



## **Parametrização e implementação de medidas de eficiência energética - caso de estudo do fontelo, Viseu**

**PAULO JORGE SOUSA SILVA**

novembro de 2021

# PARAMETRIZAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PISCINAS MUNICIPAIS – CASO DE ESTUDO DO FONTELO, VISEU

Paulo Jorge Sousa Silva

1190053

**2021**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





# **PARAMETRIZAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PISCINAS MUNICIPAIS – CASO DE ESTUDO DO FONTELO, VISEU**

Paulo Jorge Sousa Silva

1190053

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos parciais necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação do Doutor Manuel Carlos Felgueiras.

**2021**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





## JÚRI

### **Presidente**

Doutora Nídia de Sá Caetano

Professora Coordenadora do Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Orientador**

Doutor Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Coorientador**

Eng<sup>o</sup> António Joaquim Fernandes Bento

Diretor de Fiscalização

### **Arguente**

Doutora Ana Isabel Palmero Marrero

Investigador e Docente de mobilidade interno da Faculdade de Engenharia do Porto da Universidade do Porto



## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Carlos Manuel Felgueiras, pelo apoio, orientação, conselhos e atenção demonstrada ao longo de dois anos do Mestrado, sendo um pilar fundamental no desenvolvimento de competências e percurso académico.

Ao Eng<sup>o</sup> Rui Borges, pela sua dedicação e vontade inata de partilhar os valores basilares que um engenheiro se deve reger na sua vida profissional, defendendo sempre o bom nome e profissionalismo da entidade que representa.

Ao Eng<sup>o</sup> Rui Pais, por ser um verdadeiro pai na disciplina profissional da engenharia, desde as horas investidas em esclarecer dúvidas e partilha de conhecimentos e experiências.

Ao Eng<sup>o</sup> Pedro Dourado, por todo o apoio, conselhos, motivação, amizade e companheirismo que levo comigo para a vida.

Ao Eng<sup>o</sup> António Bento, pelo profissionalismo e conhecimento partilhado na especialidade de mecânica e eletricidade ao longo do meu percurso profissional.

Ao Eng<sup>o</sup> Celestino Pereira, por todos os ensinamentos, companheirismo e amizade.

À Camara Municipal de Viseu, pelo empenho no projeto e dados disponibilizados.

Aos meus colegas e amigos que de uma forma ou outra, estiveram presentes nesta jornada académica e partilharam as minhas alegrias e dissabores.

Ao Dr. César e D. <sup>a</sup> Emília, por toda a amizade e carinho que sempre disponibilizaram incondicionalmente.

À Inês, por me presentear ao longo destes anos com a sua dedicação, apoio e amor.

Aos meus pais e irmãos, por serem a tradução fiel do significado de família.

A Deus, por todas as dádivas inerentes da vida, particularmente a da sabedoria e privilégio de me cruzar com todas as ilustres pessoas a quem dirijo um agradecimento.



O Prof. Eng<sup>o</sup> Manuel Carlos Felgueiras, orientador desta dissertação, recebeu o seu diploma de licenciatura (B.S.) e de doutoramento (Ph.D.) em engenharia eletrotécnica e de computadores pela Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, em 1987 e 2008, respetivamente. Iniciou a sua atividade profissional em 1987 como projetista de sistemas elétricos de automação. Mais tarde foi convidado para supervisionar um laboratório de teste para, de acordo com normas europeias, verificar conformidades termoelétricas em eletrodomésticos. Em 1994 iniciou a sua atividade docente como Professor Assistente e mais tarde como Professor Adjunto e investigador no Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE) no Politécnico do Porto (P.Porto), Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto, Portugal. Atualmente os seus interesses em investigação concentram-se no teste e verificação de sinais mistos, experimentação remota em contexto do ensino eletrónico à distância (e-learning), em fontes de energias renováveis e em edifícios inteligentes. O Prof. Carlos Felgueiras é atualmente membro da associação Portuguesa de Engenheiros e do consórcio GOLC (*Global Online Laboratory Consortium*). Publicou cerca de 90 artigos científicos e participa em vários comités científicos de conferencias nacionais e internacionais.



## **PALAVRAS CHAVE**

Auditoria Energética; Sustentabilidade; Conforto; Custos; Eficiência Energética; Gestão; Térmica

## **RESUMO**

As piscinas municipais representam um papel fundamental na comunidade, não só pela sua utilidade e prática de exercício físico. São vários os benefícios das atividades aquáticas e permite a qualquer pessoa, independentemente dos seus condicionamentos ou condição física, melhorar a sua saúde de forma confortável em diversos aspetos, designadamente, físico, psicológico e social. São diversas as razões pelo usufruto deste tipo de espaços públicos, visando a perspetiva de ensino, lazer e terapia. No entanto, estes tipos de complexos são altamente consumidores energéticos, cuja fatura energética é elevada e de forma intrínseca, a estes consumos, estão associadas emissões poluentes derivado da produção da energia.

A presente dissertação visa conhecimentos técnicos, projeto de estudo, implementação e resultados projetados através da execução da Empreitada de Implementação de Medidas de Eficiência Energética nas Piscinas Municipais, em Viseu. Esta reabilitação energética tem por objetivo a redução dos custos energéticos através do fornecimento e implementação de tecnologias, melhoria da eficiência energética dos equipamentos e otimização dos consumos de energia. Paralelamente, pretende-se correlacionar a importância da implementação destas medidas com a necessidade da transição energética para fontes de energia mais sustentáveis e que consequentemente reduzam as emissões de gases nocivos para a atmosfera e que afetam severamente o meio ambiente. A execução e implementação destas medidas alcançaram uma redução energética superior a 50%, uma poupança anual na fatura energética em 36,4% e uma redução de emissões totais de CO<sub>2</sub> em 87,22%. Concluiu-se que as Piscinas Municipais de Viseu apresentam o melhor desempenho energético de outros quatro casos de estudo.

Em 2015, as Organizações das Nações Unidas (ONU) desafiaram todas as Nações a dar um passo para um futuro brilhante para a humanidade, adotando vários objetivos globais com o objetivo de acabar com a pobreza, proteger o planeta e garantir que até 2030 todas as pessoas desfrutem de paz e prosperidade. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são metas para alcançar um futuro melhor e mais sustentável para o mundo, englobando desafios a uma escala mundial, como erradicação da pobreza e desigualdade, mudança climática, diminuição da degradação ambiental, paz e justiça.

A energia é uma grandeza física que está intrínseca a vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Um desses objetivos – vulgarmente conhecido como ODS 7 - visa garantir o acesso a energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos até o final da próxima década. Uma das premissas adotadas é que todos temos um papel a desempenhar, pensando global, agindo localmente. É nesta filosofia que se insere as seis medidas de intervenção/ requalificação no âmbito desta empreitada, medidas essas que visam o aumento do desempenho energético do edifício do caso de estudo.

Optando pelo recurso a energias mais sustentáveis, reduziria não só o valor da fatura energética anualmente, mas também as emissões poluentes associadas a este consumo. Urge mudança na forma como se obtém e se usa a energia, de forma a resolver a crise climática que a população mundial se depara atualmente.

Cabe a cada um de nós estimular essa mudança, não apenas como indivíduos, mas como comunidade.

**KEYWORDS**

*Comfort; Costs; Energy audit; Energy efficiency; Heat; Management; Sustainability*

**ABSTRACT**

*Municipal swimming pools play a fundamental role in the community, not only for their usefulness and practice of physical exercise. There are several benefits of water activities and it allows anyone, regardless of their limitations or physical condition, to comfortably improve their health in various aspects, namely, physical, psychological and social. There are several reasons for the use of this type of public spaces, such as teaching, leisure and therapy. However, these types of buildings are highly energy consumers, whose energy bill is high and with these consumptions are associated polluting emissions derived from energy production.*

*This dissertation is based on technical knowledge, research project, implementation, and projected results through the execution of the Contract for Implementation of Energy Efficiency Measures in Municipal Swimming Pools, in Viseu. This energy rehabilitation aims to reduce energy costs through the supply and implementation of technologies, improving the energy efficiency of equipment and optimizing energy consumption.*

*At the same time, it is intended to correlate the importance of implementing these measures with the need for an energy transition to more sustainable energy sources, which consequently reduce emissions of harmful gases into the atmosphere and that severely affect the environment. The execution and implementation of these measures achieved an energy reduction of more than 50%, and an annual saving in the energy bill of 36.4%, as also a reduction in total CO<sub>2</sub> emissions of 87.22%. It was concluded that the Municipal Swimming Pools of Viseu have the best energy performance of four other case studies.*

*In 2015, the United Nations (UN) challenged all Nations to take a step towards a bright future for humanity, adopting several global goals aimed at ending poverty, protecting the planet and ensuring that by 2030 all people enjoy of peace and prosperity. The Sustainable Development Goals (SDGs) are the blueprint for achieving a better and more sustainable future for the world, encompassing challenges on a global scale, such as eradicating poverty and inequality, climate change, reducing environmental degradation, peace and justice.*

*Energy is a physical quantity that is intrinsic to several Sustainable Development Goals. One of these goals – commonly known as SDG 7 – aims to ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all by the end of the next decade. One of the assumptions adopted is that we all have a role to play, thinking globally, acting locally.*

*It is in this philosophy that the six intervention/requalification measures are included, with the objective to increase the energy performance of the case-study building.*

Choosing to use more sustainable energies, it would reduce not only the charges in energy bill, but also the polluting emissions associated with this consumption. There is an urgent need to change the way energy is obtained and used in order to resolve the climate crisis that the world's population is currently facing.

It is up to each one of us to choose this change, not just as individuals, but as a community.

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Siglas

ADENE	Agência para a Energia
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
AS	Área Superficial
AT	Área Total
CE	Comissão Europeia
CELE	Comércio Europeu de Licenças de Emissão
CEN	Comité Europeu de Normalização
CFB	Consumo Final Bruto de energia
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CQNUAC	Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
EUA	Estados Unidos da América
EPDB	Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifício
ERSE	Entidade reguladora dos serviços energéticos
ESR	Regulamento Partilha de Esforços
FER	Fonte de Energia Renovável
GEE	Gases de efeito de estufa
GES	Grande Edifício de Serviços
GN	Gás Natural
H	Hidrogénio
IEE	Indicador Eficiência Energética
IEE <sub>s</sub>	Consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício
IEE <sub>t</sub>	Consumos de energia que não são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício
IEE <sub>REN</sub>	Produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis
ISP	Imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos
LED	<i>Light Emiting Diode</i>

LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
LULUCF	<i>Land Use, Land Use Change and Forestry</i>
NOx	Óxidos de nitrogénio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P&EEE	Padronização e etiquetagem de eficiência energética
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para Energias Renováveis
PNEC	Plano Nacional de Energia e Clima
PQ	Perito Qualificado
PVC	Policloreto de Vinil
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RCM	Resolução de Conselho de Ministros
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento dos Edifícios de Habitação
RNC	Roteiro para a Neutralidade Carbónica
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior
UE	União Europeia

#### Lista de Abreviaturas e Unidades

A	Área
°C	Grau Celsius
<i>d</i>	Variação
€	Euro
$E_v$	Fluxo luminoso
°F	Fahrenheit
g	Gramas
gCO <sub>2</sub> eq	Gramas de dióxido de carbono equivalente
j	Joule
Kg	Quilograma
kgCO <sub>2</sub> eq	Quilograma de dióxido de carbono equivalente
kJ	Kilojoules
kJ/(Kg.K)	Calor específico
kWh	Quilowatt-hora
Mtep	Milhão de tonelada equivalente de petróleo
<i>m</i>	Caudal

---

m	metro
$\eta$	Eficiência luminosa
P	Pressão
p.p.	Ponto percentual
Q	Troca de calor
t	Tempo
T	Temperatura
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
ton	Tonelada
V	Volume
W	Watt
W/(m.K)	Condutividade térmica

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO MUNDO [2].....	2
FIGURA 2 - OS DEZASSETE OBJETIVOS DA AGENDA 2030. ....	3
FIGURA 3: SINERGIAS ENTRE OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL [3]. ....	10
FIGURA 4: <i>TRADE-OFFS</i> ENTRE OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL [3].....	10
FIGURA 5: CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA POR VETOR ENERGÉTICO, NO MUNDO [6]. ....	12
FIGURA 6: FLUTUAÇÕES DE PREÇO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS EM 2020, NO MUNDO [7].....	13
FIGURA 7: PRODUÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA GERAR ELETRICIDADE, CALOR E TRANSPORTE [8]. .....	13
FIGURA 8: CAPACIDADE DE GERAR ENERGIA RENOVÁVEL, POR PAÍS/REGIÃO [8]. ....	14
FIGURA 9: CONSUMO DE ENERGIA POR VETOR ENERGÉTICO, NA EUROPA [10].....	15
FIGURA 10: PROJEÇÃO DE CAPACIDADE TOTAL DE POTÊNCIA INSTALADA POR COMBUSTÍVEL E TECNOLOGIA [8].....	16
FIGURA 11: SALDO IMPORTADOR RELATIVO AO ANO 2020 [8]. ....	17
FIGURA 12: CONTRIBUIÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, FONTES DE BAIXA EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> E COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NA GERAÇÃO DE ENERGIA [8]. ....	18
FIGURA 13: POTÊNCIA INSTALADA EM PORTUGAL [8].....	18
FIGURA 14: DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE PORTUGAL [14].....	19
FIGURA 15: DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA NA UNIÃO EUROPEIA - 28, NO ANO DE 2019 [10].....	20
FIGURA 16: CONSUMO ENERGÉTICO POR SETOR [13],[15] . ....	21
FIGURA 17: EVOLUÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RENOVÁVEIS NO CONSUMO FINAL BRUTO DE ENERGIA DE ACORDO COM A DIRETIVA 2009/28/CE [12],[3] .....	22
FIGURA 18: EVOLUÇÃO DA META DE PORTUGAL EM MATÉRIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA 2020 [12].....	23

FIGURA 19: EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA E EUROPEIA EM MATÉRIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	24
FIGURA 20: IMPACTO DA HUMIDADE RELATIVA NA SAÚDE DOS BANHISTAS [25].....	37
FIGURA 21: PERDAS ASSOCIADAS AOS COMPLEXOS DE PISCINAS INTERIORES.....	46
FIGURA 22: CONSUMO ENERGÉTICO TÍPICO DE UM COMPLEXO DESPORTIVO DE PISCINAS [32]. ....	46
FIGURA 23: CUSTOS ASSOCIADOS AO CONSUMO ENERGÉTICO TÍPICO DE UM COMPLEXO DESPORTIVO DE PISCINAS [32]. ....	47
FIGURA 24: EXEMPLO DE CALDEIRA A BIOMASSA COM ALIMENTAÇÃO AUTOMÁTICA. ....	50
FIGURA 25: ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA DIRETO.....	50
FIGURA 26: ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA INDIRETO. ....	51
FIGURA 27: ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM PERMUTADOR DE CALOR. ....	51
FIGURA 28: ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMA DE CIRCULAÇÃO FORÇADA.....	53
FIGURA 29: ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	54
FIGURA 30: A) TELA PVC; B) INSUFLADA; C) COBERTURA COM BOLHAS DE AR [30]. ....	55
FIGURA 31: MATRIZ DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO [38].....	58
FIGURA 32: EXEMPLAR DE ETIQUETA ENERGÉTICA. ....	59
FIGURA 33: REDUÇÃO DE CONSUMO DE ELETRICIDADE ANUAL DERIVADO DA IMPLEMENTAÇÃO DE PROGRAMAS DE ETIQUETAGEM E DEFINIÇÃO DE PADRÕES DE QUALIDADE [40]. ....	59
FIGURA 34: REDUÇÃO DE CONSUMO DE ELETRICIDADE EM APARELHOS NOVOS ABRANGIDOS POR PROGRAMAS P&EEE [40]. ....	60
FIGURA 35: EMISSÕES CO <sub>2</sub> , 1990-2020 [42]. ....	61
FIGURA 36: FLUTUAÇÕES NAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> , POR FONTE DE ENERGIA, 2010-2019 [42].....	62
FIGURA 37: PROJEÇÃO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES AÉREOS DIRETOS NA EU DERIVADO DA IMPLEMENTAÇÃO DE PROGRAMAS P&EEE [40]. ....	63
FIGURA 38: RELAÇÃO ENTRE CUSTO E MÉTODO DE OBTENÇÃO DO HIDROGÉNIO [44]. ....	64
FIGURA 39: VARIAÇÃO DE CUSTO ENERGIAS RENOVÁVEIS, ENTRE 2010 E 2020 [45]. ....	65
FIGURA 40: CONSUMO ENERGÉTICO ESTIMADO DAS PISCINAS MUNICIPAIS DO FONTELO. ....	69
FIGURA 41: FACHADA PRINCIPAL DAS PISCINAS MUNICIPAIS DO FONTELO. ....	71
FIGURA 42: ÁREA DE OCUPAÇÃO NO EDIFÍCIO. ....	73
FIGURA 43: VISTA GERAL DO EDIFÍCIO DAS PISCINAS MUNICIPAIS DE VISEU.....	74
FIGURA 44: ZONA TÉCNICA PISO 0. ....	75
FIGURA 45: VISTA GERAL DO TANQUE PRINCIPAL. ....	76
FIGURA 46: TIPOLOGIA DE LÂMPADA EXISTENTE. ....	79

---

FIGURA 47: CALDEIRAS EXISTENTES NO EDIFÍCIO DE CASO DE ESTUDO.....	80
FIGURA 48: DISTRIBUIÇÃO MÉDIA DOS CONSUMOS MENSIS DO EDIFÍCIO.....	81
FIGURA 49: CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA ENTRE JANEIRO DE 2014 E DEZEMBRO DE 2016.....	81
FIGURA 50: QUADROS ELÉTRICOS EXISTENTES NO EDIFÍCIO. ....	82
FIGURA 51: CONSUMOS DE ENERGIA TÉRMICA ENTRE JANEIRO DE 2014 E DEZEMBRO DE 2016. ....	82
FIGURA 52: VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO COM AS FATURAS DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA. .....	84
FIGURA 53: DESAGREGAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA OBTIDAS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA. ....	84
FIGURA 54: DESAGREGAÇÃO DE CONSUMOS DE ENERGIA TÉRMICA - SIMULAÇÃO DINÂMICA. ....	85
FIGURA 55: FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO ILUMINAÇÃO LED .....	89
FIGURA 56: FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO PAINÉIS SOLAR TÉRMICO .....	89
FIGURA 57: FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE CIRCUITO DE PERMUTADOR DE CALOR. ....	90
FIGURA 58: FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE COBERTURA ISOTÉRMICA. ....	90
FIGURA 59: CALDEIRAS BIOMASSA.....	91
FIGURA 60: FORNECIMENTO E MONTAGEM DE DEPÓSITO SOLAR 5000L PARA AQS. ....	91
FIGURA 61: ESQUEMA DE PRODUÇÃO TÉRMICA. ....	92
FIGURA 62: FUNCIONAMENTO DE COGERAÇÃO.....	93
FIGURA 63: RENDIMENTO ENERGÉTICO MÉDIO DE UM SISTEMA DE COGERAÇÃO DO FABRICANTE ESCOLHIDO PARA O ESTUDO. ....	94
FIGURA 64: GALP & CONTINENTE ELETRICIDADE VERDE (FE+DD), DA GALP. ....	111
FIGURA 65: SIMULAÇÃO PARA PLANO DE ELETRICIDADE NOS (DD+FE) - NOVOS CLIENTES OFERTA ENERGIA SOLAR (BAIRRO SOLAR), DA EDP.....	111
FIGURA 66: MONOELETRICO ACP 2021, DA GOLDENERGY.....	112
FIGURA 67: ANÁLISE DA FATURA ENERGÉTICA ENTRE FASES DELINEADAS PARA O CASO DE ESTUDO. .	114
FIGURA 68:EMISSÕES CO2 ENTRE FASES DELINEADAS PARA O CASO DE ESTUDO.....	115



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: FATORES DE ADICIONAMENTO, EVOLUÇÃO DA TAXA DE CARBONO E VALORES DE ADICIONAMENTO POR TIPO DE COMBUSTÍVEL [22]. .....	34
TABELA 2: TIPO DE USO E TEMPERATURAS IDEAIS PARA OBTENÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO [12]. .....	37
TABELA 3: FATOR AF, QUE VARIA MEDIANTE A ATIVIDADE [12]. .....	40
TABELA 4: VALORES MÉDIOS DE PARÂMETROS OPERACIONAIS DE DIFERENTES LÂMPADAS [27]. .....	43
TABELA 5: CONSUMOS MÉDIOS ANUAIS DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA EM PISCINAS INTERIORES [31]. .....	47
TABELA 6: TABELA COMPARATIVA COM OUTRAS PISCINAS MUNICIPAIS. ....	48
TABELA 7: PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATERIAIS UTILIZADOS EM COBERTURAS ISOTÉRMICAS [30].	56
TABELA 8: HORÁRIO DE FUNCIONAMENTO. ....	71
TABELA 9: TIPO DE ESPAÇO (SEGUNDO O RECS). ....	72
TABELA 10: DADOS CLIMÁTICOS DE REFERÊNCIA. ....	74
TABELA 11: ESPAÇOS DO TIPO B E COEFICIENTES T . ....	75
TABELA 12: TIPO DE SOLUÇÕES OPACAS EXISTENTES NO EDIFÍCIO. ....	76
TABELA 13: CARACTERÍSTICAS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS. ....	77
TABELA 14: ÁREA DE ENVOLVENTE DO EDIFÍCIO POR ORIENTAÇÃO. ....	77
TABELA 15: ÁREAS DA ENVOLVENTE. ....	78
TABELA 16: INÉRCIA TÉRMICA DA ENVOLVENTE TRANSPARENTE. ....	78
TABELA 17: DENSIDADES DE ILUMINAÇÃO INTERIOR POR TIPOLOGIA. ....	78
TABELA 18: TIPO DE SISTEMA EXISTENTE PARA AQS. ....	80
TABELA 19: COMPARAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA. ....	84
TABELA 20: COMPARAÇÃO DOS CONSUMOS DE GÁS NATURAL. ....	85

