinveter no Posto Médico, ar condicionado nos servidores e ventilador de extração dos WCs P0 e P1.

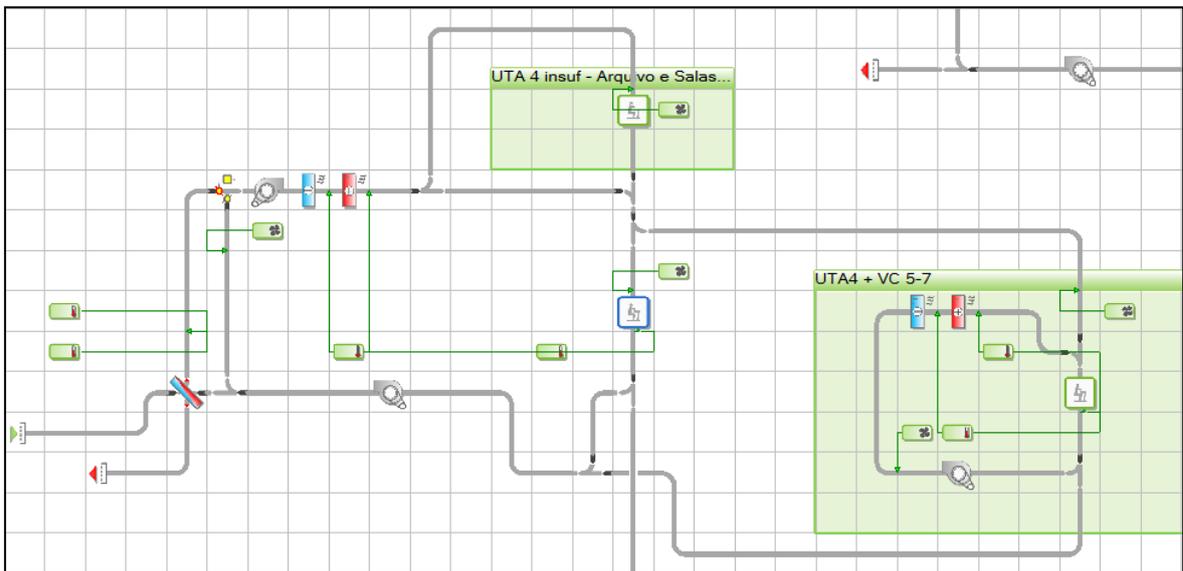


Figura 42: UTA 4 e climatização dos espaços: *Openspace* P1, Salas de Reuniões, Gabinetes e Arquivo.

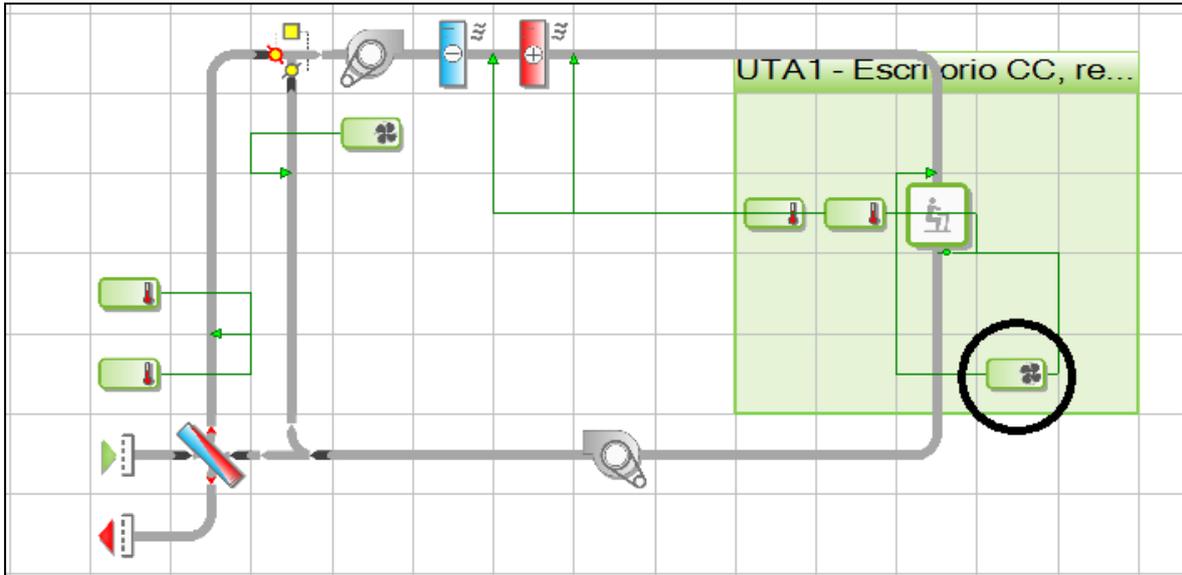


Figura 43: UTA 1 e controlo CO₂ dos espaços: Escritório CC, *Crimping Center*, Cafeteria e *Sub - Contract*.