TABELA 21: APURAMENTO DE CONSUMOS PREVISTOS E CONSUMOS DE REFERÊNCIA .....	86
TABELA 22: INTERVALOS DE VALOR DE RIEE PARA A DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS.....	87
TABELA 23: APURAMENTO DE CLASSE ENERGÉTICA.....	87
TABELA 24: MEDIDAS VISADAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	88
TABELA 25: ESTUDO SOBRE SISTEMA DE COGERAÇÃO GBOX50. ....	94
TABELA 26: ESTUDO SOBRE SISTEMA DE COGERAÇÃO AGENITOR 404. ....	95
TABELA 27: DADOS SOBRE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	95
TABELA 28: ESTUDO SOBRE SISTEMA DE COGERAÇÃO GBOX 50 COM APOIO FOTOVOLTAICO.....	95
TABELA 29: DADOS SOBRE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	96
TABELA 30: ESTUDO DE APOIO FOTOVOLTAICO. ....	96
TABELA 31: BENEFÍCIOS RESULTANTES DE IMPLEMENTAÇÃO DE APOIO FOTOVOLTAICO, ENTRE ÁREA TOTAL (AT) E ÁREA DE SUPERFÍCIE DA PISCINA (AS). ....	97
TABELA 32: DESAGREGAÇÃO DE CONSUMOS. ....	101
TABELA 33: CLASSE ENERGÉTICA.....	101
TABELA 34: CUSTOS E PERÍODOS DE RETORNO RESULTANTES DAS MEDIDAS DE MELHORIA. ....	102
TABELA 35: INDICADORES ENERGÉTICOS E ECONÓMICOS REFERENTES À ENERGIA CONSUMIDA NO CASO DE ESTUDO ENTRE ÁREA TOTAL (AT) E ÁREA DE SUPERFÍCIE DA PISCINA (AS).. ....	103
TABELA 36: INDICADORES DIÁRIOS POR UTENTE. ....	104
TABELA 37: COMPARAÇÃO DE CONSUMOS E CUSTOS POR ÁREA TOTAL (AT) E ÁREA DE SUPERFÍCIE DE PISCINA (AS), E EMISSÕES CO <sub>2</sub> . ....	105
TABELA 38: ESTUDO SOBRE SISTEMA DE COGERAÇÃO GBOX50. ....	106
TABELA 39: ESTUDO SOBRE SISTEMA DE COGERAÇÃO AGENITOR 404. ....	107
TABELA 40: ESTUDO SOBRE SISTEMA DE COGERAÇÃO GBOX 50 COM APOIO FOTOVOLTAICO.....	108
TABELA 41: BENEFÍCIOS RESULTANTES DE IMPLEMENTAÇÃO DE APOIO FOTOVOLTAICO. ....	109
TABELA 42: INDICADORES DIÁRIOS POR UTENTE. ....	109
TABELA 43: IMPACTO NAS EMISSÕES CO <sub>2</sub> DERIVADO DA ADESÃO A UM PLANO DE <i>ENERGIA VERDE</i> . ...	113
TABELA 44: VALORES COMPARATIVOS ENTRE FASE DE IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS, FASE DE MEDIDAS ALTERNATIVAS E FASE DE MEDIDAS COMPLEMENTARES. ....	114





## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Enquadramento geral .....	2
1.2	Objetivos da dissertação .....	4
1.3	Conteúdo da dissertação .....	5
2	REVISÃO BIBILOGRÁFICA.....	9
2.1	Consumo e produção de energia global .....	12
2.1.1	Consumo e produção de energia à escala mundial .....	12
2.1.2	Consumo e produção de energia em Portugal .....	16
2.2	Legislação .....	23
2.2.1	Programas estratégicos em matéria de eficiência energética em edifícios .....	34
2.3	Transferência de calor por convecção .....	37
2.4	Transferência de calor por condução.....	38
2.5	Transferência de calor por radiação .....	39
2.6	Transferência de calor com os banhistas.....	39
2.7	Evaporação de água .....	40
2.8	Introdução de água nova ao sistema .....	41
2.9	Influência da iluminação no ganho de calor .....	42
2.10	Ganhos solares .....	44

2.11	Balanço energético.....	45
2.12	Consumos de referência em complexos desportivos com piscinas interiores .....	46
2.13	Consumos de outras piscinas localizadas em Portugal e geograficamente próximas ao caso de estudo .....	48
2.14	Análise de medidas para aumento de eficiência energética de complexos desportivos com piscinas cobertas .....	49
2.14.1	Caldeira a biomassa .....	49
2.14.2	Sistemas solar térmico.....	50
2.14.3	Sistemas solar fotovoltaico.....	53
2.14.4	Cobertura isotérmica.....	54
2.14.5	Sistemas e equipamentos de iluminação .....	56
2.15	Certificação e etiquetagem energética .....	57
2.16	Emissões de gases com efeitos de estufa .....	60
2.17	Hidrogénio.....	64
3	CASO DE ESTUDO .....	69
3.1	Metodologia.....	70
3.2	Caracterização do edifício e dos equipamentos .....	71
3.3	Perfis de utilização .....	81
3.3.1	Balanço de consumos/custos com gás natural e energia elétrica.....	81
3.3.2	Medidas de melhoria.....	88
3.4	Comparação com outras metodologias possíveis de implementação.....	93
3.4.1	Cogeração.....	93
3.4.2	Cogeração com apoio fotovoltaico.....	95
3.4.3	Implementação de apoio fotovoltaico à metodologia implementada no âmbito da Empreitada	96
3.4.4	Adesão a plano de <i>eletricidade verde</i> .....	98
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	101
4.1	Ganhos obtidos pela implementação de medidas de eficiência energética .....	101

---

4.2	Comparação com outras metodologias possíveis de implementação.....	106
4.2.1	Cogeração.....	106
4.2.2	Cogeração com apoio fotovoltaico.....	108
4.2.3	Implementação de apoio fotovoltaico com a metodologia implementada no âmbito da Empreitada .....	109
4.2.4	Adesão a plano de <i>eletricidade verde</i> .....	110
4.3	Impacto de medidas delineadas no estudo .....	113
4.4	Validação contra objetivos.....	115
4.5	Recursos utilizados na elaboração desta dissertação .....	116
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	121
5.1	Conclusões .....	121
5.2	Sugestões de trabalhos futuros .....	122
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	127
6.1	Legislação .....	129
7	ANEXOS.....	135
7.1	Anexo I – Validação por parte de entidade externa – Eng <sup>o</sup> Celestino Pereira.....	135
7.2	Anexo II - Validação por parte de entidade externa – Eng <sup>o</sup> Rui Borges.....	137
7.3	Anexo III - Validação por parte de entidade externa – Sr. Miguel Ângelo Ferreira .....	139
7.4	Anexo IV - Validação contra objetivos institucional – Eng <sup>o</sup> Pedro Castel-Branco .....	141
7.5	Anexo V – Simulação de plano de eletricidade verde.....	143



# INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento geral
- 1.2 Objetivos da dissertação
- 1.3 Conteúdo da dissertação



## 1 INTRODUÇÃO

Uma grande quantidade de energia elétrica e térmica são necessárias para manter o conforto térmico interno, alimentar equipamentos operacionais indispensáveis ao correto funcionamento das piscinas municipais, entre outros aparelhos e dispositivos aplicados. O enorme consumo energético neste tipo de edifícios cria a necessidade de recorrer a novas tecnologias que consigam não só produzir energia elétrica e térmica mais acessível do ponto de vista financeiro, mas também mais limpa e sustentável.

O mundo e a sociedade enquanto os conhecemos urge na necessidade de mudança, carecendo de um equilíbrio que o planeta na sua natureza exige, evitando mudanças que resultariam em consequências drásticas e catastróficas para a humanidade. A energia e a sua utilização representam um pilar no desenvolvimento da sociedade humana e na sua organização, tornando um desafio crucial a sua gestão racional numa sociedade funcional. A energia está presente predominantemente no nosso dia a dia, nos serviços e luxos que usufruímos, nos diversos aparelhos e gadgets a que recorremos que nos oferece conforto e utilidade, facilitando todos os processos fundamentais quotidianos da logística associada ao funcionamento da sociedade, de uma forma mais discreta ou explícita. Na tentativa de mitigar e atenuar desequilíbrios que a humanidade tem impactado na sua ação, quer para com o planeta, quer para com si mesma, a 1 de janeiro de 2016 entrou em vigor a resolução da Organização das Nações Unidas (ONU) intitulada *Transformar o nosso mundo: Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável*, constituída por 17 objetivos, desdobrados em 169 metas, aprovada pelos líderes mundiais, a 25 de setembro de 2015, numa cimeira na sede da ONU, em Nova Iorque (EUA) [1]. De forma a concretizar esta visão, exigirá a ação direta dos governos dos países e seus responsáveis máximos, criando novas parcerias, investindo em tecnologias, sugerindo e apoiando políticas que estimulem a sociedade no cumprimento das mesmas. Não obstante desta responsabilidade, todos nós temos um papel a desempenhar, lembrando a velha máxima: *pensar globalmente e agir localmente*.

É neste pensamento que os municípios devem apostar, realizando intervenções de eficiência energética nos seus edifícios cujo consumo energético seja mais elevado. A aposta nestas ações permitirá ao município não só uma redução na fatura energética anual, mas também a oferta de um estilo de vida mais sustentável e saudável aos seus munícipes.

## 1.1 Enquadramento geral

Desde que o ser humano surgiu, recorre a diferentes energias. Poderíamos falar de sonhos, esperanças, coragem, ousadia e outros sentimentos que ajudam a superar as adversidades e partir nas nossas jornadas diárias em busca um mundo melhor. Não obstante do plano espiritual, e focando no plano material e científico, a obtenção da energia é proveniente de recursos retirados da natureza, permitindo atividades primordiais do ser humano enquanto individuo ou sociedade, estímulo de desenvolvimento e obtenção de qualidade de vida.

O fogo foi a primeira forma de energia dominada pelo homem, que utilizou para afugentar animais selvagens, cozinhar alimentos e produzir ferramentas e utensílios para uso, tais como ornamentos de cozinha e armas de caça, como lanças e flechas. Mais tarde, o homem recorreu à mecânica dos fluídos, utilizando as águas dos rios e ventos para produzir movimento nos moinhos (energia cinética) e realizar a trituração de grãos. Também recorreu à domesticação de animais para utilizar os mesmos no cultivo de alimentos, transporte de cargas pesadas e ainda para deslocações com maior velocidade, o que lhes permitia percorrer maiores distâncias.

Após a revolução industrial, verificou-se principalmente consumo à base do consumo de carvão e, mais tarde, do petróleo e do gás natural, sendo todos estes combustíveis de natureza fóssil e não renovável.

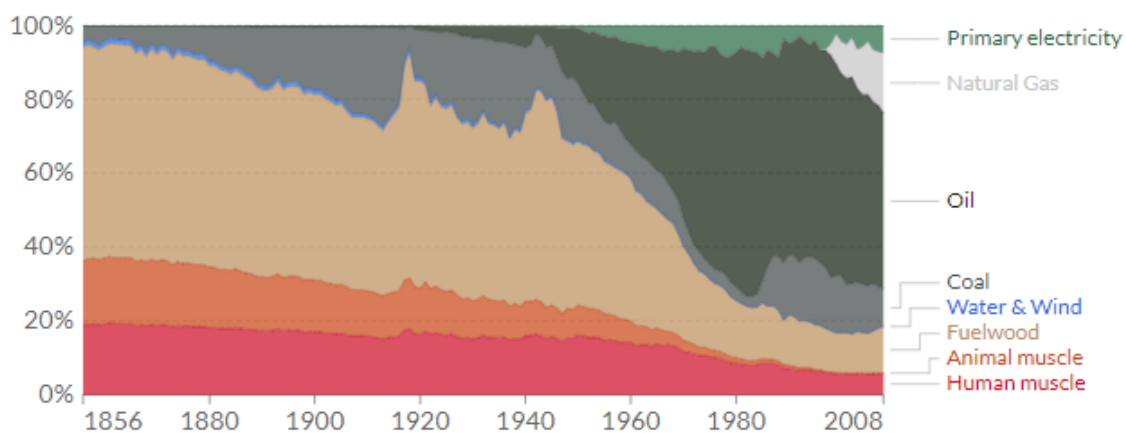


Figura 1: Transição energética no mundo [2].

Atualmente, com o apelo à consciência ecológica, sensibilização e a mediatização dos impactos derivados do aquecimento global e poluição, existe uma forte aposta em tecnologias de fontes de energia renovável e promoção da importância da sustentabilidade no consumo dos recursos do planeta. Na verdade, desde que a humanidade conhece o planeta tal como ele é, todos dias vemos e sentimos a maior fonte de energia: o Sol. Esta estrela provoca a evaporação da água do mar e dos rios, formando as nuvens que permitem a precipitação. Ao aquecer a Terra, auxilia na formação dos ventos e é essencial para o crescimento das plantas e infraestruturas verdes. Com o passar dos anos, o ser humano evoluiu e atualmente tem à sua

disponibilidade tecnologias que permitem utilizar diretamente o sol como fonte de energia ou utilizar outras fontes de energia influenciadas pelo sol.

Refletindo na importância deste conceito, a energia é devesas importante para a sobrevivência e conforto do homem, sendo uma parte fulcral da história da humanidade, que desde o início vem aperfeiçoando e inovando formas de a transformar e utilizar a seu favor. Mas nesses processos de transformação de energia, frequentemente resulta algum tipo de impacto ambiental, quer seja por gerar algum tipo de resíduos ou incrementar o risco de esgotamento de um recurso natural.

A Agenda 2030 para Desenvolvimento Sustentável e os dezassete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, adotados pela Organização das Nações Unidas (ONU) em setembro de 2015, deram um novo ímpeto aos esforços globais para alcançar a sustentabilidade desenvolvimento.



Figura 2 - Os dezassete objetivos da Agenda 2030.

A UE comprometeu-se totalmente a cumprir a Agenda 2030 e sua implementação, conforme descrito no documento *The European Green Deal* e o documento de trabalho *Delivering on the UN's Sustainable Development Goals — A comprehensive approach* [3]. A obtenção, uso e racionalização da energia representa um peso considerável no âmbito da obtenção destas metas. É nosso dever, enquanto indivíduos e sociedade, promover o uso sustentável e racionalização da energia, evitando desperdícios, na nossa habitação, nas deslocações que realizamos diariamente, no nosso local de trabalho e até no usufruto de locais de serviços públicos. No setor dos edifícios, nomeadamente, de serviços, denota-se ultimamente um aumento no investimento público nas infraestruturas dos municípios, derivado da facilidade de acesso a financiamento e apoio de fundos europeus estruturais e de investimento, que visam promover o desenvolvimento e o ajustamento estrutural das economias regionais. Os municípios

têm uma responsabilidade acrescida na delimitação e aplicação de políticas energéticas e ambientais, nomeadamente, nos setores da gestão e manutenção dos seus edifícios públicos, uma vez que representam enormes gastos energéticos. Ao anteriormente referido, acresce no peso da responsabilidade o facto da proximidade que têm com a sua comunidade, funcionando como instrumento de sensibilização, e assumindo o seu papel de entidade fiscalizadora e reguladora.

No caso de Portugal, a generalidade dos municípios tem a seu cargo a gestão técnica e económica de vários complexos desportivos. No caso dos complexos desportivos com piscinas interiores, os consumos de energia são extremamente elevados, com consumos superiores por área útil a complexos de piscinas exteriores ou pavilhões de desporto [4]. Existem várias combinações de métodos e tecnologias para aplicação e adoção de medidas de eficiência energética nesta tipologia de edifícios, aliando a redução do consumo de energia à melhoria da qualidade dos serviços prestados aos utentes, rentabilizando o uso energético das instalações e assegurando uma redução na fatura energética.

## 1.2 Objetivos da dissertação

Este projeto tem como objetivo efetuar um estudo ao desempenho prévio, atual e posterior à realização da Empreitada de medidas de eficiência energética nas piscinas municipais do Fontelo, em Viseu. Nesta dissertação, pretende-se demonstrar do ponto de vista crítico e científico a importância do uso racional da energia, assim como da sua obtenção e como estas escolhas repercutem na eficiência energética, emissão de poluentes atmosféricos e redução da fatura energética. Face ao descrito, são propostos os seguintes objetivos:

- Estudar as condições existentes do caso de estudo, do ponto de vista energético e construtivo;
- Acompanhar a fase de construção a implementação de medidas de eficiência energética no caso de estudo;
- Reconhecimento de infraestruturas, equipamentos e tecnologias típicas de complexos semelhantes ao caso de estudo;
- Apontar indicadores relevantes para apuramento de dados deste caso de estudo;
- Realização de um balanço energético e financeiro entre a situação prévia, e posterior da implementação de medidas de eficiência energética;
- Quantificar o impacto da implementação de medidas de eficiência energética no caso de estudo nas emissões de CO<sub>2</sub>;
- Efetuar uma análise profunda da evolução da legislação europeia e nacional, e de que forma se relaciona com as metas estabelecidas;
- Identificar programas e metodologias que estimulem o uso racional da energia;

- Identificar numa segunda fase de projeto alternativas às tecnologias e estratégias implementadas no caso de estudo;
- Identificar numa segunda fase de projeto melhorias às tecnologias e estratégias implementadas no caso de estudo;
- Quantificar e analisar balanços energéticos e financeiros em ambas as fases de projeto, tanto a nível global como individualizado a cada utente;
- Analisar o impacto da *energia verde* no desempenho energético, financeiro e preventivo na emissão de CO<sub>2</sub>;
- Estudar e analisar o potencial que o Hidrogénio *verde* tem na produção de energia e sustentabilidade;
- Identificar possíveis trabalhos futuros no âmbito da implementação de medidas de eficiência energética no caso de estudo;

### 1.3 Conteúdo da dissertação

O presente trabalho é composto por seis capítulos. O capítulo *Introdução* resume-se sobre uma pequena introdução à natureza do trabalho, no qual se faz uma antevisão dos temas a abordar e a forma como vão ser explorados.

A *Revisão bibliográfica* exhibe uma síntese científica e teórica de vários aspetos que se revelarão úteis no desenvolvimento deste trabalho. Tais aspetos são identificados como legislação e normas em vigor relacionadas com os objetivos deste trabalho, artigos desenvolvidos, metodologias e tecnologias com base científica. No final do capítulo é apresentado algumas medidas selecionadas no âmbito da Empreitada de implementação de medidas de eficiência energética nas Piscinas Municipais do Fontelo, em Viseu.

Na apresentação do *Caso de estudo* são exibidos os dados recolhidos dos consumos energéticos e perfis de utilização do edifício em estudo.

No capítulo dos *Resultados e discussão* são figuradas as considerações e cálculos efetuados, realizando o somatório dos ganhos para obtenção da percentagem de eficiência energética. Por fim é estudada a viabilidade económica da parametrização das metodologias e tecnologias projetadas, assim como comparação indicadores de energia e custos com diferentes complexos com piscinas interiores, e outras tecnologias passíveis de implementação. De forma a dar continuidade ao projeto e resultados obtidos, é realizado uma segunda fase de projeto de forma a propor soluções e adoção de metodologias que visam dotar o complexo das piscinas municipais de um nível superior de eficiência energética.

Na *Conclusão* visa a síntese do trabalho desenvolvido nesta dissertação e resultados obtidos na conclusão da Empreitada de implementação de medidas de eficiência energética nas piscinas municipais do Fontelo, em Viseu. Após feita esta síntese, sugerem-se trabalhos futuros em áreas identificadas que apresentam potencial para estudo e possíveis melhorias.

Em fase de conclusão do processo desta dissertação, enumeram-se as *Referências bibliográficas*, englobando as fontes de informação em que este estudo construiu a sua base.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Consumo de energia global
- 2.2 Legislação e programas estratégicos
- 2.3 Transferência de calor por convecção
- 2.4 Transferência de calor por condução
- 2.5 Transferência de calor por radiação
- 2.6 Transferência de calor com os banhistas
- 2.7 Evaporação de água
- 2.8 Introdução de nova água ao sistema
- 2.9 Influência da iluminação no ganho de calor
- 2.10 Ganhos solares
- 2.11 Balanço energético
- 2.12 Consumos de referência em complexos desportivos com piscinas interiores
- 2.13 Consumos de outras piscinas localizadas em Portugal e geograficamente próximas ao caso de estudo
- 2.14 Análise de medidas para aumento de eficiência energética de complexos desportivos com piscinas cobertas
- 2.15 Certificação e etiquetagem energética
- 2.16 Emissões de gases com efeitos de estufa
- 2.17 Hidrogénio



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Agenda 2030 para Desenvolvimento Sustentável e os dezassete ODS, adotados pela ONU, e como já antes evidenciado, definem objetivos fortes e sólidos no âmbito económico, ambiental e social, delineando metas sólidas para o combate às alterações climáticas. Nos anos vindouros devem os governos impulsionar e garantir que tanto setor privado e sociedade civil assegurem a implementação dos compromissos acordados, consolidando a confiança do compromisso de cada governo com o Acordo de Paris. No âmbito do combate às alterações climáticas (adaptação e mitigação), devem integrar e enquadrar as suas políticas de forma a promover o fortalecimento e desenvolvimento de uma economia resiliente, competitiva e de baixo carbono. Esta agenda representa um desafio complexo, pelo que a chave para desbloquear todo o seu potencial baseia-se em reconhecer e identificar as interligações entre os ODS, assim como garantir que o progresso numa temática não sacrifique outro, ou até outros objetivos. As interligações podem ser identificadas como positivas (sinergias) ou negativas (*trade-offs*) [3]. *Trade-offs* são interações negativas entre diferentes ODS e indicadores quando progressos numa dimensão pode restringir o progresso de outra dimensão. Portanto, investigando compensações e sinergias emergentes das relações entre os objetivos é crucial para alcançar um desenvolvimento sustentável duradouro.

A título de exemplo, se para alcançar o crescimento económico necessitar de um aumento de consumo de recursos e energia, pode criar um *trade-off* entre o ODS 8 e os ODS 12 e 7 [3].



Figura 4: *Trade-offs* entre objetivos de desenvolvimento sustentável [3].

Em contraste, as sinergias são interações positivas entre objetivos e metas. A título de exemplo de sinergia, ao atingir uma meta, como 20% de produção de energia renovável na UE, também pode auxiliar a alcançar outra meta, como a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) [3].



Figura 3: Sinergias entre objetivos de desenvolvimento sustentável [3].

Várias tentativas foram realizadas por organizações internacionais e acadêmicas para avaliar interligações, sinergias e *Trade-offs*. No entanto, as interligações fortemente

dependem do método e dos dados usados e a dimensão geográfica do relatório (significando se as interligações são analisadas no país, nível regional ou mundial). O ponto de equilíbrio entre todos estes fatores será uma zona neutra, onde o desenvolvimento sustentável será alcançado quando satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades, garantindo o equilíbrio entre o crescimento económico, o cuidado com o ambiente e o bem-estar social [5]. Para a progressão nesse sentido, tanto as energias renováveis quanto as sustentáveis tem um grau de responsabilidade direto na mensuração e uso de recursos naturais, assim como a preservação do meio ambiente, com o objetivo de alcançar um grau de desenvolvimento ambiental, social e económico favorável.

O recurso a fontes de energia renováveis é fundamental para que as gerações futuras não sejam afetadas, pelo que os recursos não se esgotam e estão disponíveis de forma gratuita na natureza. Por sua vez, a sustentabilidade representa um papel significativo não só como fator primário na obtenção de energia limpa, mas também em questões ambientais, sociais e económicas. Pelo que, utilizar tipos de energia limpa, significa uma contribuição muito positiva a longo prazo, evitando o aumento de Gases de Efeitos de Estufa (GEE) e dos índices de poluição, que prejudicam seriamente a atmosfera do planeta. Esta ação positiva resultará na preservação das paisagens naturais, mantendo constantes os fatores climáticos que representam um fator importante e direto na obtenção e geração de energias limpas. Neste sentido, é importante salientar que a realização de projetos de eficiência energética é cada vez mais comum nos dias de hoje e existem muitos métodos para fazer avaliações do desempenho energético de um edifício. A identificação de edifícios de piscinas interiores como sendo edifícios de particular carga energética e nos quais seria possível uma grande poupança de recursos e de dinheiro, levou a uma crescente procura por soluções mais eficientes para o aquecimento da água e climatização do espaço.

Para além do aumento da consciencialização que advém de toda uma recente mediatização dos impactos ambientais, também o aparecimento de nova e rigorosa legislação a nível europeu fez crescer o interesse na realização de projetos que resultem em significantes poupanças de energia.

Ao longo do presente capítulo será feita uma revisão das práticas comuns na realização de projetos deste género, bem como da legislação e diretivas aplicáveis.

## 2.1 Consumo e produção de energia global

O acesso a um *mix* energético de confiança e acessível é fundamental no mundo moderno. Usamos energia para abastecer ao sector da indústria, aquecer casas e edifícios, iluminar as cidades, cozinhar alimentos e transportar bens e serviços. Embora consumamos diretamente algumas fontes de energia (como petróleo para transporte e gás para aquecimento), também consumimos bastante destas fontes de energia após serem transformadas em eletricidade. Um dos desafios que a humanidade enfrenta é a transição energética, diminuindo o consumo com recurso a combustíveis de origem fóssil, aumentando o consumo de energias sustentáveis, resultando num *mix* energético onde predominam as energias renováveis e consequentemente reduzindo as emissões de GEE globais, de forma a combater o fenómeno do aquecimento global.

### 2.1.1 Consumo e produção de energia à escala mundial

Com o desenrolar dos anos e derivado de vários fatores socioeconómicos e/ou tecnológicos, a demanda de energia e recursos energéticos tem vindo a sofrer alterações.

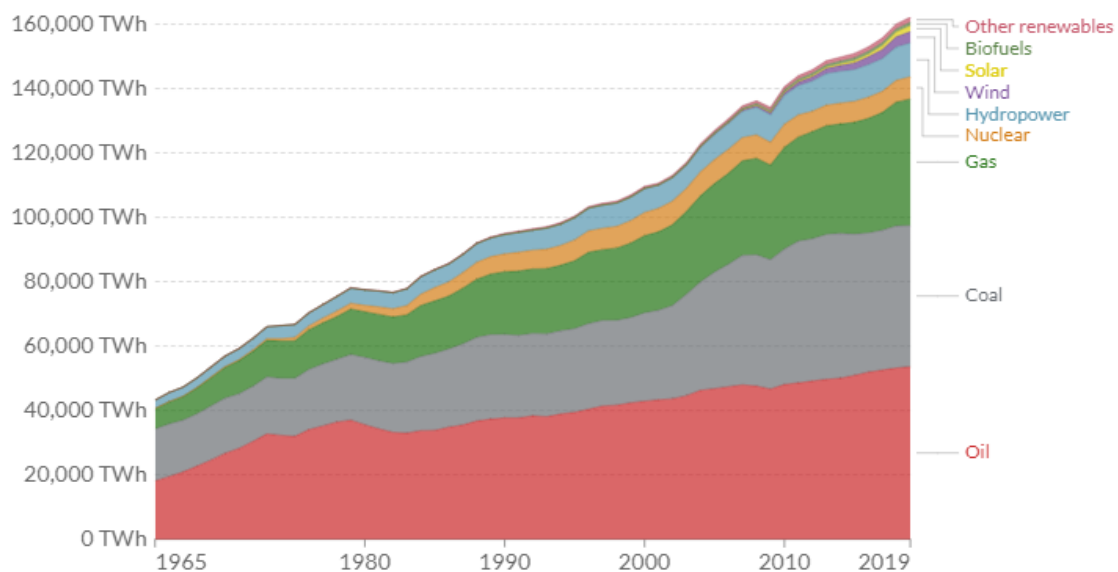


Figura 5: Consumo mundial de energia por vetor energético, no mundo [6].

O consumo desenfreado de combustíveis fósseis resulta numa exploração cada vez mais intensa deste mesmo recurso finito e não-renovável que além dos danos ambientais derivados do uso destes combustíveis, tem repercussões sociais e económicas tais como o aumento do custo da energia, tanto para os produtores e gestores de redes de distribuição, como para o consumidor final. Sendo um facto que este tipo de combustíveis está sujeito a uma elevada instabilidade no seu valor monetário, como se comprova na figura 6, é essencial o desenvolvimento diminuir a dependência do

petróleo, nomeadamente aumentando a eficiência energética e o uso de energias renováveis.

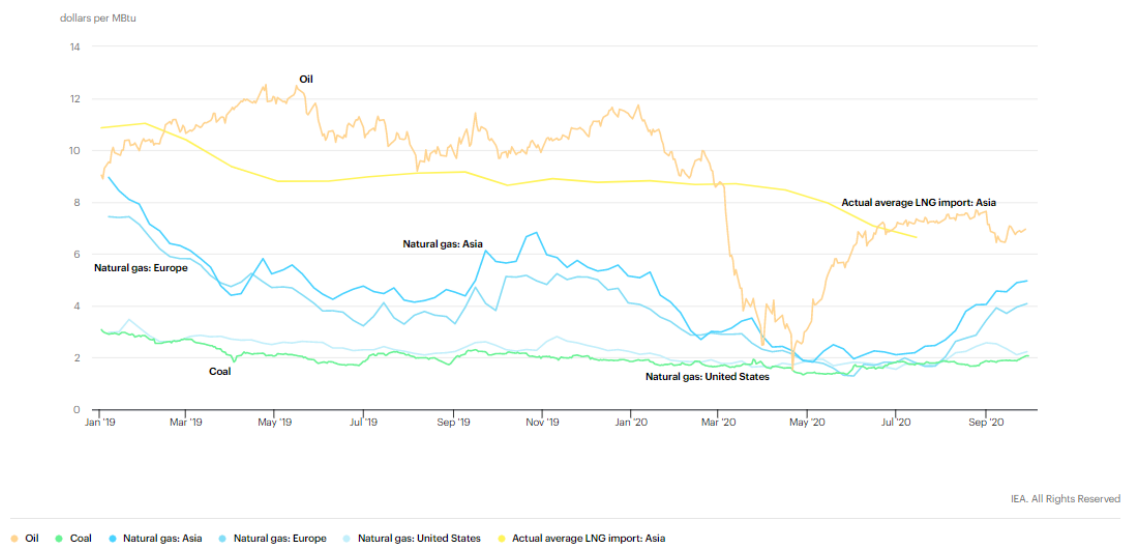


Figura 6: Flutuações de preço de combustíveis fósseis em 2020, no mundo [7].

Em contraste com todos os outros combustíveis, as energias renováveis usadas para gerar eletricidade apontam um crescimento de quase 7% em 2020. O consumo global de energia deve diminuir 5%, no entanto, os contratos a longo prazo, o acesso prioritário à rede e o investimento em tecnologias de produção de energia limpa impulsionam um forte crescimento da eletricidade renovável. O resultado líquido é um aumento geral de 1% na demanda de energia renovável em 2020, como se observa na figura 7 [8].

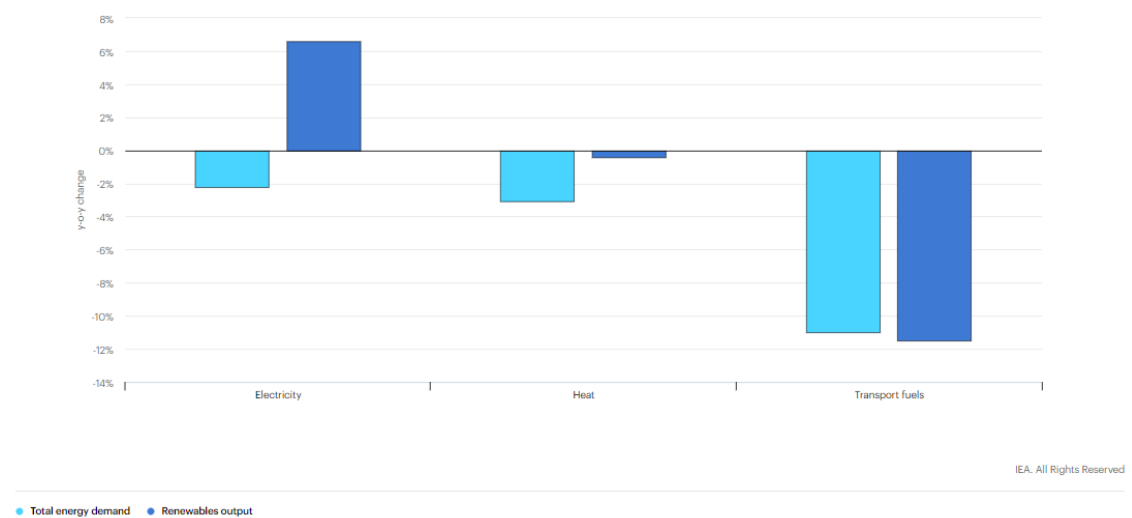


Figura 7: Produção de energias renováveis para gerar eletricidade, calor e transporte [8].

As adições de energia renovável desafiam os problemas que a Covid-19 apresenta, estabelecendo novos recordes de crescimento em cerca de 4% globalmente no ano de 2020, chegando a quase 200 GW impulsionados através de contribuições de energia eólica e hidrelétrica. As projeções indicam que os contributos possam aumentar

novamente em 2021 em cerca de 10%, atingindo quase 220 GW impulsionados pela energia solar fotovoltaica. Este impulsionamento estimula o aumento de capacidade de gerar energia renovável, como é possível observar na figura 8. A expiração dos incentivos e as consequentes incertezas políticas nos principais mercados, combinados com os desafios de financiamento futuros e o estímulo limitado que visa a eletricidade renovável, levará a um pequeno declínio nas adições de capacidade em 2022 em relação a 2021 [8].

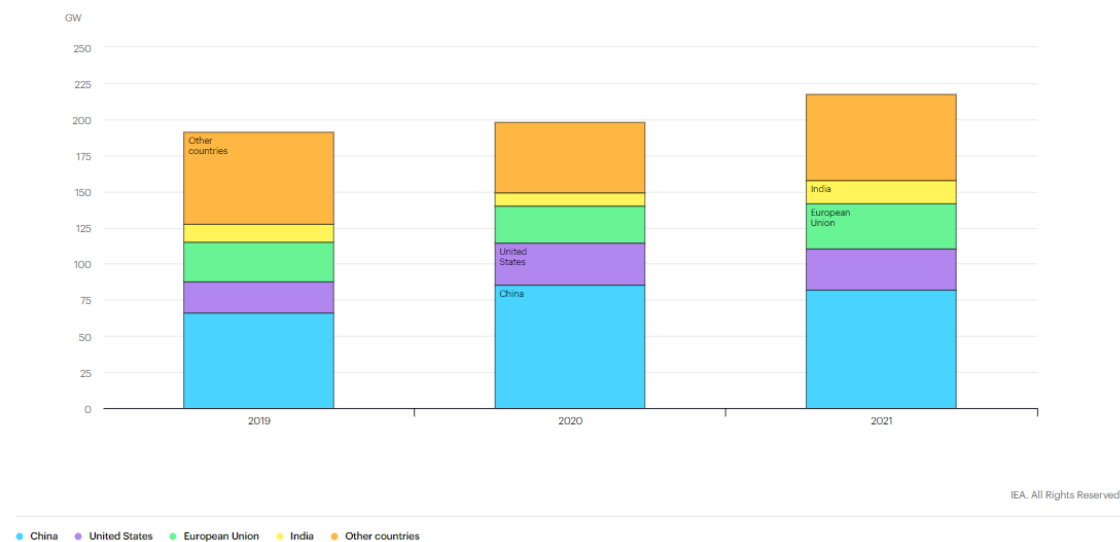


Figura 8: Capacidade de gerar energia renovável, por País/Região [8].

Relativamente à Europa, e resultante das suas políticas ambientais e sensibilização dos países-membros para redução das emissões de GEE, como a título de exemplo, o Acordo de Paris, a União Europeia (UE) e todos os seus estados-membros assinaram e ratificaram o respetivo documento e chegaram a acordo em colocar a UE no caminho para se tornar a primeira economia e sociedade com impacto neutro no clima até 2050.

Tal como exigido pelo acordo, a UE apresentou a sua estratégia de redução a longo prazo das emissões e os seus planos atualizados em matéria de clima antes do final de 2020, comprometendo-se a reduzir as emissões da UE em, pelo menos, 55 % até 2030 [9].

Como é possível observar na figura 9, na Europa tem existido uma aposta na implementação de tecnologias de energia renovável e biocombustíveis, e um desinvestimento nas tecnologias e metodologias de obtenção de energia através de combustíveis fósseis.

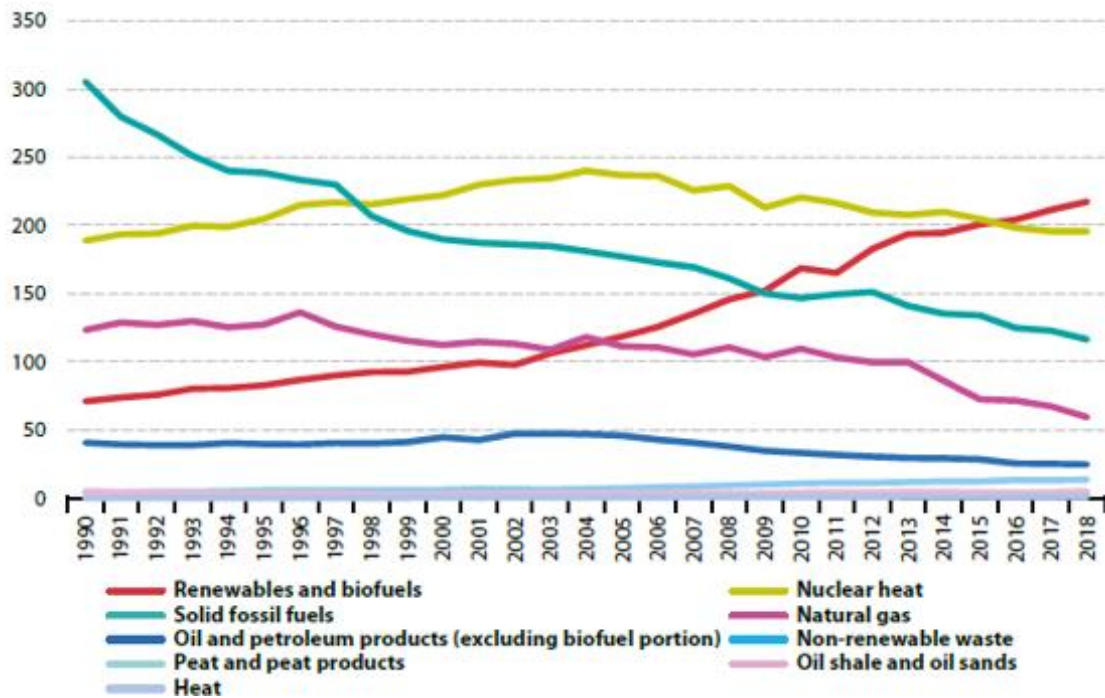


Figura 9: Consumo de energia por vetor energético, na Europa [10].

Na União Europeia, a capacidade de gerar energia limpa deve aumentar em 2021, como se observa na figura 10. O principal fator deve-se ao leilão de projetos solares fotovoltaicos e eólicos na França e na Alemanha. O crescimento é apoiado pelas políticas dos estados membros para cumprir a meta de energia renovável do bloco para 2030, reforçado pelo fundo de recuperação da UE, que fornece financiamento e subsídios de baixo custo. Na região do Oriente Médio, Norte da África e na América Latina, as energias renováveis devem recuperar em 2021, lideradas pelo comissionamento de projetos anteriormente premiados em leilões competitivos [6].

É expectável que as energias renováveis ultrapassem o carvão no estatuto de maior fonte de obtenção de eletricidade em todo o mundo até 2025. Nessa época, espera-se que forneçam um terço da eletricidade do mundo. A energia hidrelétrica continuará fornecendo quase metade da eletricidade renovável global. É de longe a maior fonte de eletricidade renovável em todo o mundo, seguida pela energia eólica e solar fotovoltaica.

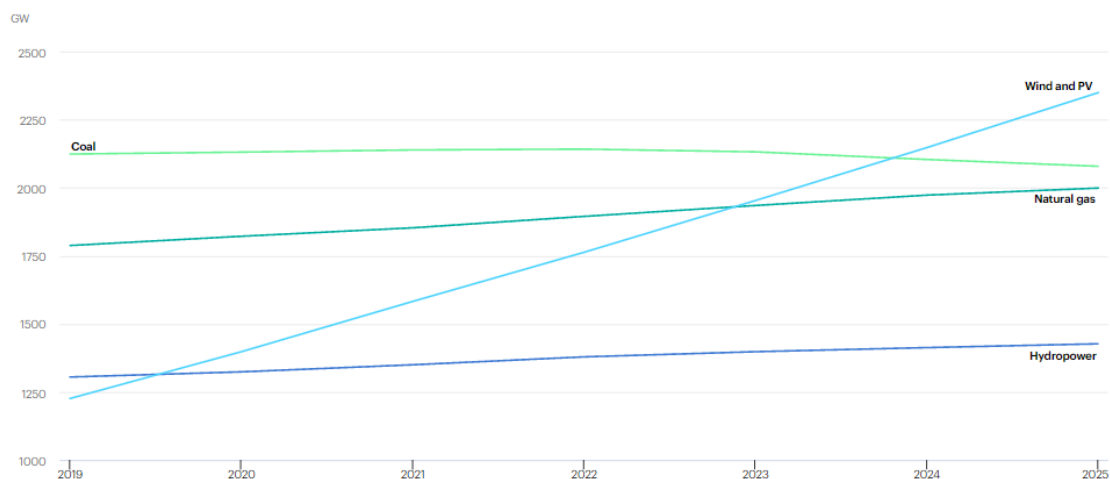


Figura 10: Projeção de capacidade total de potência instalada por combustível e tecnologia [8].