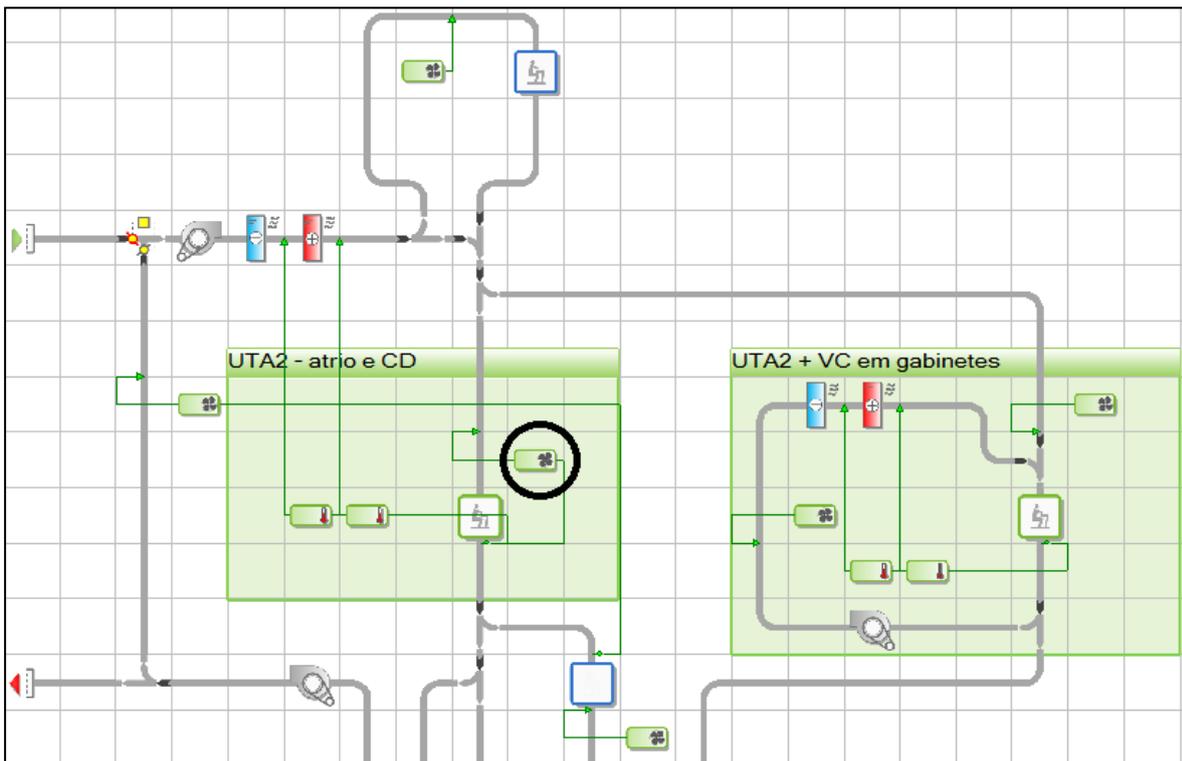


Figura 44: UTA 2 e controlo de CO₂ dos espaços: Atrio, *Openspace P0*.