### 2.1.2 Consumo e produção de energia em Portugal

*Frans Timmermans*, vice-presidente da Comissão Europeia, numa intervenção na Web Summit, elogiando o "empenho geral" da sociedade portuguesa, afirmou que

*“Portugal é uma das forças motrizes do Pacto Verde Europeu, tem uma população ávida e conhecedora de tecnologia e dispõe de todas as condições para estar na 'pole position' da transição energética, pois tem sol, vento e mar, que são os recursos naturais mais importantes para o desenvolvimento das energias verdes” [11].*

Sendo um imperativo nacional atingir a neutralidade carbónica em 2050, em 21 de maio de 2020 foi aprovado em Conselho de Ministros o PNEC 2030, o qual estabelece um conjunto de metas ambiciosas em matéria de energia e clima para o horizonte 2021-2030, nomeadamente a redução das emissões de gases com efeito de estufa entre 45% e 55% face a 2005, a redução do consumo de energia primária em 35%, o aumento do peso das energias renováveis no consumo final bruto de energia para 47%, devendo o peso das renováveis no setor dos transportes atingir 20%.

Por sua vez no PNEC 2030, a eficiência energética continua a ser uma área prioritária, e conjuntamente com o reforço da aposta nas energias renováveis contribuirá para redução da dependência energética do país para 65% em 2030 e para valores inferiores a 20% em 2050.[12]

Apesar de Portugal apresentar uma vasta disponibilidade de recursos renováveis, nomeadamente solar, hídrico, eólico e biomassa, é possível constatar que continua a importar energia de fonte não renovável, como se comprova na figura 11.

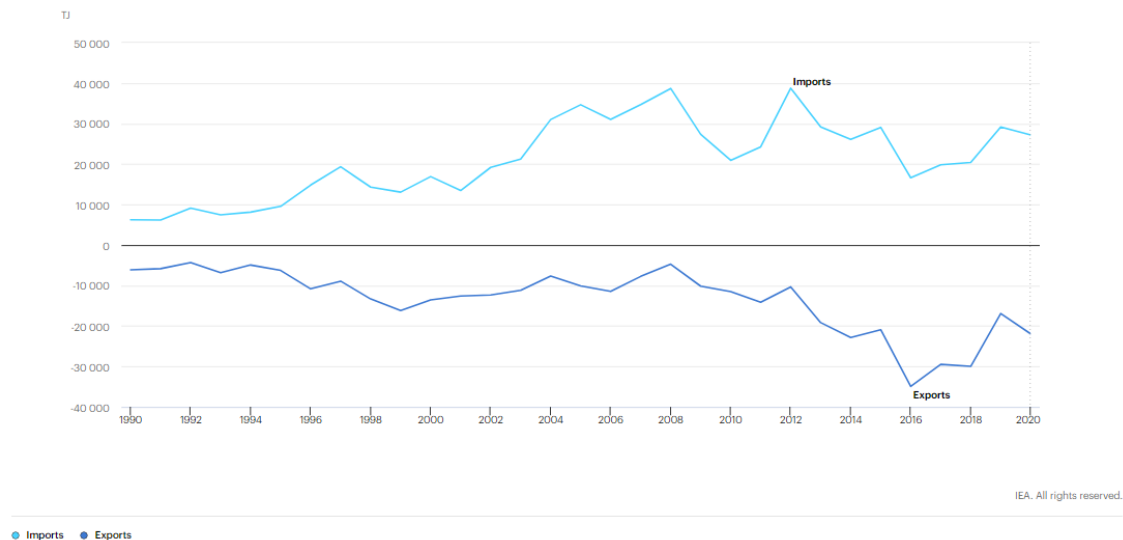


Figura 11: Saldo importador relativo ao ano 2020 [8].

No entanto, é possível constatar a diminuição de recurso a esta estratégia. Como é possível concluir na figura 11 sendo o saldo importador a diferença entre as importações e a exportações, comprova-se que o referido saldo, relativo ao ano de 2020, representa -9,7% face a 2009, e -1,4% face a 2018. Este facto deve-se principalmente ao aumento de produção doméstica. Em comparação com o ano 2009 e 2018, a produção doméstica, no que toca a energia primária, registou um aumento em cerca de 33% e 1,1%, respetivamente [12][13].

Estes dados espelham resultados muito positivos e animadores no que concerne à transição energética em Portugal, assim como na produção e consumo de energia produzida no País. Paralelamente, denota-se o desinteresse e desinvestimento na importação de energia proveniente de certos produtos energéticos, como por exemplo, carvão e refinados do petróleo. Um dos principais objetivos da política energética nacional é a redução da dependência energética proveniente das importações, estabelecendo o PNEC 2030 uma percentagem máxima de 65% em 2030. Nos últimos vinte anos, Portugal tem apresentado uma dependência energética entre 70% e 90%, consequência da inexistência de produção nacional de fontes de energia fósseis, como o petróleo ou gás natural, que têm um peso muito significativo no consumo total de energia primária [12].

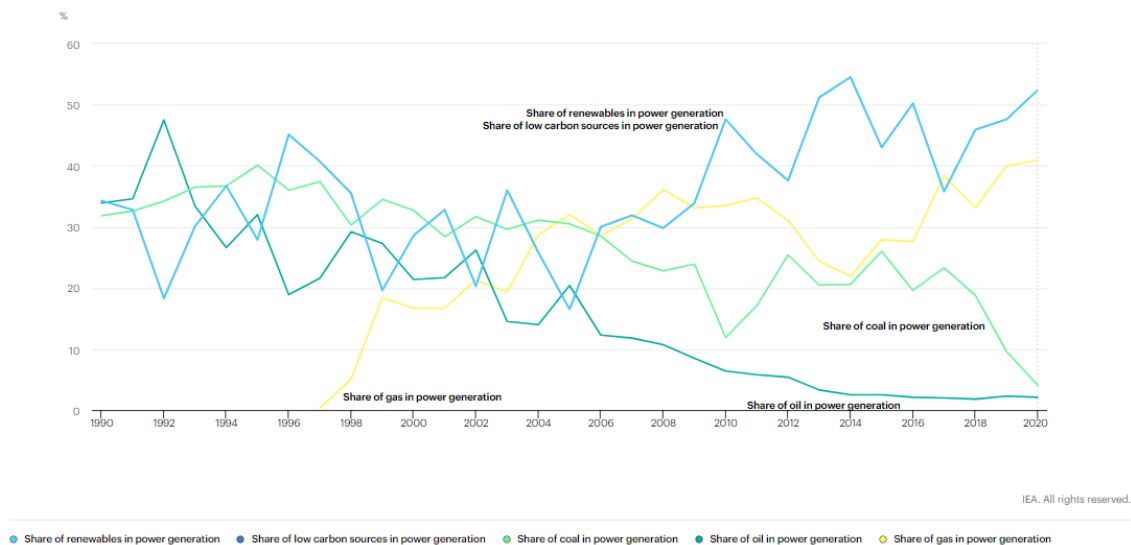


Figura 12: Contribuição de energias renováveis, fontes de baixa emissão de CO<sub>2</sub> e combustíveis fósseis na geração de energia [8].

Aliado a este desinvestimento da importação de energia proveniente de produtos de origem fóssil, verifica-se igualmente o desinvestimento em centrais de produção de energia não renovável, como o encerramento da central termoelétrica de Sines em janeiro de 2021. Estes fatores espelham-se na figura 12 e figura 13, realizando um balanço entre a contribuição de energias renováveis na diminuição de emissões de CO<sub>2</sub> e a potência instalada em Portugal.

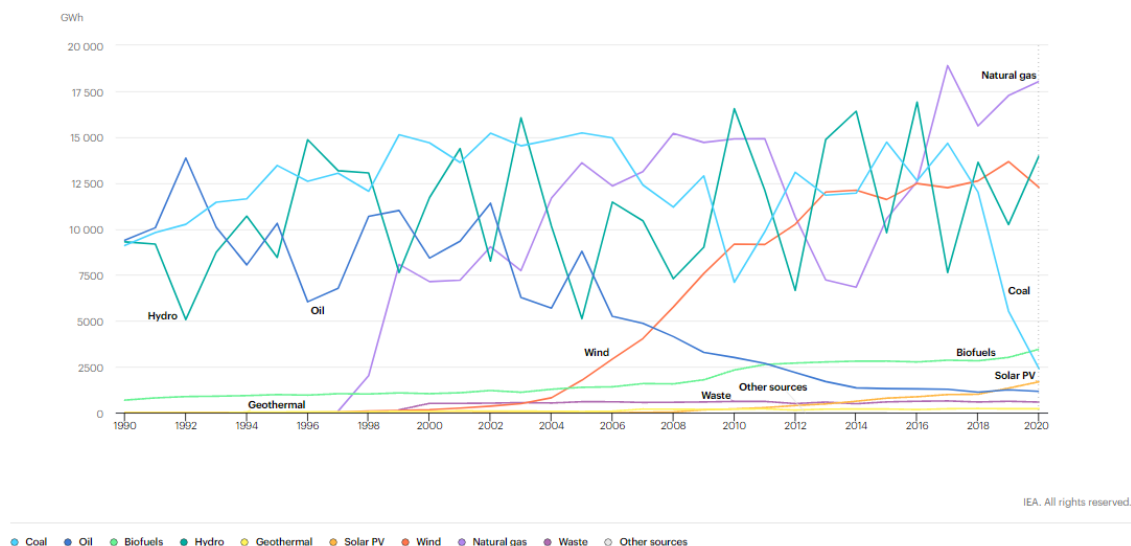


Figura 13: Potência instalada em Portugal [8].

Relativamente à produção de energia renovável, verifica-se um aumento de 50,4% face a 2010 e de 1,1% face a 2019, enquanto a produção de energia não renovável regista uma queda de produção em cerca de 12,7% e de 0,0%, respetivamente, face a anos homólogos[12],[13].

Se por um lado existe a produção, pelo outro existe a procura e o consumo desta. A aposta nas energias renováveis e na eficiência energética, tem permitido a Portugal baixar a sua dependência energética para níveis inferiores a 80%, como se observa na figura 14. A dependência energética de Portugal foi de 74,2%, menos 1,7 p.p. em relação ao ano anterior e menos 7 p.p. face a 2009 [12].

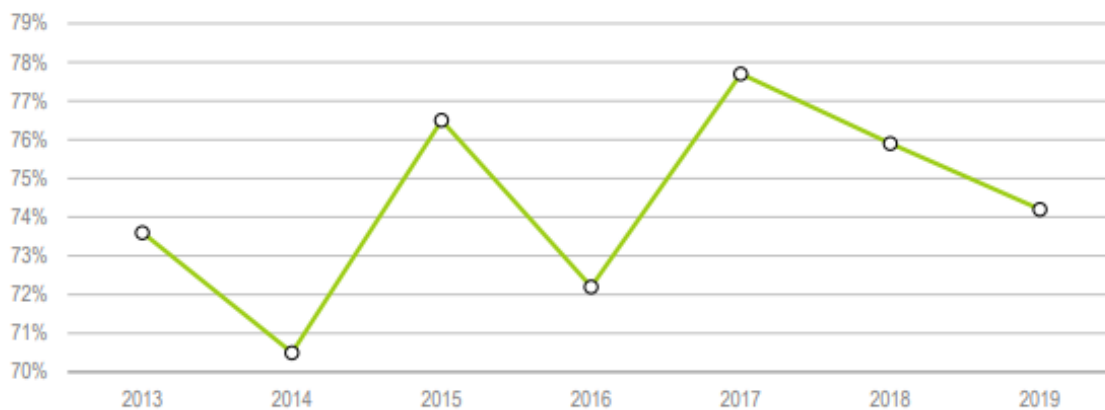


Figura 14: Dependência energética de Portugal [14].

Existem vários fatores para a diminuição da dependência energética. O relatório da DGEG do ano de 2021 revela que o contributo da instalação de bombas de calor a partir do ano de 2014 diminuiu esta dependência em 2 p.p. Outro fator relaciona-se com a variabilidade do regime hidrológico, em que o índice de hidraulicidade aponta uma correlação com a dependência energética. A título de exemplo aponta os anos de 2017 e 2018, sendo que no caso de 2017, este índice situou-se em 0,47. No ano seguinte, este índice subiu para 1,05, provocando uma queda da dependência energética para 75,9%. Comparando a dependência energética entre os países da UE-28, como se observa na figura 15, verificou-se que em 2019 Portugal foi o 8º país com a maior dependência energética, cerca de 16 p.p. acima da média da UE-28 [14].

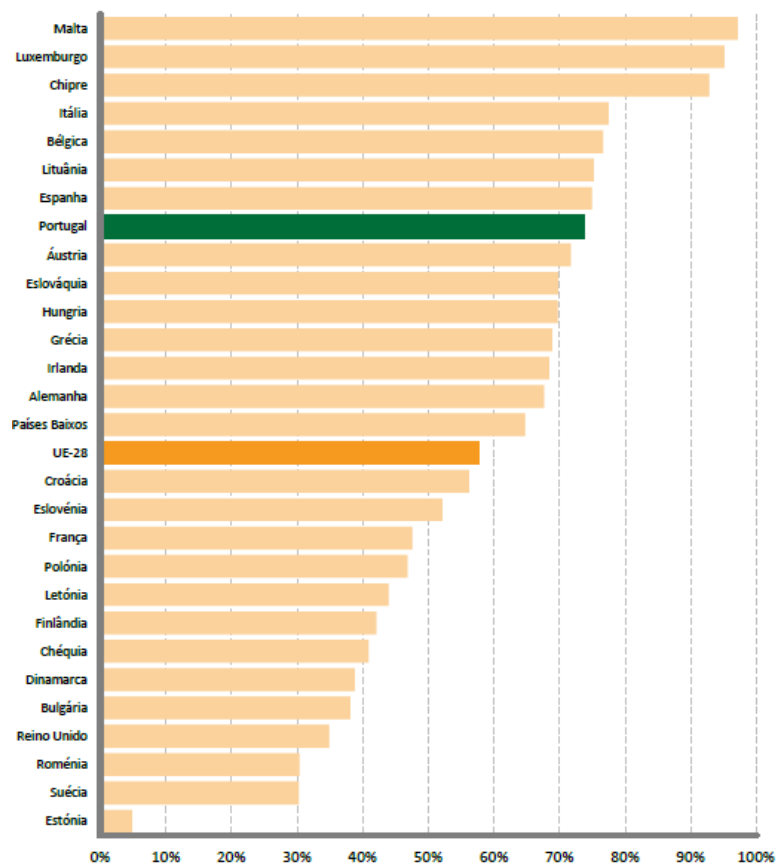


Figura 15: Dependência energética na União Europeia - 28, no ano de 2019 [10].

O consumo de energia em Portugal teve um impacto bastante significativo durante o ano de 2008, derivado da crise financeira que se instalou no país. No período pré-crise, o consumo final situava-se em média em 20 Mtep de consumo anual, caindo em 20% de 2007 a 2012, atingindo os 16,4 Mtep. Durante este período, o consumo reduziu em todos os setores, sendo a indústria o setor em que se registou a maior queda (28%). Após 2012, o consumo tem-se mantido estável, sendo possível registar ligeiros aumentos em setores como os transportes e serviços. Em 2019, o setor de transportes foi o setor com maior consumo (35%), seguido da indústria (34%), residencial (16%) e serviços / outros (14%), como se comprova pela figura 16.

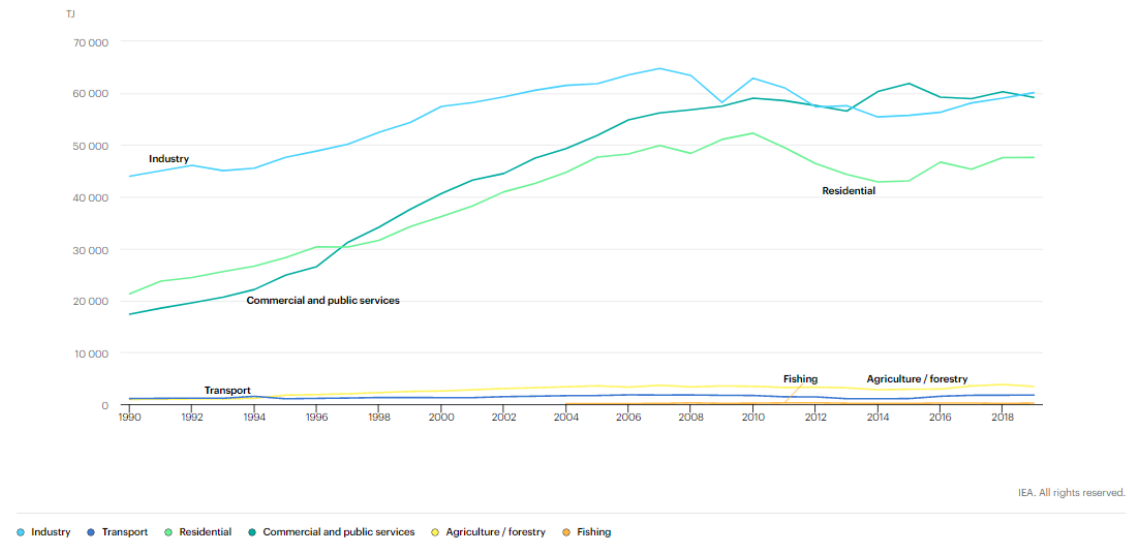


Figura 16: Consumo energético por setor [13],[15].

Face aos dados espelhados neste capítulo, concluiu-se que Portugal sofreu uma mudança estrutural no consumo energético. Consumo nos setores de transporte, residencial e serviços / outros recuperaram junto com a economia, enquanto o setor da indústria continuou a diminuir. Em 2016, o transporte ultrapassou a indústria para se tornar o setor com maior necessidade e consumo de energia. O consumo de eletricidade per capita aumentou 25% de 2000 a 2019, refletindo um aumento na eletrificação, especialmente nos setores residencial e de serviços / outros [14].

Sob a Diretiva 2009/28/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, Portugal preparou e apresentou o primeiro plano nacional de ação em 2010, no qual se comprometeu a atingir os objetivos estabelecidos na Diretiva, nomeadamente com uma meta global de 31,0% de renováveis no Consumo Final Bruto de energia (CFB) e 10,0% de renováveis no consumo final de energia nos transportes. Posteriormente, Portugal reviu o seu PNAER, que foi aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros (RCM) n.º 20/2013, no qual mantém o nível de ambição e exigência que sempre assumiu no cumprimento das metas da UE. A evolução espelha-se na figura 17.

Em 2019, a incorporação de FER (Fontes Energia Renovável) no consumo final bruto de energia situou-se nos 30,6%, (+0,4 p.p. acima do valor registado em 2018) e 1,4 p.p. acima da trajetória indicativa, o que coloca Portugal com cerca de 99% do cumprimento da sua meta para 2020.

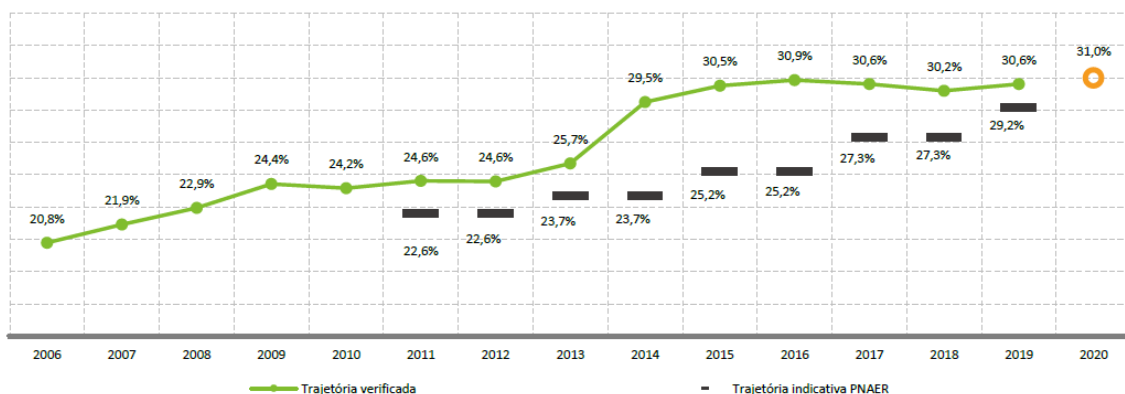


Figura 17: Evolução da incorporação de renováveis no consumo final bruto de energia de acordo com a Diretiva 2009/28/CE [12],[3]

Abordando a Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, transposta pelo Decreto-Lei n.º 319/2009, de 3 de novembro, estabeleceu como objetivo geral indicativo a obtenção de economias de energia de 9% no 9º ano de aplicação da Diretiva (2016), por comparação com o período 2001-2005, tendo também fixado a obrigação de os Estados-Membros apresentarem à Comissão Europeia planos de ação de eficiência energética. Neste contexto, foi aprovado pela RCM n.º 80/2008, de 20 de maio, entretanto revogada, o primeiro Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) para o período de 2008-2015, que contemplava um conjunto de medidas com o objetivo de alcançar até 2015, uma melhoria da Eficiência Energética equivalente a 9,8% do consumo final de energia.

Para o Horizonte 2020, e à luz da Diretiva n.º 2012/27/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro, relativa à eficiência energética, o objetivo foi redefinido para um limite máximo ao consumo de energia primária em 2020 (com base em projeções do modelo PRIMES para a Comissão Europeia realizadas em 2007) equivalente a uma redução de 20% (24,0 Mtep, excluindo usos não-energéticos), tendo sido posteriormente adotada por Portugal uma meta mais ambiciosa de redução de 25% (22,5 Mtep, excluindo usos não-energéticos).

Analisando a evolução do consumo de energia primária sem usos não-energéticos (incluindo o consumo na aviação internacional e excluindo bombas de calor), que serve de referência para o cálculo do cumprimento da meta de eficiência energética para 2020, verifica-se que Portugal, em 2019, se posicionou abaixo (22,3 Mtep) do valor de referência para o cumprimento da meta de redução de 25%, como se verifica na figura 18.