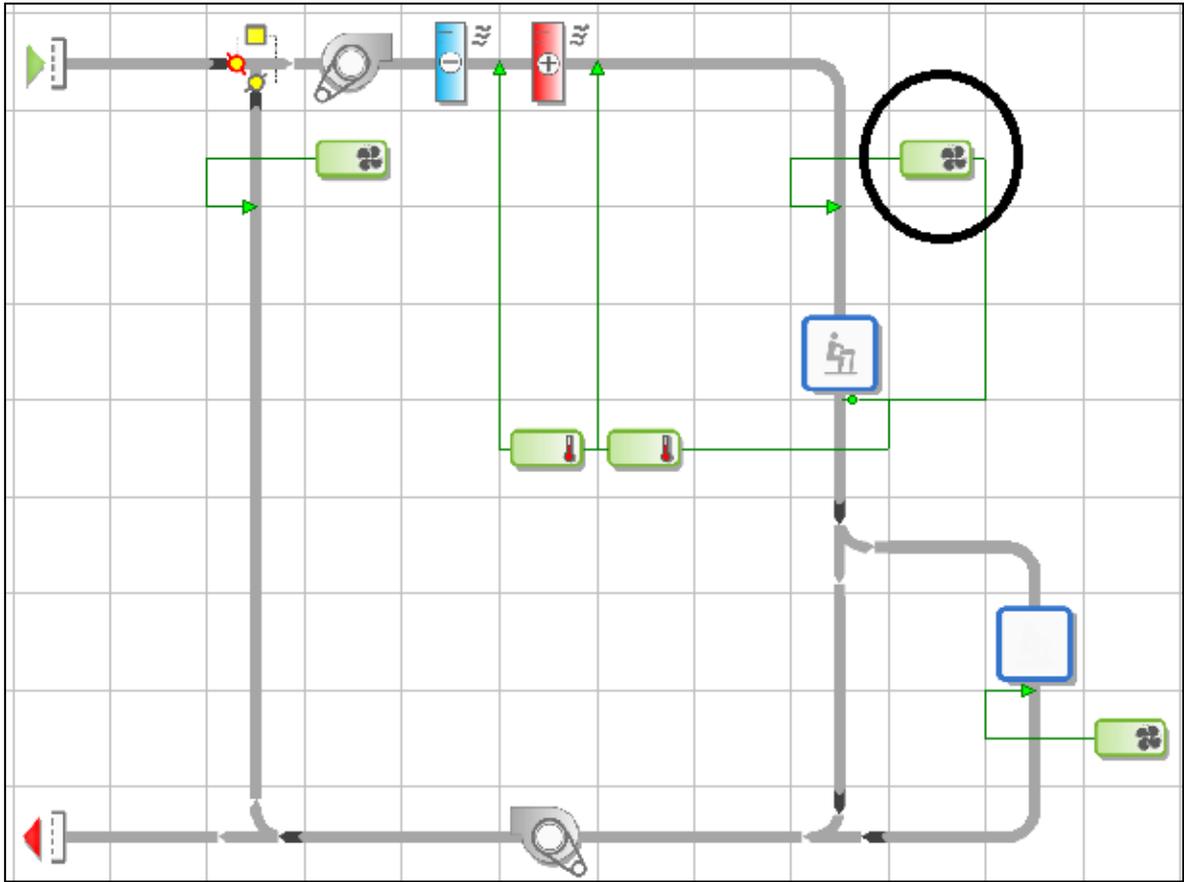


Figura 45: UTA 3 e controlo de CO₂ do Auditório e extração da Régie

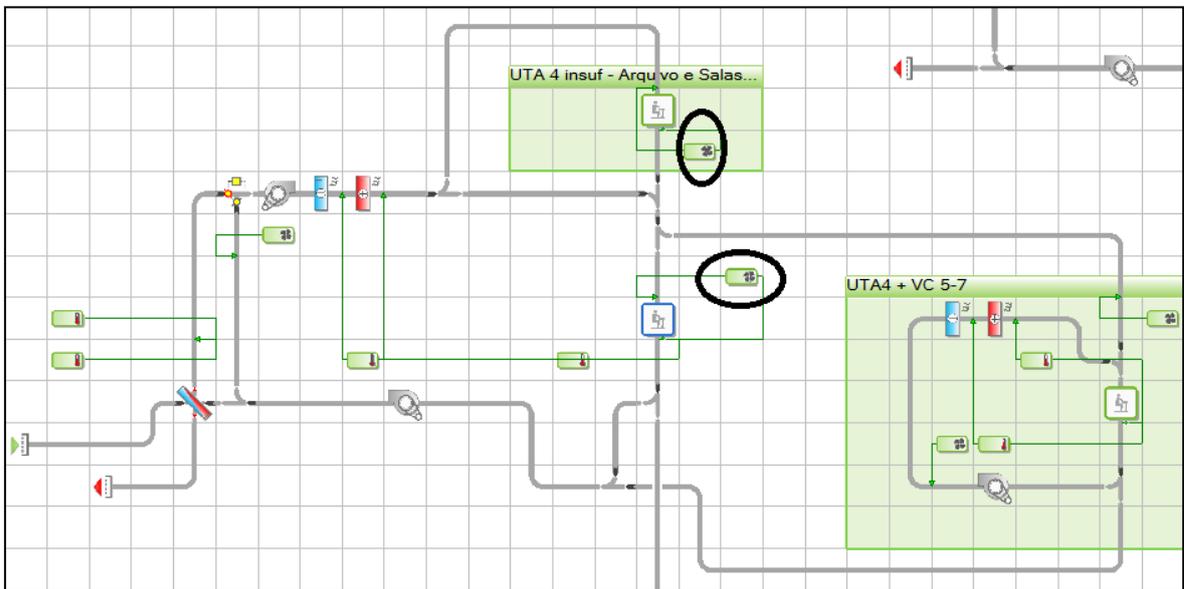


Figura 46: UTA 4 e controlo de CO₂ dos espaços: *Openspace* P1, Salas de Reuniões, Arquivo.

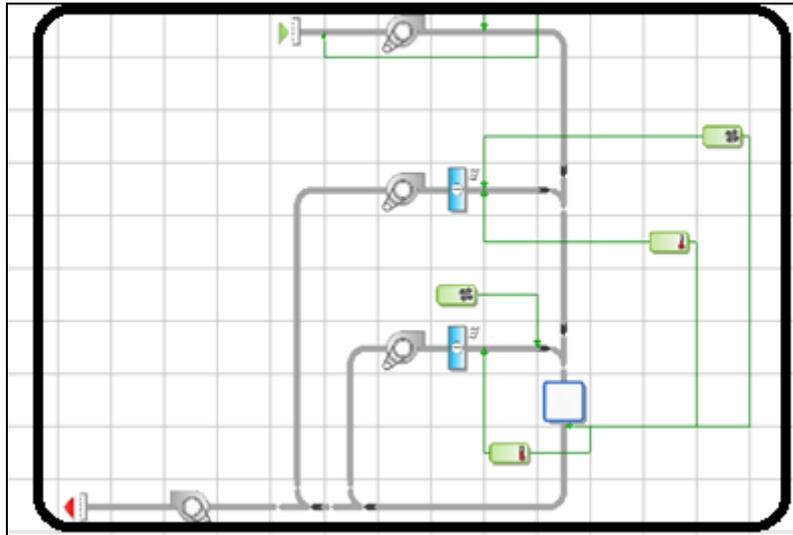


Figura 47: Sistema de climatização dedicado aos servidores

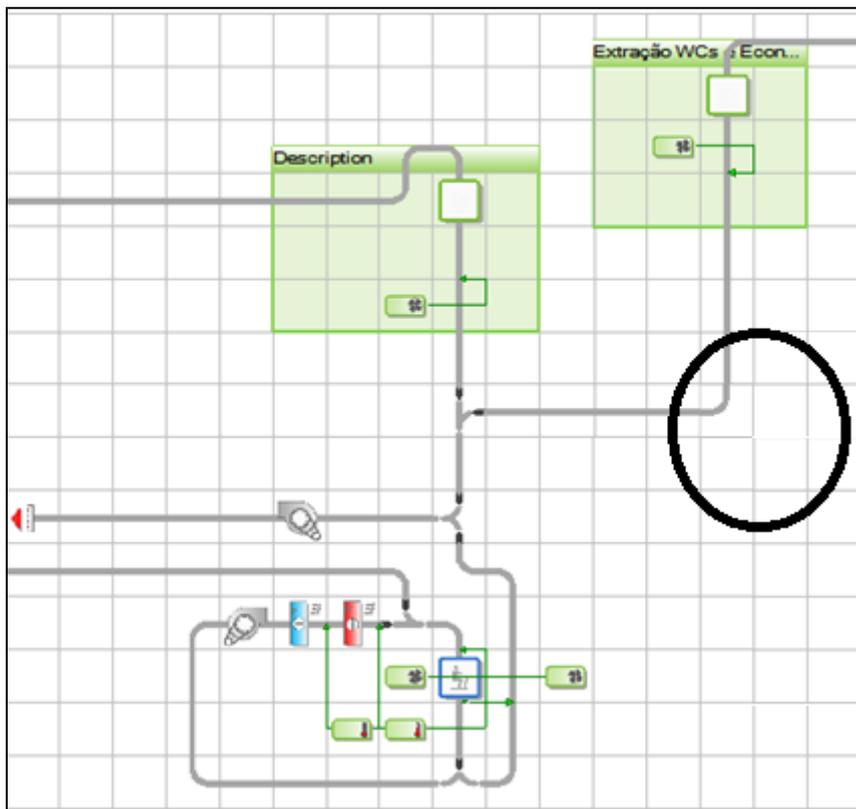


Figura 48: Ventiloinveter no Posto Médico e ventilador de extração dos WCs P0 e P1.

Anexo C. Simulação Dinâmica Real Inicial e Final

Chart(1): Tue 01/Jan to Tue 31/Dec

Output Analysis Help

	ApHVAC generic HPs heating energy (MWh)	Chillers energy (MWh)	ApHVAC DX cooling systems energy (MWh)	ApHVAC distr fans energy (MWh)	ApHVAC distr pumps energy (MWh)	ApHVAC heat rej fans/pumps energy (MWh)	Ap Sys aux + DHW/solar pumps energy (MWh)	Ap Sys heat rej fans/pumps energy (MWh)	Total system energy (MWh)	Lights electricity (MWh)	Equip electricity (MWh)	Total electricity (MWh)
Date	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap	recuperador.ap
Jan 01-31	3.1997	0.0693	3.1673	4.9750	0.1041	0.0000	0.3218	0.0257	12.3707	10.4492	20.1944	43.0143
Feb 01-28	2.4386	0.0846	2.8749	4.3476	0.0793	0.0000	0.2926	0.0314	10.5705	9.0982	18.2941	37.9627
Mar 01-31	1.7064	0.0817	3.2168	4.5980	0.0555	0.0000	0.3072	0.0303	10.3437	9.5533	19.9311	39.8280
Apr 01-30	0.0000	0.4170	3.1295	4.7659	0.0367	0.0085	0.3072	0.0353	9.0091	9.9728	19.4603	38.4421
May 01-31	0.0000	1.4173	3.2748	4.9750	0.1315	0.0350	0.3218	0.0336	10.3927	10.4267	20.1944	41.0138
Jun 01-30	0.0000	3.3870	3.2366	4.3889	0.2271	0.0851	0.2780	0.0596	11.7734	9.0650	18.8948	39.7331
Jul 01-31	0.0000	5.7272	3.9801	4.9750	0.3376	0.1444	0.3218	0.0941	15.0727	10.4267	20.1944	45.6938
Aug 01-31	0.0000	5.8678	3.9964	4.7865	0.3214	0.1467	0.3072	0.1129	15.0318	9.9728	19.9117	44.9162
Sep 01-30	0.0000	4.0483	3.2558	4.5774	0.2586	0.0990	0.3072	0.1093	12.7600	9.5321	19.4797	41.7717
Oct 01-31	0.0000	1.7203	3.2905	4.9750	0.1356	0.0396	0.3365	0.0816	10.7501	10.4399	20.4966	41.6885
Nov 01-30	1.5235	0.1373	3.1372	4.5774	0.0496	0.0000	0.3072	0.0510	10.0922	9.5533	19.4797	39.1251
Dec 01-31	3.3391	0.0900	3.1863	4.9750	0.1086	0.0000	0.3072	0.0334	12.5186	10.4336	19.8923	42.8443
Summed total	12.2072	23.0478	38.5460	56.9169	1.8456	0.5583	3.7159	0.6980	140.6885	118.9237	236.4232	496.0316