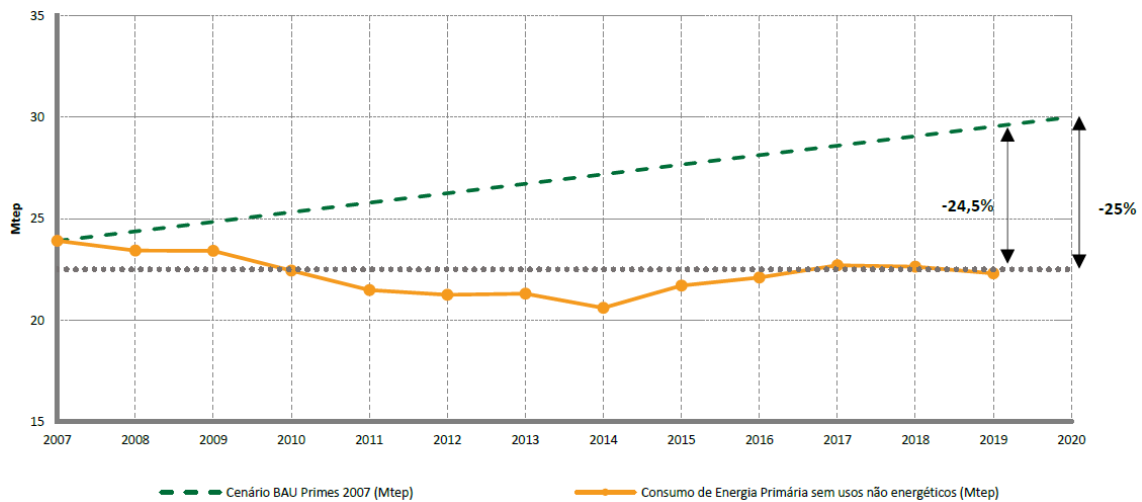


Figura 18: Evolução da meta de Portugal em matéria de eficiência energética para 2020 [12].

## 2.2 Legislação

O sistema nacional de certificação energética de edifícios e qualidade do ar interior (SCE) foi introduzido pela primeira vez em Portugal através do Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de abril. Este Decreto-Lei transpunha para direito nacional a diretiva comunitária nº 2002/91/CE relativo ao desempenho energético dos edifícios. Esta diretiva estabelece que todos os estados membros da União Europeia têm que definir um sistema de certificação energética de modo a informar o cidadão sobre a qualidade térmica e energética dos edifícios [15]. Quando transposta, a diretiva da EU, gerou três Decretos-Lei, o SCE, o RSECE e o RCCTE.

O SCE correspondia ao DL 78/2006, pelo que o presente documento definiu a existência de um sistema nacional de certificação energética, assim como as regras de implementação e execução.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) veio estabelecer requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos da habitação para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de consumo de energia primária. [16]

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) veio igualmente definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, os quais, para além dos aspetos da qualidade da envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrangem também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, obrigando igualmente à realização de auditorias periódicas aos edifícios de serviços. A aplicação destes regulamentos é verificada em várias etapas ao longo do tempo de vida de um

edifício, sendo essa verificação realizada por peritos devidamente qualificados para o efeito. São esses os agentes que, na prática e juntamente com a ADENE, irão assegurar a operacionalidade do SCE. A face mais visível deste trabalho será o Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior emitido por um perito para cada edifício, onde o mesmo será classificado em função do seu desempenho numa escala predefinida de 9 classes (A+ a G). A emissão do certificado pelo perito será realizada através de um sistema informático de suporte criado para o efeito, onde se constituirá um registo central de edifícios certificados [16].

Posteriormente, estes decretos-lei foram revistos e revogados pelo DL 118/2013 de 13 de novembro. Este decreto-lei compacta num só diploma o SCE, REH e RECS.

O REH aborda o comportamento térmico e as características térmicas na eficiência dos sistemas energéticos das habitações. Este é o regulamento que pretende promover a utilização de tecnologias de produção de energia com recurso a fontes renováveis, definindo métodos de qualificação do respetivo contributo com especial destaque para o aproveitamento do recurso solar, por via da elevada radiação solar disponível em Portugal. [17]

No caso do RECS, este atua sobre três pilares, nomeadamente:

- Comportamento térmico;
- Eficiência dos sistemas técnicos;
- Instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos.

Para cada um destes pilares, estão definidos requisitos específicos, em contexto de edifício novo, edifício sujeito a intervenção e edifício existente, sendo que estes aglomerados de requisitos visam promover melhorias na eficiência energética, conforto e boas práticas na construção e implementação de tecnologias [18].

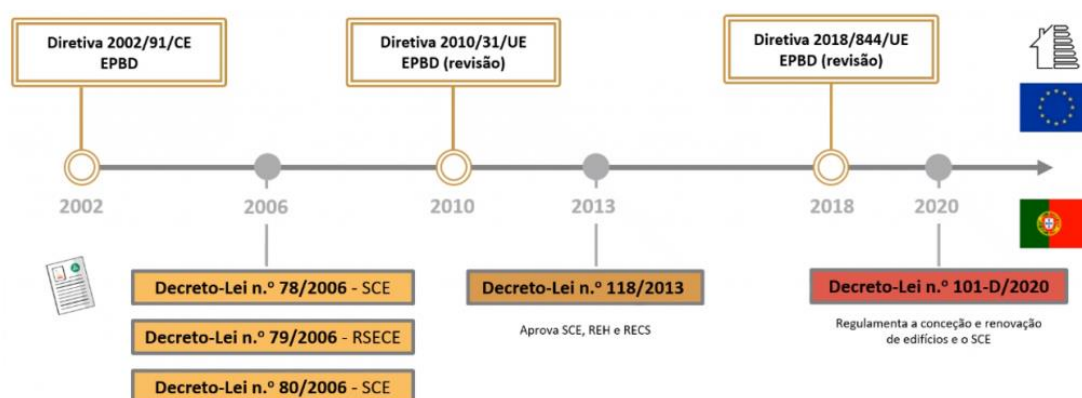


Figura 19: Evolução da legislação Portuguesa e Europeia em matéria de eficiência energética.

Derivado deste desenvolvimento, é possível associar um pacote legislativo a este decreto-lei [19], nomeadamente:

- **Lei n.º 58/2013. D.R. n.º 159, Série I de 2013-08-20** - Aprova os requisitos de acesso e de exercício da atividade de perito qualificado para a certificação energética e de técnico de instalação e manutenção de edifícios e sistemas, conformando-o com a disciplina da Lei n.º 9/2009, de 4 de março, que transpõe a Diretiva n.º 2005/36/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 7 de setembro de 2005, relativa ao reconhecimento das qualificações profissionais.
- **Decreto-Lei n.º 118/2013. D.R. n.º 159, Série I de 2013-08-20** - Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- **Decreto-Lei n.º 68-A/2015. D.R. n.º 84, Série I de 2015-04-30** - Estabelece disposições em matéria de eficiência energética e cogeração, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2012/27/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, relativa à Eficiência Energética, procedendo igualmente à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- **Decreto-Lei n.º 194/2015. D.R. n.º 179, Série I de 2015-09-14** - Procede à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, relativo ao desempenho energético dos edifícios, e à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril, que estabelece um regime excecional e temporário aplicável à reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que se destinem a ser afetos total ou predominantemente ao uso habitacional.
- **Decreto-Lei n.º 251/2015. D.R. n.º 231, Série I de 2015-11-25** - Procede à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- **Decreto-Lei n.º 28/2016. D.R. n.º 119, Série I de 2016-06-23** - Procede à quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, relativo à melhoria do desempenho energético dos edifícios, e que transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010.

- **Lei n.º 52/2018. D.R. n.º 159, Série I de 2018-08-20** - Procede à quinta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, relativo à melhoria do desempenho energético dos edifícios, e que transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010
- **Decreto-Lei n.º 95/2019. DR n.º 136, Série I de 18-06-2019** - Estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas.
- **Decreto Legislativo Regional n.º 1/2016/M, D.R. n.º 9, Série I de 2016-01-14** - Adapta à Região Autónoma da Madeira o Decreto -Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e serviços, e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- **Decreto Legislativo Regional n.º 4/2016/A, D.R. n.º 22, Série I de 2016-02-02** - Adapta à Região Autónoma dos Açores o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, o Regime de acesso e de exercício da atividade de perito qualificado para certificação energética e de técnico de instalação e manutenção de edifícios e sistemas, e o Regime excecional e temporário aplicável à reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que destinem a ser afetos total ou predominantemente ao uso habitacional.
- **Portaria n.º 349-A/2013. D.R. n.º 232, Suplemento, Série I de 2013-11-29** - Determina as competências da entidade gestora do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), regulamenta as atividades dos técnicos do SCE, estabelece as categorias de edifícios, para efeitos de certificação energética, bem como os tipos de pré-certificados e certificados SCE e responsabilidade pela sua emissão, fixa as taxas de registo no SCE e estabelece os critérios de verificação de qualidade dos processos de certificação do SCE, bem como os elementos que deverão constar do relatório e da anotação no registo individual do Perito Qualificado (PQ).
- **Portaria n.º 115/2015. D.R. n.º 80, Série I de 2015-04-24** - Primeira alteração à Portaria n.º 349-A/2013, de 29 de novembro que determina as competências da entidade gestora do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), regulamenta as atividades dos técnicos do SCE, estabelece as categorias de edifícios, para efeitos de certificação energética, bem como os tipos de pré-certificados e certificados SCE e responsabilidade pela sua emissão, fixa as taxas de registo no SCE e estabelece os critérios de verificação de qualidade dos processos de certificação do SCE, bem como os elementos que deverão constar do relatório e da anotação no registo individual do Perito Qualificado (PQ).
- **Portaria n.º 39/2016, D.R. n.º 46, Série I de 2016-03-07** - Procede à segunda alteração do Anexo IV da Portaria nº 349-A/2013, de 29 de novembro, que

determina as competências da entidade gestora do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), regulamenta as atividades dos técnicos do SCE, estabelece as categorias de edifícios, para efeitos de certificação energética, bem como os tipos de pré-certificados e certificados SCE e responsabilidade pela sua emissão, fixa as taxas de registo no SCE e estabelece os critérios de verificação de qualidade dos processos de certificação do SCE, bem como os elementos que deverão constar do relatório e da anotação no registo individual do Perito Qualificado (PQ).

- **Portaria n.º 349-B/2013. D.R. n.º 232, Suplemento, Série I de 2013-11-29** - Define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção.
- **Portaria n.º 379-A/2015. D.R. n.º 207, Série I de 2015-10-22** - Procede à primeira alteração da Portaria n.º 349 -B/2013, de 29 de novembro, que define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré -certificados e certificados SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência de sistemas térmicos dos edifícios novos e sujeitos a intervenção.
- **Portaria n.º 319/2016 D.R. n.º 239, Série I DE 2016-12-15** - Foi publicada a Portaria n.º 319/2016, de 15 de dezembro, que procede à segunda alteração da Portaria n.º 349-B/2013 de 20 de agosto que define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificado e certificado SCE, bem como os requisitos de comportamento térmico e de eficiência dos sistemas técnicos de edifícios novos e sujeitos a intervenção.
- **Portaria n.º 98 D.R. n.º 65, Série I de 2019-04-02** - Procede à terceira alteração da Portaria n.º 349 -B/2013, de 29 de novembro, alterada pela Portaria n.º 379 -A/2015, de 22 de outubro, e pela Portaria n.º 319/2016, de 15 de dezembro, que define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré -certificados e certificados do SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção.
- **Portaria n.º 297/2019 D.R. n.º 172, Série I de 2019-09-09** - Procede à quarta alteração da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, e estabelece o regime especial para intervenções de reabilitação de edifícios existentes destinados total ou predominantemente ao uso habitacional ou de frações.
- **Portaria n.º 349-C/2013. D.R. n.º 233, 2.º Suplemento, Série I de 2013-12-02** - Estabelece os elementos que deverão constar dos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas de edificação, bem como de autorização de utilização

- **Declaração de Retificação n.º 4/2014. D.R. n.º 22, Série I de 2014-01-31** - Retifica a Portaria n.º 349-C/2013, de 2 de dezembro, do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia que estabelece os elementos que deverão constar dos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas de edificação, bem como de autorização de utilização, publicada no Diário da República n.º 233, 1.ª série, 2.º suplemento, em 2 de dezembro de 2013
- **Portaria n.º 405/2015. D.R. n.º 228, Série I de 2015-11-20** - Procede à primeira alteração da Portaria n.º 349-C/2013, de 2 de dezembro, que estabelece os elementos que deverão constar dos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas de edificação, bem como de autorização de utilização.
- **Portaria n.º 349-D/2013. D.R. n.º 233, 2.º Suplemento, Série I de 2013-12-02** - Estabelece os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes
- **Declaração de Retificação n.º 3/2014. D.R. n.º 22, Série I de 2014-01-31** - Retifica a Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro, dos Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social que estabelece os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes, publicada no Diário da República n.º 233, 1.ª série, 2.º suplemento, em 2 de dezembro de 2013.
- **Portaria n.º 42/2019, D.R. n.º 21, Série I de 2019-01-30** - Segunda alteração à Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro, retificada pela Declaração de Retificação n.º 3/2014, de 31 de janeiro, e republicada pela Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de fevereiro, que estabelece os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a intervenção e dos edifícios existentes.
- **Portaria n.º 353-A/2013. D.R. n.º 235, Suplemento, Série I de 2013-12-04** - Estabelece os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação.
- **Declaração de Retificação n.º 2/2014. D.R. n.º 22, Série I de 2014-01-31** - Retifica a Portaria 353-A/2013 de 4 de dezembro, dos Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, que estabelece os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a

grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação, publicada no Diário da República n.º 235, 1.ª série, suplemento, de 4 de dezembro de 2013.

- **Portaria n.º 66/2014. D.R. n.º 50, Série I de 2014-03-12** - Define o sistema de avaliação dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e aprova as adaptações ao regime jurídico de certificação para acesso e exercício da atividade de formação profissional, aprovado pela Portaria n.º 851/2010, de 6 de setembro.
- **Portaria n.º 303/2019 D.R. n.º 175, Série I de 2019-09-12** - Fixa os custos-padrão, definidos por tecnologia, sistema, ou elemento construtivo que permitem quantificar o custo das intervenções para operações de reabilitação.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Proceda à publicação dos modelos associados aos diferentes tipos de pré-certificado e certificado do sistema de certificação energética (SCE) a emitir para os edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Estabelece os fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Estabelece as regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Proceda à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-G/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Proceda à publicação dos elementos mínimos a incluir no procedimento de ensaio e receção das instalações e dos elementos mínimos a incluir no plano de manutenção (PM) e respetiva terminologia.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Estabelece as regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia de fontes de energia renováveis, de acordo com o tipo de sistema.
- **Despacho n.º 3156/2016, D.R. n.º 42, Série II de 2016-03-01** - Substituição do programa de cálculo de determinação da energia produzida pelos sistemas solares térmicos e dos sistemas solares fotovoltaicos, no âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, assim como a substituição da entidade responsável do programa.
- **Despacho n.º 10346/2018, D.R. n.º 215, Série II de 2018-11-08** - Foi publicado o Despacho n.º 10346/2018, de 8 de novembro, que procede à alteração do Despacho n.º 15793-H/2013. Este novo Despacho indica o programa de cálculo

de determinação da energia produzida pelos sistemas solares térmicos e fotovoltaicos no âmbito do SCE, mas contempla também a possibilidade de ser utilizada outra ferramenta que utilize metodologia de cálculo equivalente que permita, quando aplicável, quantificar essa energia para diversos usos.

- **Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Estabelece as metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária.
- **Despacho n.º 3777/2017 D.R. n.º 87, SÉRIE II DE 2017-05-05** - Foi publicado o Despacho n.º 3777/2017, de 5 de maio, que procede à alteração do Despacho n.º 15793-I/2013 por forma a harmonizar as metodologias previstas nos diplomas entretanto publicados, designadamente no que se refere à quantificação da contribuição da energia renovável obtida a partir de bombas de calor para a determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Procede à publicação das regras de determinação da classe energética.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Publicação dos parâmetros térmicos para o cálculo dos valores que integram o presente despacho.
- **Declaração de Retificação n.º 127/2014. D.R. n.º 29, Série II de 2014-02-11** - Retificação do despacho n.º 15793-K/2013, publicado no Diário da República, 2.ª série, n.º 234, de 3 de dezembro de 2013.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-L/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03** - Procede à publicação da metodologia de apuramento da viabilidade económica da utilização ou adoção de determinada medida de eficiência energética, prevista no âmbito de um plano de racionalização energética.
- **Despacho n.º 7113/2015. D.R. n.º 124, Série II de 2015-06-29** - Procede à publicação dos critérios de seleção da verificação da qualidade dos processos e metodologias de verificação da qualidade dos processos de certificação efetuados pelos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), em particular os Peritos Qualificados.
- **Declaração de Retificação n.º 769/2015. D.R. n.º 174, Série II de 2015-09-07** - Retificação do despacho n.º 7113/2015, publicado no Diário da República, 2.ª série, n.º 124, de 29 de junho de 2015, referente aos critérios de seleção da

verificação da qualidade dos processos efetuados pelos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios.

- **Despacho n.º 8892/2015. D.R. n.º 155, Série II de 2015-08-11** - Define a metodologia de classificação a adotar para os ascensores, tapetes rolantes e escadas mecânicas a instalar em edifícios de comércio e serviços por forma a aferir o cumprimento dos requisitos mínimos de eficiência energética indicados na Tabela I.31 “Requisitos mínimos de eficiência dos ascensores, segundo a norma VDI 4707” desse anexo.
- **Despacho n.º 14985/2015. D.R. n.º 246, Série II de 2015-12-17** - Procede à publicação da metodologia a usar para determinar os valores (Qusable) e do Seasonal Performance Factor (SPF) utilizados na metodologia de cálculo da contribuição da energia renovável obtida a partir de bombas de calor.
- **Despacho (extrato) n.º 6469/2016. D.R. n.º 95, Série II de 2016-05-17** - Aferição da evolução do desempenho energético dos edifícios dos modelos associados aos diferentes tipos de pré-certificados (PCE) e certificados (CE) do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).
- **Despacho (extrato) n.º 6470/2016. D.R. n.º 95, Série II de 2016-05-17** - Definição dos requisitos associados à elaboração dos planos de racionalização energética.
- **Despacho (extrato) n.º 4343/2019 D.R. n.º 81, Série II de 2019-04-26** - Define o fator de conversão para redes urbanas de frio e calor alimentadas por sistemas de cogeração ou de trigeração.

Na sequência da implementação da Estratégia da União da Energia (2015), um dos principais avanços passou pela adoção da proposta da Comissão, em 2016, do Pacote Energia Limpa para todos os Europeus que incluía 8 propostas legislativas. Neste contexto, em 2018, a Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) foi alterada pela Diretiva (EU) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, com vista a acelerar a renovação dos edifícios na União, nomeadamente acelerar a renovação dos edifícios existentes até 2050 e apoiar a modernização de todos os edifícios com tecnologias inteligentes e uma relação mais evidente com a mobilidade limpa. As alterações da EPBD criam uma trajetória clara para alcançar um parque imobiliário com emissões reduzidas ou nulas na União até 2050, apoiada por roteiros nacionais com metas indicativas e indicadores do progresso interno, bem como por financiamento e investimento públicos e privados. São necessárias estratégias nacionais de renovação a longo prazo com uma componente financeira sólida, em linha com os requisitos do artigo 2.º-A da EPBD, para assegurar a renovação de edifícios existentes, convertendo-os em edifícios descarbonizados e de elevada eficiência energética até 2050, facilitando a transformação rentável de todos os edifícios existentes em edifícios com necessidades quase nulas de energia. Assim a nova EPBD introduz as seguintes principais novidades[20]:

- Estratégias de longo prazo para a renovação dos edifícios:
  - Descarbonização até 2050;
  - Componente de financiamento sólida.
- Requisitos ao nível da infraestrutura de carregamento para a mobilidade elétrica;
- Requisitos para a automação e controlo nos edifícios (BACS) e de dispositivos autorregulados para a temperatura interior;
- Indicador de aptidão para tecnologias inteligentes dos edifícios – *Smart readiness indicator* (Sri);
- Inspeção dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado (e ventilação);
- Registo e documentação de instalação, substituição ou atualização dos sistemas técnicos dos edifícios;
- Medidas financeiras para melhoria da eficiência energética aquando da renovação dos edifícios dependem das poupanças de energia planeadas ou conseguidas;
- Maior transparência nas metodologias de cálculo do desempenho energético dos edifícios.