Figura 49: Resultados simulação dinâmica IES VE

Simulação Dinâmica Real

	Consumos Energéticos	kWh/ano	Fator conversão kgep/kWh	kgep/ano	Area (m2)	IEE kgep/m2.ano	Fator Conversão Climático	Pontes Térmicas lineares %	IEE Corrigido kgep/m2.ano	%
Arrefecimento	Chiller	23047	0,29	6683,63	4062	1,645403742	1	0,05	1,727674	4,976337
	DX	38546	0,29	11178,34	4062	2,751930084	1	0,05	2,889527	8,322901
	Ventiladores Arref	29970	0,29	8691,3	4062	2,139660266	1	0,05	2,246643	6,47116
	Bombas Arref	1091,5	0,29	316,535	4062	0,077925899	1	0,05	0,081822	0,235678
Aquecimento	Bomba de Calor	12207	0,29	3540,03	4062	0,871499261	0,699	0,05	0,639637	1,84239
	Ventiladores Aque	20689	0,29	5999,81	4062	1,477058099	0,699	0,05	1,084087	3,122569
	Bombas Aque	753,5	0,29	218,515	4062	0,053794929	0,699	0,05	0,039483	0,113725
Outros	AQS	555,06	0,29	160,9674	4062	0,039627622	-	-	0,039628	0,114142
	Ventiladores	6257,6	0,29	1814,704	4062	0,446751354	-	-	0,446751	1,286808
	Iluminação	118924	0,29	34487,96	4062	8,490388971	-	-	8,490389	24,45545
	Iluminação Ext	1467,2			4062					
	Equipamentos	78743	0,29	22835,47	4062	5,621730675	-	-	5,621731	16,19265
	Servidores	157680	0,29	45727,2	4062	11,25731167	-	-	11,25731	32,4252
	Elevadores	2144,448	0,29	621,88992	4062	0,153099439	-	-	0,153099	0,440983
Total	498390,508				4062		Total	34,71778	100	

Figura 50: Conversão para o IEE e desagregação dos consumos

Chart(1): Tue 01/Jan to Tue 31/Dec

	ApHVAC generic HPs heating energy (MWh)	Chillers energy (MWh)	ApHVAC DX cooling systems energy (MWh)	ApHVAC distr fans energy (MWh)	ApHVAC distr pumps energy (MWh)	ApHVAC heat rej fans/pumps energy (MWh)	Ap Sys aux + DHW/solar pumps energy (MWh)	Ap Sys heat rej fans/pumps energy (MWh)	Total system energy (MWh)	Equip electricity (MWh)	Lights electricity (MWh)	Total electricity (misc.) (MWh)
	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps	melhoias.aps
Date												
Jan 01-31	2.7194	0.0674	1.4560	4.1455	0.0885	0.0000	0.3218	0.0250	9.3577	18.6951	8.1864	36.2392
Feb 01-28	2.1282	0.0821	1.3620	3.6846	0.0632	0.0000	0.2926	0.0305	8.0939	16.9321	7.1305	32.1564
Mar 01-31	1.4294	0.0787	1.7040	3.9537	0.0465	0.0000	0.3072	0.0292	7.9098	18.5031	7.4873	33.9002
Apr 01-30	0.0000	0.2707	1.8296	4.0110	0.0186	0.0047	0.3072	0.0347	6.8117	18.0296	7.8084	32.6497
May 01-31	0.0000	0.9892	2.2415	4.1512	0.0954	0.0237	0.3218	0.0333	8.0618	18.6951	8.1639	34.9208
Jun 01-30	0.0000	2.3387	2.6264	3.6241	0.1877	0.0574	0.2780	0.0599	9.2814	17.6041	7.0973	33.9828
Jul 01-31	0.0000	3.9730	3.0636	3.9292	0.2884	0.0980	0.3218	0.0954	11.8617	18.6951	8.1639	38.7207
Aug 01-31	0.0000	4.3145	3.0148	3.8300	0.2776	0.1057	0.3072	0.1139	12.0562	18.4824	7.8084	38.3470
Sep 01-30	0.0000	2.9156	2.7829	3.7800	0.2156	0.0691	0.3072	0.1101	10.2840	18.0504	7.4660	35.8004
Oct 01-31	0.0000	1.1884	2.3611	4.1922	0.0962	0.0256	0.3365	0.0813	8.4512	18.9286	8.1771	35.5569
Nov 01-30	1.2229	0.1344	1.6824	3.9043	0.0398	0.0000	0.3072	0.0499	7.6602	18.0504	7.4873	33.1978
Dec 01-31	2.8042	0.0877	1.4730	4.1253	0.0912	0.0000	0.3072	0.0325	9.4275	18.4616	8.1707	36.0598
Summed total	10.3040	16.4403	25.5972	47.3311	1.5146	0.3842	3.7159	0.6958	109.2570	219.1275	93.1471	421.5318