Relativamente ao Decreto-Lei n.º 101-D/2020, o mesmo estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944. Este decreto remonta a novembro de 2016, aquando apresentação do Pacote *Energia Limpa para todos os Europeus* (Pacote Energia Limpa), da autoria da Comissão Europeia, estabelecendo enquadramento prático e normativo para a transição energética na década de 2021-2030 e para a criação da União da Energia e da Ação Climática na União Europeia e assegurando o cumprimento do Acordo de Paris sobre as alterações climáticas e o aquecimento global do planeta e, em simultâneo, a salvaguarda do crescimento económico e a criação de emprego, através da prioridade à eficiência energética, ao reforço da aposta nas energias provenientes de fontes renováveis e ao progressivo abandono de energia produzida a partir de combustíveis fósseis, com vista ao desenvolvimento de um sistema energético sustentável, concorrencial, competitivo, eficiente, seguro e descarbonizado até 2050 [21]. Abrange-se os seguintes âmbitos:

- Imposição de realização de inspeções periódicas a sistemas técnicos de aquecimento, arrefecimento ou ventilação, permitindo a avaliação fidedigna dos desempenhos e identificação das eventuais oportunidades e medidas a adotar para a sua melhoria;
- Relativamente à mobilidade elétrica, preveem-se agora regras para a instalação de infraestruturas e de pontos de carregamento de veículos elétricos nos edifícios abrangidos, considerando o respetivo potencial para o objetivo, comunitário e nacional, da transição energética, mediante a determinação de um número mínimo dos referidos pontos e infraestruturas de carregamento a assegurar nos parques de estacionamento, em função da tipologia dos

respetivos edifícios, assim como da sua localização e número de lugares disponíveis;

- No âmbito da edificação, preveem-se sistemas de automatização e controlo, tendo em conta o seu potencial para a racionalização dos respetivos consumos de energia mediante o funcionamento económico, seguro e eficiente, do ponto de vista energético, dos seus sistemas técnicos;
- Revisão do quadro normativo e regular aplicável ao desempenho energético dos edifícios abrangidos com vista à solução dos problemas e dificuldades práticas colocadas ao cumprimento dos objetivos de transformação e desenvolvimento, sendo o objetivo primário a satisfação das necessidades dos seus ocupantes com um reduzido impacto energético;
- Acesso efetivo e equitativo a mecanismos de financiamento, na forma de incentivos, que promovam a renovação dos edifícios abrangidos, melhorando o seu desempenho energético.

Outra disposição legal que tem claro impacto ambiental foi introduzida em 2015, através da *Lei da Fiscalidade Verde*, sendo implementada uma *taxa de carbono* (anexada ao ISP), que se aplica aos setores não abrangidos pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE). Esta implementação visa promover uma economia de baixo carbono, de combate às alterações climáticas e de redução da dependência energética do exterior [22]. Para este efeito, além da taxa aplicável em termos de ISP, os seguintes produtos estão ainda sujeitos ao adicionamento resultante da aplicação de uma taxa e de acordo com fatores de adicionamento, os quais traduzem o fator de emissão de cada produto, desde que sujeitos a ISP e dele não isentos:

- Gasolina;
- Petróleo e petróleo colorido e marcado;
- Gasóleo (abrange gasóleo rodoviário, gasóleo colorido e marcado e gasóleo de aquecimento);
- GPL (metano e gases de petróleo) usado como combustível e como carburante;
- Gás natural usado como combustível e como carburante;
- Fuelóleo;
- Coque de petróleo;
- Carvão e coque.

A isenção de um determinado produto em sede de ISP determina, automaticamente, a sua não sujeição ao adicionamento sobre as emissões de CO<sub>2</sub> (n.º 4 do art.º 92.º-A). Os fatores de adicionamento, a evolução da taxa de carbono (preço de referência de CO<sub>2</sub>) e os valores de adicionamento por tipo de combustível são os espelhados no quadro seguinte.

Tabela 1: Fatores de adição, evolução da taxa de carbono e valores de adição por tipo de combustível [22].

Combustível	Unidade	Fator adição	2015	2016	2017	2018	2019
Gasolina	€/1000 l	2,271654	11,56	15,15	15,56	15,56	27,87
Petróleo	€/1000 l	2,453658	12,49	16,37	16,81	16,81	30,11
Gasóleo	€/1000 l	2,4748662	12,6	16,51	16,95	16,95	30,37
GPL	€/1000 Kg	2,9026	14,77	19,36	19,88	19,88	35,61
Gás Natural	€/GJ	0,0561	0,29	0,37	0,38	0,38	0,69
Fuelóleo	€/1000 Kg	3,096	15,76	20,65	21,21	21,21	37,99
Coque de petróleo	€/1000 Kg	2,6961	13,72	17,98	18,47	18,47	33,08
Carvão e coque	€/1000 Kg	2,26567	11,53	15,11	15,52	15,52	27,8
Preço de referência CO <sub>2</sub>	€/t CO <sub>2</sub>		5,09	6,67	6,85	6,85	12,27

### 2.2.1 Programas estratégicos em matéria de eficiência energética em edifícios

A eficiência energética é amplamente aceita como uma das estratégias utilizadas atualmente para reduzir o consumo de energia e as emissões de GEE. Para promover a eficiência energética é necessário desenvolver políticas ambientais que fomentem tecnologias inovadora [23]. Em Portugal, foram delineados programas estratégicos de referência que refletem o planeamento e política energética nacional de forma a alcançar metas definidas no contexto nacional e europeu, que são mencionados de seguida [24].

#### PNAEE 2020 e PNAER 2020

A Resolução de Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de abril, aprovou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para Energias Renováveis (PNAER). Nestes dois instrumentos de política energética são definidas as políticas e medidas para o setor da eficiência energética e energias renováveis, que visam atingir os objetivos e metas definidas para Portugal no horizonte de 2020, de acordo com o definido na Diretiva 2012/27/UE, relativa à eficiência energética, e na Diretiva 2009/28/CE, relativa à promoção das energias de fonte renovável.

## **PNEC 2030**

O Plano Nacional Integrado de Energia e Clima (PNEC 2030) é o principal instrumento de política energética e climática para o período 2021-2030. As medidas nele incluídas terão um papel fundamental para assegurar a concretização dos objetivos e metas, em matéria de energia e clima, definidos para Portugal no horizonte 2030. Este plano substitui o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) após 2020 e está igualmente orientado para os objetivos a longo prazo de Portugal, rumo à neutralidade carbónica, através da articulação com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050). A definição deste plano tem origem nas obrigações definidas no Regulamento (UE) 2018/1999, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro (Regulamento da Governação e da União da Energia e da Ação Climática), e os objetivos, metas e medidas nele definidos visam as 5 dimensões da União da Energia: Descarbonização (emissão de gases de efeito de estufa e energias renováveis); Eficiência Energética; Mercado Interno de Energia; Segurança Energética; e Investigação, Inovação e Competitividade.

Metas nacionais definidas para 2030:

- Emissões (sem LULUCF - Land Use, Land Use Change and Forestry) em relação ao ano de 2005: -45% a -55%
- Eficiência Energética: 35%
- Renováveis: 47%
- Renováveis nos Transportes: 20%
- Interligações Elétricas: 15%

Para consolidar a visão estratégica de Portugal e garantir o cumprimento das metas e dos objetivos, foram definidos oito objetivos estratégicos nacionais numa lógica de integração de energia e clima, estando igualmente articulados/relacionados com as cinco dimensões da união da Energia:

- Descarbonizar a economia nacional;
- Dar prioridade à eficiência energética;
- Reforçar a aposta nas energias renováveis e reduzir a dependência energética do país;
- Garantir a segurança de abastecimento;
- Promover a mobilidade sustentável;
- Promover uma agricultura e floresta sustentáveis e potenciar o sequestro de carbono;
- Desenvolver uma indústria inovadora e competitiva;
- Garantir uma transição justa, democrática e coesa.

Estes oito objetivos estratégicos concorrem positivamente para a concretização das cinco dimensões do PNEC, sendo que cada objetivo pode contribuir para mais do que

uma dimensão, considerando igualmente uma lógica de integração e a amplitude e abrangência destes objetivos estratégicos. O PNEC 2030 foi aprovado em Conselho de Ministros de 21 de maio de 2020 e publicado através da Resolução de Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de julho.

### **RNC 2050**

Portugal comprometeu-se internacionalmente, em 2016, no âmbito do Acordo de Paris, com o objetivo de atingir a neutralidade carbónica em 2050, tendo definido, para tal, uma visão estratégica e narrativa, que irão conduzir à descarbonização da economia nacional, consagradas no Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050), que foi publicado através da Resolução de Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho. O RNC 2050 consubstancia a Estratégia Nacional de Longo Prazo para redução das emissões de gases com efeito de estufa, ao abrigo do definido no artigo 15.º do Regulamento (UE) n.º 2018/1999, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro, relativo à Governação da União da Energia e da Ação Climática e constitui ainda a Estratégia de Longo Prazo de Portugal no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC), submetida a 20 de setembro de 2019. O RNC 2050 apresenta uma visão estratégica e narrativa para a descarbonização da economia nacional e consequente neutralidade carbónica até 2050, encontrando-se alinhado, no período 2021-2030, com os objetivos, metas e políticas/medidas definidas no PNEC 2030, sendo este o instrumento de política energética e climática para o referido período.

### 2.3 Transferência de calor por convecção

A água dos tanques da piscina, que frequentemente encontra-se a uma temperatura diferente do ar da nave, resulta em trocas de energia entre a água e o ar.[25]

Tabela 2: Tipo de uso e temperaturas ideais para obtenção de conforto térmico [12].

Tipo de piscina	Temperatura do ar (°F)	Temperatura da água (°F)
Competição	75 a 85	76 a 82
Mergulho	80 a 85	84 a 88
Utentes idosos	84 a 85	85 a 90
Hotel	82 a 85	82 a 86
Fisioterapia	80 a 85	90 a 95
Recreativa	82 a 85	80 a 84
Hidromassagem/Spa	80 a 85	102 a 104
Piscina escolar	86 a 92	88 a 92

Esta faixa de temperatura é considerada ótima, a fim de obter conforto térmico para os banhistas e evitar a proliferação de microrganismos[25][26].

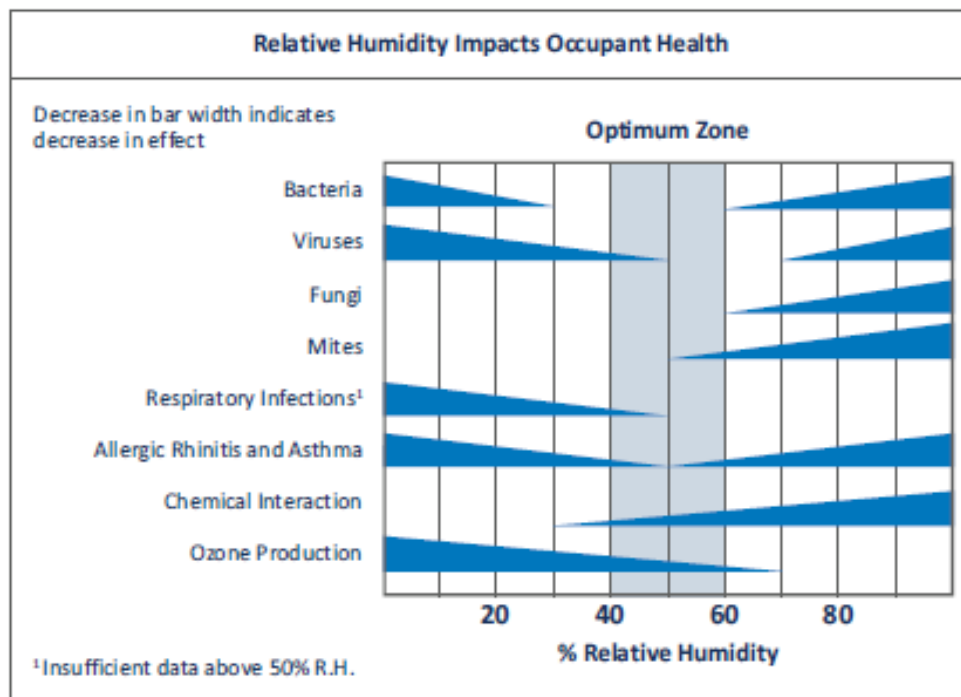


Figura 20: Impacto da humidade relativa na saúde dos banhistas [25].

A troca de calor por convecção é proporcional ao coeficiente de transferência de calor por convecção, a área e a diferença de temperatura entre os fluidos.

$$Q_{conv} = h \times A \times (T_p - T_a) \quad (1)$$

onde:

$Q_{conv}$  – Troca de calor por convecção [W]

$h$  - Coeficiente de transferência de calor por convecção [W/(m<sup>2</sup> · K)]

$A$  – Área de transferência de energia [m<sup>2</sup>]

$T_p$  – Temperatura da água da piscina [°C]

$T_a$  – Temperatura do ar [°C]

Esta troca de calor, bem como a troca de calor por radiação podem ser amenizadas com recurso a coberturas refletoras, no horário em que não há utilização das piscinas.

## 2.4 Transferência de calor por condução

A transferência de calor por condução é definida pela constante de transferência de calor própria de cada material, da diferença de temperaturas entre cada superfície em contacto, da espessura do objeto a atravessar e da área de secção através da qual se dá a troca de calor.

$$\dot{Q}_{cond} = -K \times A \times \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

onde:

$Q_{cond}$  – Calor transferido por condução [W]

$K$  – Constante de transferência de calor por condução do material [W/(m · K)]

$A$  – Área de secção onde ocorre troca de calor [m<sup>2</sup>]

$dt$  – Variação de temperatura [°C]

$dx$  – Espessura da parede [mm]

A transferência de calor por condução é talvez a troca de calor mais difícil de minimizar, no entanto é também uma das que menos impacto tem na definição do sistema. Só o isolamento das paredes das piscinas minimiza a troca de calor por condução e essa medida é aplicada logo na fase de construção de qualquer complexo de piscinas.

## 2.5 Transferência de calor por radiação

A troca de calor por radiação provém principalmente de ganhos solares, que variam consoante a época do ano, assim como do clima de cada região. Em dias de forte incidência solar e fraca nebulosidade, este tipo de ganho pode influenciar consideravelmente na quantidade de vapor gerado por evaporação. Acrescendo aos ganhos por radiação do exterior e do interior, a própria piscina também emite e reflete radiação. O somatório dos ganhos e perdas por radiação corresponderá à totalidade das trocas de calor derivado da radiação.

A troca de calor por radiação dependerá, não só da intensidade, mas também da forma como a mesma incide na superfície da piscina.

$$Q_{rad,ij}=A_i \times F_{ij} \times \sigma \times (T_i^4 - T_j^4) \quad (3)$$

onde:

$Q_{rad,ij}$  – Calor transferido por radiação da superfície i para a superfície j [W]

$A_i$  – Área da superfície i [ $m^2$ ]

$F_{ij}$  – Fator de forma de j sobre a superfície i

$\sigma$  – Constante de Stefan-Boltzmann [ $kW/(m^2 \cdot K^4)$ ]

$T_i$  – Temperatura da superfície i [ $^{\circ}C$ ]

$T_j$  – Temperatura da superfície j [ $^{\circ}C$ ]

Como mencionado anteriormente, a aplicação de uma cobertura isotérmica sobre o plano de água da piscina, nas horas de afluência zero, permite a diminuição de radiação absorvida pela água, conseqüentemente diminuindo a evaporação e promovendo a convecção natural.

## 2.6 Transferência de calor com os banhistas

Assegurar as condições perfeitas de eficiência energética de um edifício pode ser uma tarefa difícil de alcançar, derivado aos inúmeros fatores que influenciam o dimensionamento do sistema de climatização. Um dos fatores está relacionado com a utilização da piscina, uma vez que a agitação superficial da água da piscina promove a evaporação da água. Logicamente, quanto maior uso da piscina, maior será a probabilidade de encontrar resíduos biológicos na água, o que resulta numa necessidade de aumentar as renovações de água. Embora estes fatores sejam naturalmente contabilizados, é do conhecimento comum que de cada banhista provém uma carga térmica associada que varia mediante a sua atividade e metabolismo, como será possível comprovar no ponto seguinte.

## 2.7 Evaporação de água

A taxa de evaporação de uma piscina interior depende maioritariamente de cinco fatores:

- Área da superfície da piscina;
- Temperatura da água da piscina à superfície;
- Temperatura do ar da nave;
- Humidade relativa da nave;
- Agitação da água da piscina e utilização.

A taxa de evaporação é determinada pela seguinte equação.

$$\dot{m}_{evap}=0.1 \times A \times AF \times (P_w-P_{dp}) \quad (4)$$

onde:

$\dot{m}_{evap}$  –Taxa de evaporação da água da piscina

A –Área superficial da piscina [ $m^2$ ]

AF –Fator de atividade [J/Kg]

$P_w$  –Pressão de saturação da água à superfície da piscina [ $Kg/m^3$ ]

$P_{dp}$  – Pressão parcial do ar da nave ao ponto de orvalho (dew point) [ $Kg/m^3$ ]

Tabela 3: Fator AF, que varia mediante a atividade [12].

Tipo de piscina	Fator de atividade
Natação de idosos	0,65
Ginásio	0,65
Hotel	0,8
Escolar	0,8-1,0
Fisioterapia	0,65
Municipal	1,0
Residencial	0,5
Piscina social	1,0
Piscina de ondas	1,5-2,0
Hidromassagem	1,0

Os espectadores é um fator a ter em consideração, especialmente em instalações desportivas onde decorrem grandes competições de natação que podem receber centenas e até milhares de espectadores, e que conseqüentemente adicionam uma carga de humidade significativa que influencia o ar interior da instalação.

O calor associado à perda de calor por evaporação é então dado pela taxa calculada acima, o calor específico da água e a diferença de temperaturas entre a água da piscina e o ar. [25]

$$Q_{evap} = \dot{m}_{evap} \times c_w \times (T_{ar} - T_w) \quad (5)$$

onde:

$Q_{evap}$  – Calor trocado por evaporação [W]

$\dot{m}_{evap}$  – Taxa de evaporação da água da piscina [kg/(s. m<sup>2</sup>)]

$c_w$  – Calor específico da água [J/(kg.K)]

$T_{ar}$  – Temperatura do ar [°C]

$T_w$  – Temperatura da água [°C]

## 2.8 Introdução de água nova ao sistema

Por motivos de higiene e qualidade da água é necessário que haja uma renovação da água da piscina num determinado período de tempo. Essa introdução de nova água no sistema é fornecida pela rede na generalidade dos casos, pelo que a temperatura de entrada no sistema da piscina é inferior à temperatura da água no tanque da piscina. A introdução de água fria no sistema é comparável a uma diluição da energia existente na água quente, conseqüentemente resultando numa perda de energia no sistema.

A troca de calor na água, a temperaturas diferentes, é dada pela diferença das suas temperaturas, o coeficiente de transferência de calor na água e a diferença de temperaturas.

$$Q_{an} = \dot{m}_w \times c_w \times (T_p - T_w) \quad (6)$$

onde:

$Q_{an}$  – Taxa de transferência de calor entre os dois fluidos [W]

$\dot{m}_w$  – Caudal mássico de água que entra no sistema [kg/s]

$c_w$  – Calor específico da água [J/(kg.K)]

$T_p$  – Temperatura inicial da água da piscina [°C]

$T_w$  – Temperatura da água fria introduzida [°C]

Para mitigar o consumo de energia na operação, é necessário manter a piscina numa temperatura ótima de utilização para os efeitos. Uma vez que a diminuição da quantidade nova introduzida no sistema não é uma opção, é prática comum a aplicação de permutadores em locais onde ocorram desperdícios de energia.

## 2.9 Influência da iluminação no ganho de calor

De acordo com vários estudos ao comportamento térmico de múltiplos edifícios, a iluminação é responsável por 30% do consumo de eletricidade em edifícios de escritórios, de 20 para 30% em hospitais, de 28% a 62% em edifícios escolares, enquanto em edifícios residenciais é aproximadamente de 12% [27]. Os resultados mencionados anteriormente mostram que os sistemas de iluminação em edifícios públicos são particularmente importantes para a eficiência energética de edifícios. O calor gerado no interior do edifício pelo sistema de iluminação traduz-se em ganho de calor durante a estação de aquecimento, enquanto no verão, quando é necessário arrefecer as divisões usando sistemas de ar condicionado, estes ganhos de calor provenientes de sistemas de iluminação aumentam a necessidade de arrefecer o edifício e, conseqüentemente, tem um efeito negativo na energia eficiência.

Descobrimo a capacidade de aquecimento do ar e a variação média da temperatura do ar, descobre-se a produção de calor, isto é, a potência térmica  $P_h$ . O cálculo efetua-se segundo a fórmula que se segue.

$$P_h = m \times c_a \times \Delta T \times t^{-1} \quad (7)$$

onde:

$P_h$  – Potência térmica [W]

$m$  – Massa do ar [kg]

$c_a$  – Calor específico do ar [ $J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$ ]

$\Delta T$  – Temperatura [ $^{\circ}C$ ]

$t$  – Tempo [s]

Para cada tipo de fonte de luz, o fluxo de calor unitário que é o calor empírico coeficiente de emissão ( $H_e$ ), tem como referência 1W de fonte de luz nominal. Se o valor do coeficiente de emissão de calor ( $H_e$ ) for 0, a fonte não emite energia térmica e se for 1, significa que a fonte emite apenas calor. O coeficiente de emissão de calor é determinado de acordo com a seguinte fórmula.

$$H_e = \frac{P_h}{P_e} \quad (8)$$

onde:

$H_e$  – coeficiente de emissão de calor [W/W]

$P_h$  – Potência térmica [W]

$P_e$  – Potência elétrica real [W]

Os valores médios do coeficiente de emissão de calor e a eficiência determinada para cada lâmpada são resumidos na tabela abaixo figurada.

Tabela 4: Valores médios de parâmetros operacionais de diferentes lâmpadas [27].