Figura 51: Resultados simulação dinâmica final IES VE

Simulação Dinâmica da Otimização Energética

	Consumos Energéticos kWh/ano	Fator conversão kgep/kWh	kgep/ano	Area (m2)	IEE kgep/m2.ano	Fator Conversão Climático	Pontes Térmicas lineares %	IEE Corrigido kgep/m2. ano	%	
Arrefecimento	Chiller	16440	0,29	4767,6	4062	1,173707533	1	0,05	1,232393	4,189016
	DX	25597	0,29	7423,13	4062	1,827456918	1	0,05	1,91883	6,522278
	Ventiladores Arref	24229	0,29	7026,41	4062	1,729790743	1	0,05	1,81628	6,173703
	Bombas Arref	895	0,29	259,55	4062	0,063897095	1	0,05	0,067092	0,228052
Aquecimento	Bomba de Calor	10304	0,29	2988,16	4062	0,735637617	0,699	0,05	0,539921	1,835242
	Ventiladores Aque	16774	0,29	4864,46	4062	1,19755293	0,699	0,05	0,878944	2,987611
	Bombas Aque	618	0,29	179,22	4062	0,044121123	0,699	0,05	0,032383	0,110072
	AQS	555,06	0,29	160,9674	4062	0,039627622	-	-	0,039628	0,134698
Outros	Ventiladores	6257,6	0,29	1814,704	4062	0,446751354	-	-	0,446751	1,518549
	Iluminação	93147	0,29	27012,63	4062	6,650081241	-	-	6,650081	22,60424
	Iluminação Ext	1467,2			4062					
	Equipamentos	61447	0,29	17819,63	4062	4,386910389	-	-	4,38691	14,91151
	Servidores	157680	0,29	45727,2	4062	11,25731167	-	-	11,25731	38,26463
	Elevadores	2144,448	0,29	621,88992	4062	0,153099439	-	-	0,153099	0,520399
	Total	422298,158			4062			Total	29,41962	100

Figura 52: Conversão final para o IEE e desagregação dos consumos

Anexo D. Dimensionamento do Fotovoltaico e Análise Financeira

Período Bonificado															Tarifa contratada										Produção total a 50 anos (MWh)	Emissões de CO ₂ a 50 anos (t)	
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25		
Produção (kWh)	451520	447004,8	442534,8	438109,4	433728,3	429391	425097,1	420846,1	416637,7	412471,3	408346,6	404263,1	400220,5	396218,3	392256,1	388333,5	384450,2	380605,7	376799,7	373031,7	369301,3	365608,3	361952,2	358332,7	354749,4	20063,62	5296,80
Preço (kWh)	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1209	0,1052	0,1052	0,1052	0,1052	0,1052	0,1052	0,1052	0,1052	0,1052	0,1052		
Proveitos (€)	54588,77	54042,88	53502,45	52967,43	52437,75	51913,38	51394,24	50880,3	50371,5	49867,78	49369,1	48875,41	48386,66	47902,79	47423,76	40852,69	40444,16	40039,72	39639,32	39242,93	38850,5	38462	38077,38	37696,6	37319,64	Produção total a 50 anos por unidade de área (kWh/m ²)	Emissões de CO ₂ a 50 anos (kg/m ²)
Investimento inicial (€)	403000	353870,2	305286,4	257242,9	209734,5	162755,7	116301,3	70366,1	24944,8	-19967,7	-64376,5	-108287	-151703	-194631	-237074	-279039	-314433	-349418	-383999	-418179	-451963	-485355	-518358	-550976	-583214		
Manutenção (€)	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	5459	4939,35	1303,99
Saldo (€)	-353870	-305286	-257243	-209734	-162756	-116301	-70366,1	-24944,8	19967,69	64376,47	108286,6	151703	194630,6	237074,4	279039,2	314432,9	349418,1	383998,8	418179,1	451963	485354,5	518357,5	550975,9	583213,5	615074,1		

Tabela 16: Análise de produção de energia, emissões de CO₂ evitadas e retorno do investimento do sistema fotovoltaico.