Tipo de lâmpada	Coeficiente de emissão $H_e$	Eficiência luminosa $\eta$
LED	0,08	140
Incandescente	0,95	12
Halogéneo	0,82	16
Fluorescente compacta	0,31	56

Baseado em estudos e análise de resultados obtidos, foi proposto uma correlação que permitiu determinar os ganhos de calor interno derivado de sistemas de iluminação usados em todos os tipos de edifícios, com a seguinte equação.

$$Q_{H,0} = A_f \times E_v \times \eta^{-1} \times H_e \times t_0 \quad (9)$$

onde:

$Q_{H,0}$  – Ganho de calor interno derivado da iluminação [  $\frac{\text{KWh}}{\text{yr.}}$  ]

$A_f$  – área do piso [ $\text{m}_2$ ]

$E_v$  – Fluxo luminoso [lx]

$\eta$  – Eficiência luminosa [lm/W]

$H_e$  – Coeficiente de emissão [W/W]

$t_0$  – horas anuais de funcionamento do sistema de iluminação [kh/yr.]

Para averiguar as horas de funcionamento do sistema de iluminação de cada edifício pode ser uma tarefa árdua, pelo que este fator deve ser apurado de forma rigorosa na

auditoria energética. Efetuada uma revisão bibliográfica ao estudo sobre várias lâmpadas, uma correlação foi proposta para determinar os ganhos de calor interno  $Q_{H,0}$  de sistemas de iluminação usados em várias tipologias de edifícios. No estudo efetuado enfatiza-se que fora da estação de aquecimento, o calor emitido pelos sistemas de iluminação do edifício influencia o aumento da temperatura dentro do edifício e pode causar a necessidade de arrefecimento com recurso a sistemas de ar condicionado. Concluiu-se igualmente que somente no caso das lâmpadas LED não se verifica um aumento de consumo nominal de energia durante os primeiros minutos depois de ter sido ligada. Assim, é fortemente recomendado o uso e aplicação de lâmpadas LED nos edifícios equipados com sensores de movimento e temporizadores uma vez que diminui o consumo de energia elétrica, consequentemente baixando a fatura da energia, e aumenta o desempenho energético do edifício [27].

## 2.10 Ganhos solares

A energia térmica do sol é absorvida por os edifícios, e no caso das piscinas interiores esse fator influencia a temperatura do ar na nave do edifício, assim como existe impacto entre a água da piscina e o ar ambiente também, resultando em transferências de calor. No entanto, o aquecimento da água da piscina não pode ser obtido diretamente do calor do sol, e assim, o ganho solar ( $Q_s$ ) não é considerado no modelo de transferência de calor para piscinas interiores. Para piscinas exteriores, a energia térmica proveniente do sol pode ser absorvida diretamente pela piscina. O  $Q_s$  é expresso pela seguinte equação (Lam e Chan 2001):

$$Q_s = \alpha_s \times G_s \times A \quad (10)$$

onde:

$G_s$  – Irradiância solar [ $W.m^2$ ]

$\alpha_s$  – Fator de absorção solar, que se presume ser de 0,85 nos estudos de Lam e Chan (2001) e Ruiz e Martínez (2010).

$A$  –Área superficial da piscina [ $m^2$ ]

De acordo com a classificação existente no site da Varming Consulting Engineers Ltd.[28], existem técnicas para aquecimento de água de piscinas, sendo classificadas como técnicas ativas ou passivas. As soluções de *design* passivo usam a *força da natureza* (por exemplo, luz solar, vento e gravidade) para realizar os objetivos de aquecimento, arrefecimento e ventilação e, consequentemente, nenhum combustível ou rede de energia é utilizada. Por exemplo, lagoas implantadas no telhado do edifício podem ser utilizadas como uma espécie de técnica de aquecimento passivo. As soluções de *design* ativo recorrem a eletricidade e combustível, como coletores solares ou

turbinas eólicas, para realizar os objetivos de aquecimento, arrefecimento e ventilação [29].

### 2.11 Balanço energético

Um modelo de transferência de calor de piscina é o requisito básico para investigar o desempenho de um sistema de aquecimento de piscinas. Propõe-se descrever a variação da água da piscina com o fluxo total de calor da piscina, que é composto pelos ganhos solares e perdas de calor por evaporação, convecção, condução, radiação e introdução de nova água no sistema. A fórmula matemática deste modelo foi apresentada nos estudos de Ruiz e Martínez (2010) e Woolley et al. (2011), e é expressa como [30]:

$$P_w \times C_w \times V_p \times \frac{dT}{dt} = \sigma_{io} \times Q_s - Q_{conv} - Q_{cond} - Q_{rad} - Q_{evap} - Q_{an} \quad (11)$$

onde:

$P_w$  – Densidade da água [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$C_w$  – Calor específico da água [ $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ]

$V_p$  – Volume [ $\text{m}^3$ ]

$T$  – Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t$  – Tempo [s]

$\sigma_{io}$  – Constante que distingue piscinas interiores de exteriores

A necessidade de calor resulta do somatório de todas as perdas de calor da piscina, como perdas por evaporação, convecção, condução e radiação, subtraindo os ganhos de energia, tais como os ganhos solares, no caso de piscinas exteriores, e possíveis ganhos pela iluminação ( $Q_{H,O}$ ).

$$Q_{total} = Q_{conv} + Q_{cond} + Q_{rad} + Q_{evap} + Q_{na} \quad (12)$$

Este balanço resulta no valor de potência que, neste caso de estudo, as caldeiras necessitariam de fornecer ao sistema para que este se mantenha nas condições definidas. A alteração destas condições resultará também na alteração da necessidade de potência nas caldeiras. Não obstante da equação anteriormente figurada, a sua validade representa uma aproximação às condições existentes, podendo variar mediante existências de outras perdas adicionais ou variações de carga térmica na nave ou tanques da piscina.

## 2.12 Consumos de referência em complexos desportivos com piscinas interiores

O consumo energético em piscinas interiores inclui na generalidade dois tipos de energia, gás natural para o aquecimento da água da piscina e climatização do espaço, e energia elétrica para os sistemas de bombagem de água e ventiladores dos sistemas de climatização. A grande quantidade de energia que os complexos desportivos requerem é necessária para proporcionar conforto aos banhistas e compensar as várias perdas já mencionadas neste estudo. Para as piscinas interiores, devem ser verificados uma variedade de parâmetros ambientais, como a temperatura do ar, da água da piscina e a humidade, determinada pela taxa de evaporação da água das piscinas, banhistas e duches, entre perdas, como representado na figura 21 [31].

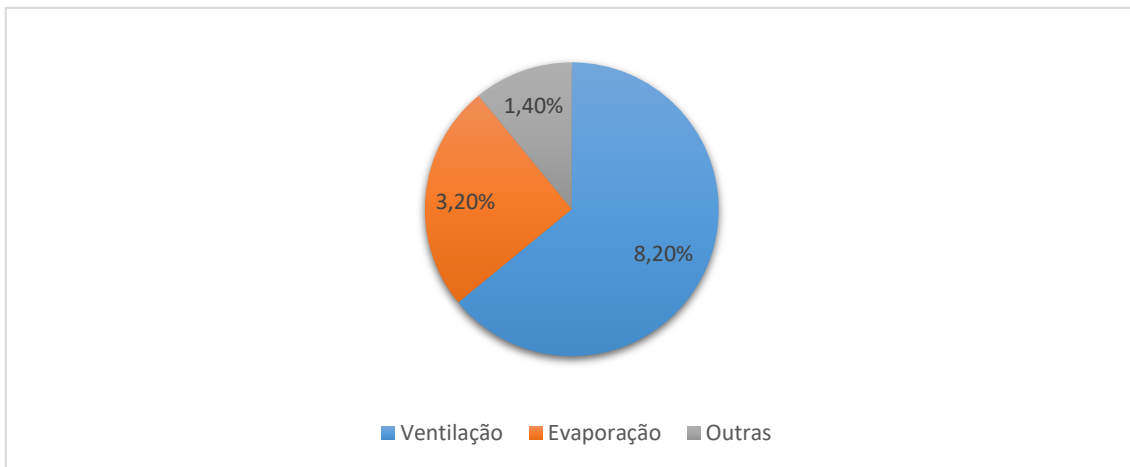


Figura 21: Perdas associadas aos complexos de piscinas interiores.

De igual forma, será necessário fazer um levantamento dos equipamentos existentes no complexo desportivo de forma a analisar os respetivos consumos/custos e identificar qual a combinação ideal de tecnologias e metodologias a adotar, uma vez que estes parâmetros são relevantes e representativos, como se comprova nas figuras 22 e 23.

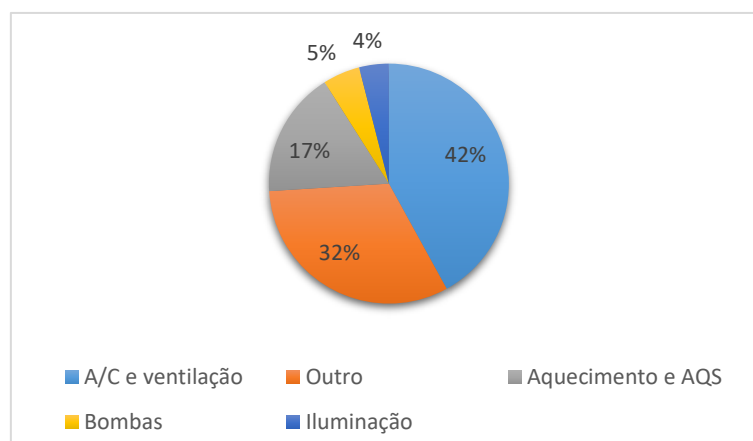


Figura 22: Consumo energético típico de um complexo desportivo de piscinas [32].

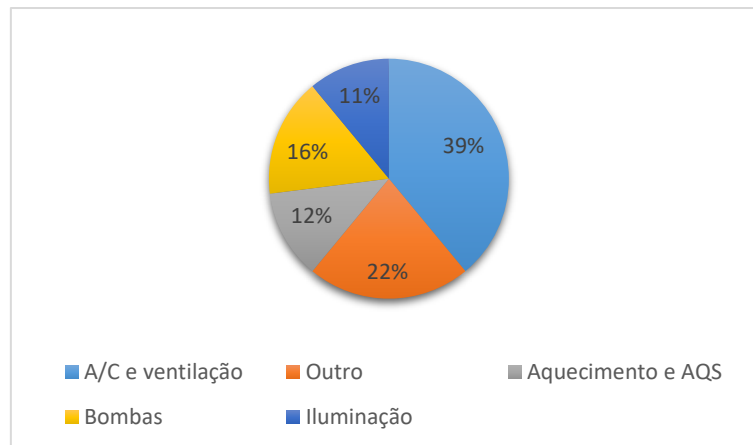


Figura 23: Custos associados ao consumo energético típico de um complexo desportivo de piscinas [32].

Uma vez que é essencial mitigar perdas, é essencial definir boas práticas no âmbito da eficiência energética em edifícios. Foi neste sentido que a Carbon Trust, uma entidade sediada no Reino Unido e focada na descarbonização e no combate às alterações climáticas, elaborou o guia *Desporto e lazer - Apresentando oportunidades de economia de energia para negócios* [31] onde figuram uma análise aprofundada aos custos energéticos de vários complexos desportivos, filtrando e aglomerando uma base de dados desses mesmos complexos com piscinas interiores.

Na tabela 5 são apresentados os consumos médios anuais de energia térmica e elétrica em complexos com piscinas interiores para dois tipos de cenários (consumo típico e consumo adotando boas práticas).

Tabela 5: Consumos médios anuais de energia térmica e elétrica em piscinas interiores [31].

Tipo	Boas práticas Gás natural [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Boas práticas eletricidade [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
Complexo com piscina de 25 m	573	152
Complexo com piscina de lazer	573	164
Combinação dos dois tipos de complexos	264	96

### 2.13 Consumos de outras piscinas localizadas em Portugal e geograficamente próximas ao caso de estudo

De forma a apurar o nível de consumo do complexo em estudo, é importante obter indicadores de diferentes complexos com piscinas interiores. Realça-se a importância da classificação dos espaços climatizados e não climatizados à luz do RECS, respetivamente, espaços tipo A e tipo B. Na Tabela 7 estão registados os diferentes indicadores por unidade de área. Relativamente aos indicadores de CO<sub>2</sub>, os mesmos apresentam-se alusivos ao m<sup>2</sup>, uma vez que se desconhece a classificação dos espaços de cada complexo considerado do tipo A e tipo B, à luz do RECS. De realçar que todas as piscinas visadas na tabela pertencem a Portugal, geograficamente muito perto da localização do caso de estudo, sendo que o clima é um fator importante na homogeneização de valores comparativos. Apresentam-se os seguintes complexos que servem de comparação:

- Complexo 1: Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição [49];
- Complexo 2: Centro Olímpico Piscinas Municipais Coimbra [50];
- Complexo 3: Complexo de Piscinas Rui Abreu [51];
- Complexo 4: Piscina Municipal de Celas [50].

Tabela 6: Tabela comparativa com outras piscinas municipais.

Indicadores anuais/ m <sup>2</sup>	1		2		3		4	
	Cons. Esp.	Cust. Esp.	Cons. Esp.	Cust. Esp.	Cons. Esp.	Cust. Esp.	Cons. Esp.	Cust. Esp.
	[KWh/m <sup>2</sup> ]	[€/m <sup>2</sup> ]	[KWh/m <sup>2</sup> ]	[€/m <sup>2</sup> ]	[KWh/m <sup>2</sup> ]	[€/m <sup>2</sup> ]	[KWh/m <sup>2</sup> ]	[€/m <sup>2</sup> ]
GN/AT	496,32	18,86	329	12,50	308,7	11,73	340,2	12,93
E./AT	243,82	26,09	122	13,05	158,3	16,94	99,3	10,63
GN/AS	1861,55	70,74	1876	71,29	1415,1	53,77	2242,2	85,20
E/AS	914,51	98	693	74	725,9	78	654,1	70
E.T./AT	740,14	44,95	451	25,56	467	28,67	439,5	23,55
E.T./AS	2776,06	168,59	2569	145,44	2141	131,45	2896,4	155,19
CO <sub>2</sub> GN [ton CO <sub>2</sub> /kWh]	0,197		0,130		0,122		0,135	
CO <sub>2</sub> E [ton CO <sub>2</sub> /kWh]	0,030		0,016		0,020		0,013	
Emissões Totais CO <sub>2</sub> [ton CO <sub>2</sub> /kWh]	0,228		0,146		0,142		0,147	

## 2.14 Análise de medidas para aumento de eficiência energética de complexos desportivos com piscinas cobertas

Existem várias possibilidades que podem ser adotadas para o aumento de eficiência energética, pelo que a combinação de metodologia e tecnologias a implementar dependem das necessidades e condições de infraestruturas de cada caso de estudo, entre outros fatores. Esta combinação cobre diversos setores energéticos integrantes das instalações do complexo, pelo que uma análise rigorosa das necessidades permitirá descortinar quais as tecnologias que devem ser referenciadas como aposta para um maior grau de eficiência energética global do edifício.

### 2.14.1 Caldeira a biomassa

A biomassa é uma matéria orgânica que pode ser usada como fonte de energia para o aquecimento, sendo a madeira (lenha) a forma mais difundida e as caldeiras de biomassa a forma mais eficiente para utilizar a madeira para fins de aquecimento. Todos os anos, 40% da madeira produzida de forma sustentável na Europa é utilizada para o aquecimento de edifícios residenciais e de serviços. A madeira de origem sustentável é um recurso renovável neutro em carbono: quando queimada libertada para a atmosfera a mesma quantidade de CO<sub>2</sub> que foi absorvida pela árvore durante o seu crescimento. Por isso, as caldeiras de aquecimento a biomassa além de proporcionarem um elevado nível de conforto, reduzem as emissões de gases com efeito de estufa. A sustentabilidade global do aquecimento a biomassa é ainda maior nas áreas onde a madeira está disponível localmente, pois reduz a necessidade de transporte e dinamiza a economia local. Os sistemas modernos de aquecimento utilizam biomassa sob a forma de *pellets*, briquetes, lenha ou outros derivados de madeira. Também podem ser facilmente combinados com sistemas solares térmicos e atingir níveis de eficiência ainda mais elevados [32].

Entre algumas das suas vantagens, enumeram-se as seguintes:

- Utilização eficiente de recursos renováveis;
- Possível combinação com o solar térmico;
- Combustível neutro em carbono;
- Utilização recursos florestais locais;
- Fácil adaptação a diversas necessidades de aquecimento.

Algumas desvantagens que devem ser consideradas em fase de projeto prendem-se com a necessidade de espaço para a instalação e para armazenar o combustível (lenha/*pellet*/briquetes). Todos os modelos necessitam de alguma manutenção regular, mesmo as mais modernas que já incluem sistemas de autolimpeza. Esta manutenção deve ser salvaguardada, uma vez que pode colocar em causa a eficiência energética real, ou inclusive o correto funcionamento do equipamento.

Outro aspeto importante baseia-se que embora esta tecnologia seja considerada neutra em carbono, existe emissão de partículas que podem causar poluição atmosférica. Não obstante do mesmo, estas podem ser minimizadas com a utilização de sistemas de filtragem.



Figura 24: Exemplo de caldeira a biomassa com alimentação automática.

#### 2.14.2 Sistemas solar térmico

O princípio de funcionamento deste tipo de sistemas é simples: a radiação solar que incide sobre a cobertura de vidro, que compõe a parte superior do painel, resulta na transferência sob a forma de calor para o fluido circulante no interior dos tubos que constituem o painel. Esse fluido, após sofrer o aquecimento, circula em circuito fechado e transfere o calor através da serpentina do depósito para a água acumulada nele, aquecendo-a. A circulação do fluido é gerida e controlada pelo regulador solar e pelo grupo de circulação, em função das temperaturas registadas na medição. A permuta de calor pode realizar-se por transferência direta ou indireta. No primeiro caso não existe separação hidráulica entre o circuito primário e o circuito secundário, isto é, a água é aquecida nos coletores e enviada diretamente para consumo, como representado na figura 25.

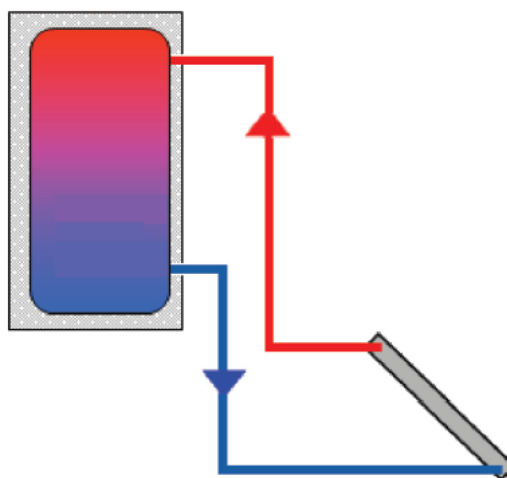


Figura 25: Esquema de funcionamento de um sistema direto.

No segundo caso, como representado na figura 26, existe uma separação entre os dois circuitos, realizada por um permutador de calor.

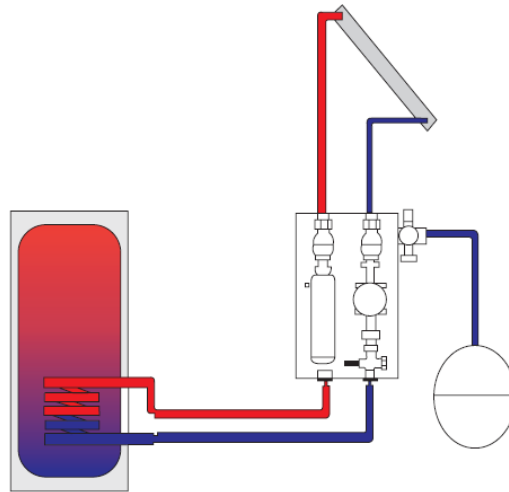


Figura 26: Esquema de funcionamento de um sistema indireto.

Os permutadores de calor são equipamentos que permitem a transferência de energia térmica entre dois fluidos a temperaturas diferentes, através de uma parede que os separa, portanto sem os misturar. A transferência de energia térmica é o centro de variados processos industriais, pelo que atualmente os permutadores de calor desempenham um processo indispensável. Tais processos incluem o aquecimento ou arrefecimento de produtos, condensação de vapores ou evaporação de líquidos. Estes equipamentos também desempenham um papel importante na poupança de energia, auxiliando na recuperação de energia perdida, e aumentando a eficiência energética.

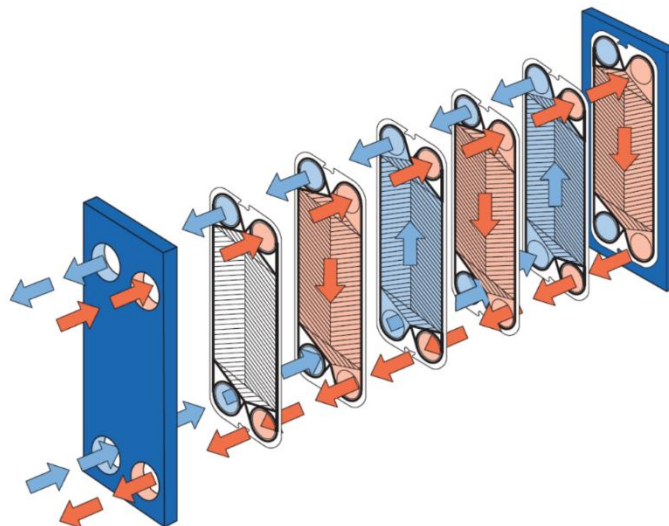


Figura 27: Esquema de funcionamento de um permutador de calor.

Para o aquecimento de água, no que diz respeito à captação de energia proveniente da radiação solar, existem dois sistemas possíveis:

- Circulação natural;
- Circulação forçada.