		PVSYST V5.68	02/10/13	Page 1/4
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project : Miniprodução				
Geographical Site		Porto	Country	Portugal
Situation		Latitude 41.1°N	Longitude	8.4°W
Time defined as		Legal Time Time zone UT+1	Altitude	100 m
		Albedo 0.20		
Meteo data : Porto, Synthetic Hourly data				
Simulation variant : Miniprodução 250kW/309kWp				
		Simulation date	02/10/13 17h37	
Simulation parameters				
Collector Plane Orientation		Tilt 30°	Azimuth 0°	
Horizon		Free Horizon		
Near Shadings		No Shadings		
PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)				
PV module		Si-poly	Model	CSUN250-60P
		Manufacturer	China Sunergy	
Array#1: Number of PV modules		In series	21 modules	In parallel 56 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	1176	Unit Nom. Power 250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	294 kWp	At operating cond. 264 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	577 V	I mpp 457 A
Array#2: Number of PV modules		In series	20 modules	In parallel 3 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	60	Unit Nom. Power 250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	15.00 kWp	At operating cond. 13.47 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	550 V	I mpp 24 A
Total Arrays global power		Nominal (STC)	309 kWp	Total 1236 modules
		Module area	2007 m²	
Array#1 : Inverter				
		Model	Sunny Tripower17000 TL	
		Manufacturer	SMA	
Characteristics		Operating Voltage	150-800 V	Unit Nom. Power 17 kW AC
Inverter pack		Number of Inverter	14.0 units	Total Power 238 kW AC
Array#2 : Inverter				
		Model	Sunny Tripower12000 TL	
		Manufacturer	SMA	
Characteristics		Operating Voltage	150-800 V	Unit Nom. Power 12 kW AC
PV Array loss factors				
Thermal Loss factor		Uc (const)	25.7 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)				NOCT 48 °C
Wiring Ohmic Loss		Array#1	14 mOhm	Loss Fraction 1.0 % at STC
		Array#2	254 mOhm	Loss Fraction 1.0 % at STC
		Global		Loss Fraction 1.0 % at STC
Array Soiling Losses				Loss Fraction 1.2 %
Module Quality Loss				Loss Fraction 0.1 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05

Figura 53: Relatório do dimensionamento fotovoltaico - página 1

**Grid-Connected System: Simulation parameters (continued)****System loss factors**

AC wire loss inverter to transfo	Inverter voltage	400 Vac tri		
	Wires	57 m 3x240 mm ²	Loss Fraction	1.0 % at STC
External transformer	Iron loss (24H connection)	304 W	Loss Fraction	0.1 % at STC
	Resistive/Inductive losses	5.3 mOhm	Loss Fraction	1.0 % at STC

User's needs : Unlimited load (grid)

Figura 54: Relatório do dimensionamento fotovoltaico - página 2



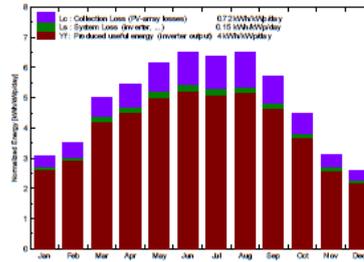
Grid-Connected System: Main results

Project : Miniprodução
Simulation variant : Miniprodução 250kW/309kWp

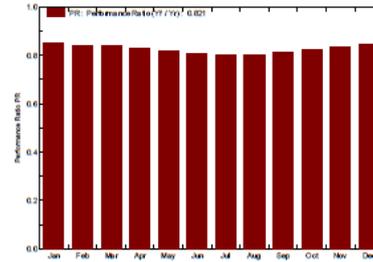
Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation		tilt	30°	azimuth 0°
PV modules		Model	CSUN250-60P	Pnom 250 Wp
PV Array		Nb. of modules	1236	Pnom total 309 kWp
Inverter		Model	Sunny Tripower17000 TL	Pnom 17.00 kW ac
Inverter		Model	Sunny Tripower12000 TL	Pnom 12.00 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	15.0	Pnom total 250 kW ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

Main simulation results
System Production **Produced Energy** **451.5 MWh/year** **Specific prod.** 1461 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 82.1 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 309kWp



Performance Ratio PR



Miniprodução 250kW/309kWp
Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EFarr %	ESysR %
January	60.0	9.30	95.6	92.7	26.13	25.16	13.62	13.12
February	71.0	10.10	97.8	94.8	26.37	25.36	13.44	12.93
March	126.0	11.50	155.8	151.4	42.01	40.49	13.44	12.95
April	151.0	12.90	163.7	158.9	43.63	42.04	13.28	12.80
May	193.0	15.10	190.2	184.0	49.91	48.10	13.08	12.60
June	208.0	18.10	195.4	188.9	50.48	48.65	12.87	12.41
July	206.0	19.90	197.6	191.4	50.71	48.86	12.79	12.32
August	192.0	19.80	200.9	195.1	51.55	49.62	12.78	12.31
September	145.0	19.00	171.7	166.8	44.63	43.02	12.96	12.49
October	101.0	16.20	139.0	135.0	36.65	35.32	13.14	12.66
November	60.0	12.30	93.1	90.3	25.02	24.06	13.39	12.88
December	48.0	9.90	79.9	77.4	21.70	20.84	13.53	12.99
Year	1561.0	14.53	1730.6	1726.8	468.79	451.52	13.12	12.64

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
T Amb Ambient Temperature E_Grid Energy injected into grid
GlobInc Global incident in coll. plane EFarrR Effc. Eout array / rough area
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings ESysR Effc. Eout system / rough area

Figura 55: Relatório do dimensionamento fotovoltaico - página 3

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Miniprodução
Simulation variant : Miniprodução 250kW/309kWp

Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	CSUN250-60P	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules	1236	Pnom total 309 kWp
Inverter	Model	Sunny Tripower17000 TL	Pnom 17.00 kW ac
Inverter	Model	Sunny Tripower12000 TL	Pnom 12.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	15.0	Pnom total 250 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Loss diagram over the whole year

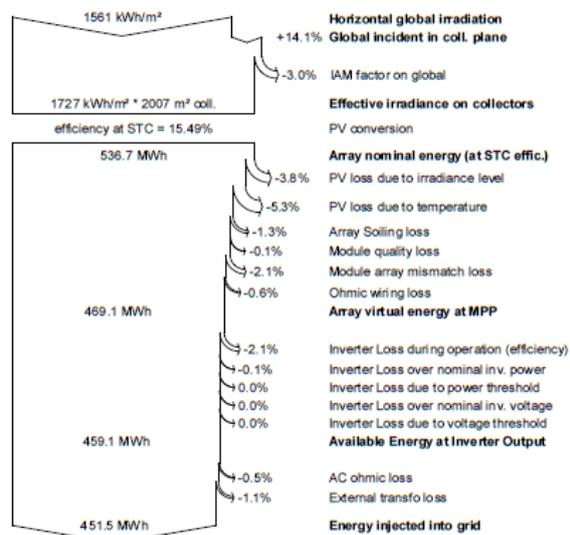


Figura 56: Relatório do dimensionamento fotovoltaico - página 4

Jayme da Costa
96 anos ao serviço da Energia

Miniprodução

A. Produção, exploração, operação e manutenção

Potência [kW]	250
Produção garantida [%]	82,1%
Produção Total [kWh]	451.520
Preço de venda [€/kWh]	0,1209
Vendas 1.º ano [€]	54.589
Validade tarifa bonificada [anos]	15
Tarifa Mercado SPOT [€/kWh]	0,0842
Taxa de Inflação [%]	2,50%
Tarifa Mercado SPOT 16.º ano [€/kWh]	0,1250
Operação & Manutenção [%/produção anual]	10%
Operação & Manutenção 1.º ano [€]	5.459
Management Fee [%]	1%
B. Investimento	
Turnkey project [€]	402.000
Licenças [€]	1.000
Estudo, due diligences, etc. [€]	0
Investimento [€]	403.000
Valor do incentivo [€]	0
Incentivo não reembolsável [%]	0%
Taxa de amortização [%]	12,50%
Amortizações Anuais [€]	50.375

C. Fiscalidade

Taxa de IRC [%]	27,50%
Taxa de IVA [%]	23,00%
Selo abertura de crédito MLP [%]	0,60%
Selo abertura crédito CP [%/mês]	0,04%
Imposto Selo [%]	4,00%
D. Financiamento, taxas de juro, custo do capital e inflação	
Capital Próprio [€]	120.900
Valor da Dívida [€]	374.790
Euribor 6 meses [%]	1,00%
Spread [%]	6,00%
Taxa de juro sem risco [%]	5,00%
Prémio de risco [%]	6,00%
% Capital Próprio	24,39%
% Dívida	75,61%
Taxa juro nominal passiva [%]	7,28%
Taxa juro efectiva [%]	8,14%
Custo dos Capitais Próprios [%]	11,00%
Taxa de Actualização [%]	7,14%
Prazo médio de recebimento [meses]	2,00
Caixa [meses]	0,50

E. Proposta Comercial

Receita Investidor [%]	100,00%
Opção de venda [ano]	11
Opção de compra [ano]	2

Análise de Viabilidade Económica

VAL [€]	43.029,36
TIR [%]	8%

Figura 57: Análise financeira do sistema fotovoltaico