O sistema de circulação natural, denominado de termossifão, é aplicado a instalações de dimensões mais reduzidas e na produção de águas quentes sanitárias, pois é um sistema limitado em termos de produtividade solar, de capacidade de armazenamento de energia e de área de captação. É um sistema de instalação mais simples, sendo que o seu funcionamento não depende somente de meios mecânicos ou controlos eletrónicos para o seu funcionamento. Quando a radiação solar incide no coletor existe um aumento da temperatura do fluido solar que percorre a tubagem do circuito primário. Este, com o aumento da temperatura, diminui a densidade, favorecendo o seu movimento, ou seja, a circulação faz-se por convecção natural. Quando a densidade do fluido diminui devido ao seu aquecimento, este ascenderá do coletor para o depósito e o fluido mais frio descenderá para o coletor. Este processo é contínuo, desde que exista uma diferença de temperatura entre o acumulador e o coletor suficiente para criar movimento no fluido térmico.

Quando o fluido solar sobe e atinge o permutador do acumulador, transmite energia na forma de calor, aquecendo a água que se encontra no interior do mesmo. Quanto maior for a radiação solar disponível, maior será o caudal de fluido térmico e, se não houver radiação ou a temperatura no coletor não for superior à do depósito, não haverá circulação e, conseqüentemente, não será aquecida a água do acumulador, havendo necessidade de prever um sistema de apoio [33].

Nos sistemas de circulação forçada, como representado na figura 28, o acumulador é instalado no interior do edifício, ou outro local para efeitos de resguardo, e os painéis são colocados no exterior orientados na direção de maior incidência solar, que em Portugal é Sul. A ausência do depósito no telhado tem vantagens estéticas e energética - reduz as perdas térmicas por contato com o ar frio. Por ação de uma bomba circuladora, o fluido solar circula entre os painéis solares e a serpentina do depósito, transmitindo a energia solar para a água. Ao contrário do que acontece nos sistemas termossifão, o acumulador é colocado verticalmente, o que permite uma melhor estratificação dos níveis de temperatura do volume total de água quente. O apoio energético pode ser efetuado por um outro equipamento de aquecimento de água (recuperador de calor, caldeira, esquentador ou bomba de calor) que é ligado à serpentina superior do depósito, ou então por uma resistência elétrica [34].

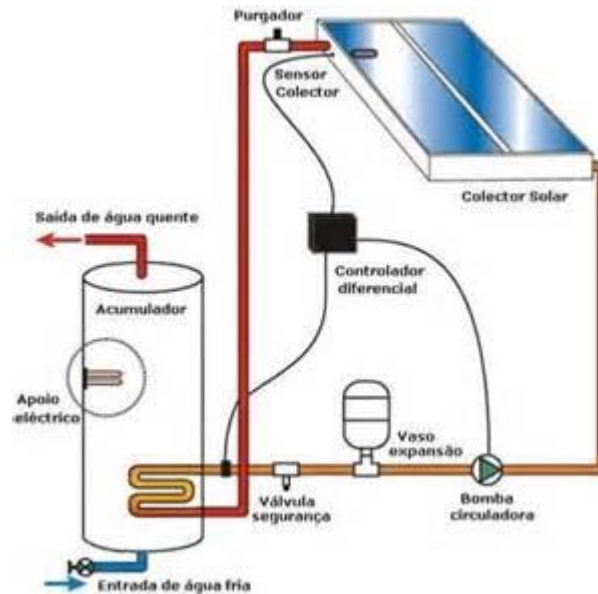


Figura 28: Esquema de funcionamento de sistema de circulação forçada.

### 2.14.3 Sistemas solar fotovoltaico

A ciência desta tecnologia inicia com a incidência da luz solar nas células solares integrantes do painel fotovoltaico. Esta luz é composta por partículas minúsculas (fotões), que possuem energia e criam tensão elétrica ao embater nos painéis. Estas células solares contêm silício, um elemento químico da família do carbono, com estrutura cristalina e que integra arenitos, argila e granito. Ao entrarem em contacto com os painéis, os fotões transferem a sua energia para os eletrões presentes nos átomos de silício forçando a sua deslocação, ocorrendo o efeito fotovoltaico. O impacto dos fotões estimula os eletrões, pelo que a ciência explica que uma dispersão arbitrária de eletrões não é suficiente para criar uma corrente elétrica: é preciso que o movimento seja contínuo e sempre para o mesmo lado. As propriedades do silício permitem assegurar a circulação de energia. Dois tipos diferentes de silício na mesma célula obtêm este efeito: de um lado, uma estrutura de silício com eletrões a mais; do outro, uma estrutura com *lugares vagos* para eletrões. Ao receberem o impulso dos fotões, os eletrões deslocam-se da primeira para a segunda. As propriedades isolantes do silício mantêm este desequilíbrio constante. Este elemento químico é um semiconductor: tem algumas propriedades dos metais, que conduzem energia e também algumas propriedades dos materiais isolantes. Cria-se assim a corrente elétrica que pode ser usada como eletricidade. Assim, esta corrente elétrica depois é encaminhada até ao inversor cuja função é preparar esta energia para poder ser consumida para os diversos fins [35]. No momento da instalação de painéis solares fotovoltaicos é importante saber qual a orientação e inclinação correta a que estes devem ser instalados, com o intuito de tirar o máximo de rentabilidade do sistema solar fotovoltaico. Outros fatores podem influenciar a produção deste tipo de sistema, como por exemplo, temperatura,

ensombramentos, localização geográfica, nebulosidade, sujidade, perdas de eficiência no módulo, perdas no inversor e tolerância e incompatibilidade elétrica.

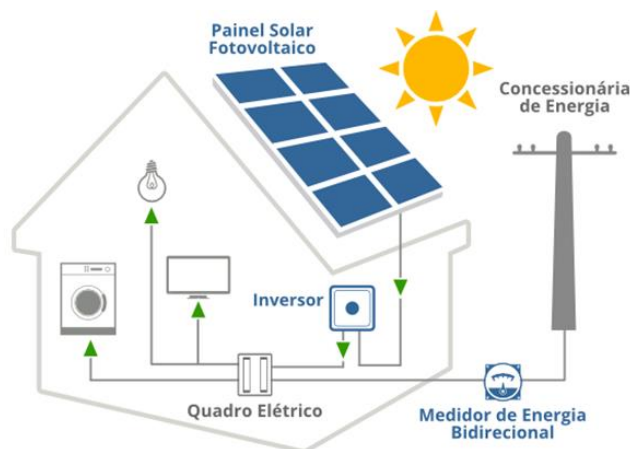


Figura 29: Esquema de funcionamento de um sistema solar fotovoltaico.

#### 2.14.4 Cobertura isotérmica

A técnica de *design* passivo mais comum para piscinas é usar uma cobertura de isotérmica, que reduz significativamente e eficazmente as perdas de calor, especialmente às perdas por evaporação. Isto é, esta solução reduz efetivamente a carga de aquecimento de uma piscina, sem recorrer ao uso de energia. O uso de coberturas em piscinas foi proposto pela primeira vez por Brooks (1995), pelo que em em 1960, Root propôs uma cobertura de plástico insuflada, aplicada sobre o plano de água da piscina. Czarnecki, em 1963, testou uma cobertura insuflada, em PVC, com espessura de 20 mm, usada numa piscina exterior. Tendo obtido resultados não satisfatórios, sugeriu o aumento da espessura para 50 mm. Em 1983, Szeicz e Mcmonagle compararam o desempenho entre coberturas opacas e transparentes, concluindo que, durante a noite, a cobertura opaca foi mais eficaz no desempenho térmico do que a cobertura transparente, uma vez que revelou capacidade de reduzir a radiação de comprimento de onda longa. No entanto, durante o um dia com grande incidência solar, a cobertura transparente absorveu mais energia térmica proveniente do sol do que a cobertura opaca.

Em 1980, um estudo [36] testou o desempenho de coberturas opacas e transparentes, com bolhas de ar, aplicado em piscinas exteriores. Verificou-se que a cobertura transparente derivada da maior capacidade de absorção de luz solar. No entanto, em piscinas interiores, o fator solar não se aplica, pelo que o seu comportamento difere. O estudo também sugere que a cobertura isotérmica de camada única com bolhas de ar tem um desempenho superior comparada com a cobertura isotérmica lisa, uma vez que a resistência à condutividade térmica pode ser melhorada quando o ar está integrado na própria cobertura [30].

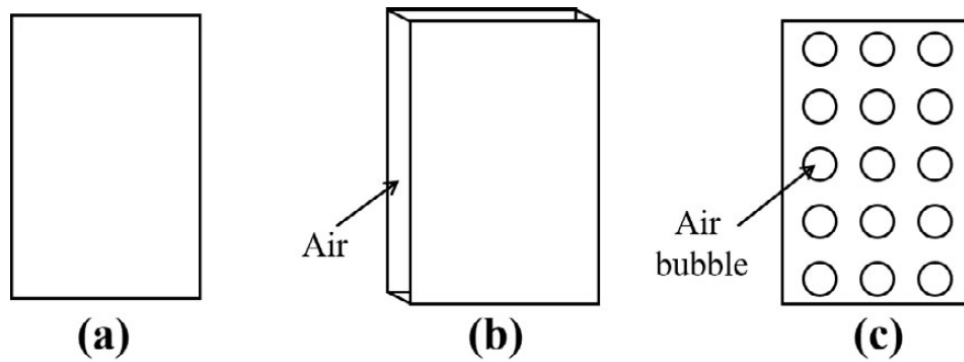


Figura 30: a) Tela PVC; b) insuflada; c) cobertura com bolhas de ar [30].

Das vantagens anteriormente mencionadas no recurso a esta solução, advém uma poupança na desumidificação e aquecimento do ar através de sistema AVAC, que durante esse período pode ser parcialmente desativado. A redução da humidade no ar implica menos necessidade de desumidificar, assim como na reposição de água nova no sistema, resultando num menor consumo de combustível e conseqüentemente menores emissões de CO<sub>2</sub>. Estes tipos de coberturas funcionam de forma manual, semiautomática ou automática. O funcionamento semiautomático consiste na utilização de energia elétrica, que funciona mediante uma instalação mecânica, para colocação e recolha da cobertura. No caso da cobertura automática, esta cobre o plano de água com um simples premir de botão. Quanto ao material usado, estas podem ser de polietileno, polipropileno e vinil.

As coberturas de bolhas são as que apresentam um menor custo, no entanto são menos resistentes e duráveis pela rutura das bolhas, o que leva a perderem a capacidade de flutuação. Normalmente são fabricadas à base de polietileno alveolado, com espessura de 400  $\mu m$ . Podem ser recolhidas através de um enrolador, embora exijam recursos humanos, pela dificuldade de serem retiradas e colocadas.

As coberturas de espuma de polietileno têm uma espessura de 5 a 12 mm, e podem ser de recolha e colocação manual.

As coberturas de lâminas, fabricadas em PVC, são de colocação e recolha automática, não necessitando de recursos humanos, mas para piscinas municipais não se aplicam devido aos separadores de pista.

Tabela 7: Propriedades térmicas de materiais utilizados em coberturas isotérmicas [30].

Material	Densidade	Condutividade térmica [W/(m.K)]	Calor específico [(kJ)/(Kg.K)]	Referências
PVC	1100-1450	0,13-0,28	1	MEPC 2020
Polietileno de alta densidade	930-970	0,46-0,52	2,3	MEPC 2020; OMNEXUS 2020
Polietileno de baixa densidade	910-940	0,33	2,3	MEPC 2020; OMNEXUS 2020
Plástico não identificado	-	0,08	-	Szelcz and McMonagle 1983

### 2.14.5 Sistemas e equipamentos de iluminação

Iluminar um local não significa apenas destinar aquele espaço ou superfície a uma determinada quantidade de fluxo luminoso, mas criar condições com a luz para que as atividades sejam desenvolvidas pelo modo mais eficiente e confortável.

O conforto visual e a temperatura de cor são dois aspetos a ter em conta. O conforto visual permite uma sensação de bem-estar, pelo que tende a favorecer a permanência dos utentes no espaço. No caso da temperatura, a característica da lâmpada tem a capacidade de influenciar o comportamento humano. As lâmpadas quentes estão relacionadas com atividades que requerem uma iluminação com ambiente mais aconchegante, enquanto as lâmpadas frias estão relacionadas com ambientes onde se deseja estimular alguma atividade com maior produção, como por exemplo, escritórios ou atividades desportivas. A iluminação tem um impacto substancial no consumo de energia em edifícios não residenciais (cerca de 40% da eletricidade utilizada). Dependendo da situação existente, entre 30% a 50% da eletricidade utilizada na iluminação poderá ser economizada investindo em sistemas de iluminação energeticamente eficientes [37].

As lâmpadas elétricas economizadoras de energia consomem cinco vezes menos potência que uma lâmpada normal. A atuação na iluminação pode levar a poupanças na ordem dos 30 a 50% da eletricidade consumida.

A tecnologia *Light-Emitting Diode* (LED) é um tipo de lâmpada relativamente recente, sendo caracterizado por não emitir grande quantidade de infravermelhos, consumos

mínimos e pela sua elevada longevidade. Pode fornecer a mesma luminosidade de uma lâmpada comum de 60 watts, gastando apenas 3 Watt. O LED híbrido emite uma luz branca similar à emitida pelas lâmpadas fluorescentes, resulta da combinação de um LED normal com uma fina camada de película de cristais microscópicos. Atualmente a tecnologia LED destaca-se por ter atingido os maiores índices de eficiência, para sinalização, iluminação portátil, iluminação interior e exterior. O controlo de Iluminação permite poupanças até 30%, nomeadamente através de métodos e tecnologias como as seguintes:

- *Dimmers*, temporizadores, detetores de presença e movimento, interruptores horários, interruptores crepusculares, cuja aplicação é recomendada em casas de banho, entradas de edifícios, salas, entre outras aplicações;
- Sistemas de gestão, análise e monitorização de energia. Estes sistemas fornecem informação que ajudam os clientes a perceberem o papel que desempenham na economia de energia e de como construir uma poupança sustentada;
- O sistema de BUS permite o conforto dos utilizadores no local de trabalho e efetuar algumas poupanças de energia através do controlo da iluminação e aquecimento.

Automatizar a iluminação, temperatura e controlo de estores num edifício, por exemplo, de escritórios, permite efetuar poupanças significativas de energia e ao mesmo tempo garantir flexibilidade de modo a ser fácil a extensão do sistema sem necessidade de passar novos cabos. Ajustar/desligar a iluminação quando a luz natural é suficiente, ou logo que a sala se encontre vazia, assegura a poupança de energia. A automação garante uma poupança de energia maior, aumenta o conforto e a segurança.

Relativamente a normas, O Comité Europeu de Normalização – CEN, publicou em 2002 a norma EN12464-1, que pretende assegurar a qualidade de iluminação em espaços interiores onde decorrem tarefas, deve ser considerada para verificação tanto na fase de projeto como das condições de iluminação de uma instalação existente. Outras normas estão estabelecidas para espaços em áreas exteriores, instalações desportivas e iluminação pública [37].

### 2.15 Certificação e etiquetagem energética

A certificação energética é um processo de aferição de medidas de melhoria a implementar especificamente identificadas para cada edifício/habitação, com as quais toma-se conhecimento sobre:

- Como reduzir o consumo e os gastos de energia de forma permanente.
- Qual o detalhe dos investimentos e das poupanças associadas.
- Quais as implicações diretas no conforto e na saúde.

A Certificação Energética dos Edifícios, implementada em 2007 por via da transposição da Diretiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios, avalia a eficiência energética de um imóvel numa escala pré-definida de 8 classes, em que A+ é muito eficiente e F é muito pouco eficiente. Neste processo avalia-se elementos construtivos, ventilação e equipamentos para climatização e a produção de água quente sanitária, assim como o seu efeito no consumo de energia e indica medidas para reduzir este consumo [38]. Outro parâmetro importante neste processo é a existência de equipamentos com fontes de energia renovável, uma vez que tem um peso considerável na avaliação do edifício em questão. Após todas estas considerações, é classificado o desempenho energético de F (muito pouco eficiente) a A+(muito eficiente).



Figura 31: Matriz de avaliação de desempenho energético de um edifício [38].

Relativamente a produtos ou eletrodomésticos, o processo é relativo à etiquetagem energética que é possível encontrar, por exemplo, em frigoríficos, máquinas de lavar a roupa, fornos ou televisões. A informação figurada na etiqueta de eficiência energética é obrigatória, e visa influenciar a escolha do consumidor por um eletrodoméstico mais eficiente, em vez de outro menos eficiente. Na etiqueta energética de um eletrodoméstico é possível aferir as seguintes informações:

- Tipo de eletrodoméstico e o seu fabricante;
- Marca e modelo;
- Classe energética e respetiva escala (através de setas, cores e letras);
- Consumo anual de energia em kWh;
- Prestação técnica dos equipamentos: eficiência da lavagem, secagem, consumo de água e nível de ruído do aparelho.

No presente ano de 2021, a legislação comunitária acabou com as classes A+, A++ e A+++ das etiquetas de vários eletrodomésticos, passando a etiqueta a ostentar uma escala mais simples de interpretar, de A (mais eficiente) a G (menos eficiente). A afixação desta nova etiqueta energética é obrigatória desde 1 de março de 2021 para os televisores, frigoríficos e arcas congeladoras, máquinas de lavar loiça, de lavar roupa e de lavar e

secar roupa. Mas os novos produtos à venda desde novembro de 2020 já podiam incluir, no interior da embalagem, a nova etiqueta, além da que estava em vigor. Em setembro de 2021 é a vez das lâmpadas LED e, só mais tarde, outros equipamentos se seguirão[39].

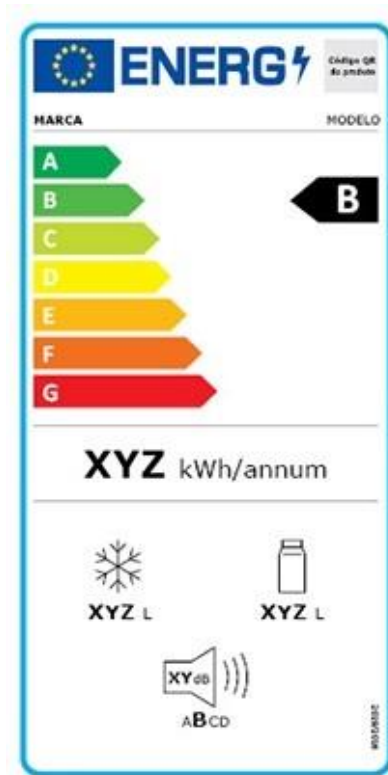


Figura 32:Exemplar de etiqueta energética.

A adoção desta metodologia confirma o seu estatuto como uma das melhores estratégias disponíveis de aumento de eficiência energética em aparelhos, que representa um menor custo de implementação para alcançar uma redução de consumo de energia e as emissões de GEE associadas. Em programas já implementados no mercado, como no caso dos Estados Unidos e da União Europeia, estima-se que alcancem reduções anuais de cerca de 15% do consumo total de eletricidade atual.

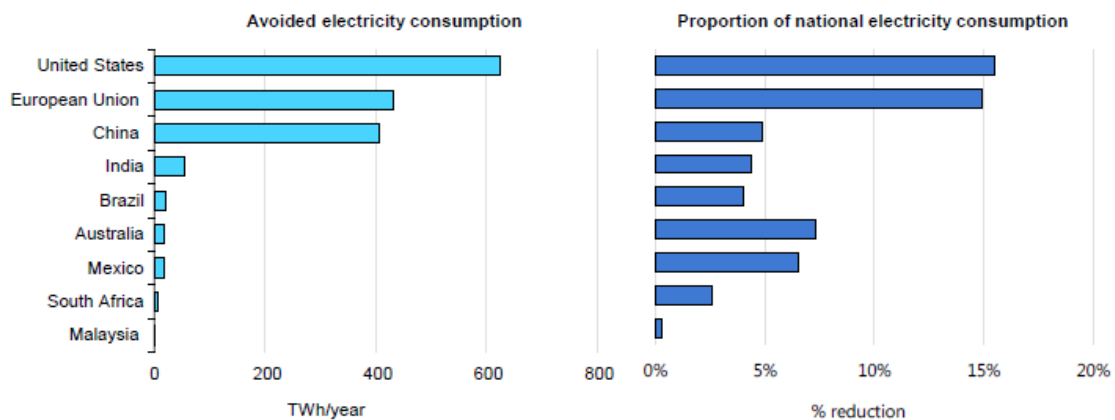


Figura 33: Redução de consumo de eletricidade anual derivado da implementação de programas de etiquetagem e definição de padrões de qualidade [40].

Estes programas, além de beneficiar financeiramente individualmente e na comunidade, estendem os seus benefícios na criação de emprego, inovação de produtos, promovem a economia de água e a melhoria na qualidade do ar, redução dos gastos públicos com saúde. Estes objetivos solidificam a rigidez na defesa de padrões fortes na implementação desta metodologia [40].

Com base em evidências globais de países com programas de padronização e etiquetagem de eficiência energética (P&EEE), a média relativa à eficiência energética nos novos aparelhos, nesses países, aumentou na proporção entre duas a três vezes superior aos restantes países. Consequentemente, registaram-se reduções médias de energia de 10-30% ao longo de 15 a 20 anos na maioria dos produtos regulamentados e disponíveis no mercado em todos os países. Nos principais países, cuja regulamentação é sólida e adotaram programas de longa duração que são atualizados regularmente, a contribuição foi muito superior, com programas P&EEE a alcançar reduções do consumo de eletricidade de vários aparelhos em mais de 50% [40].

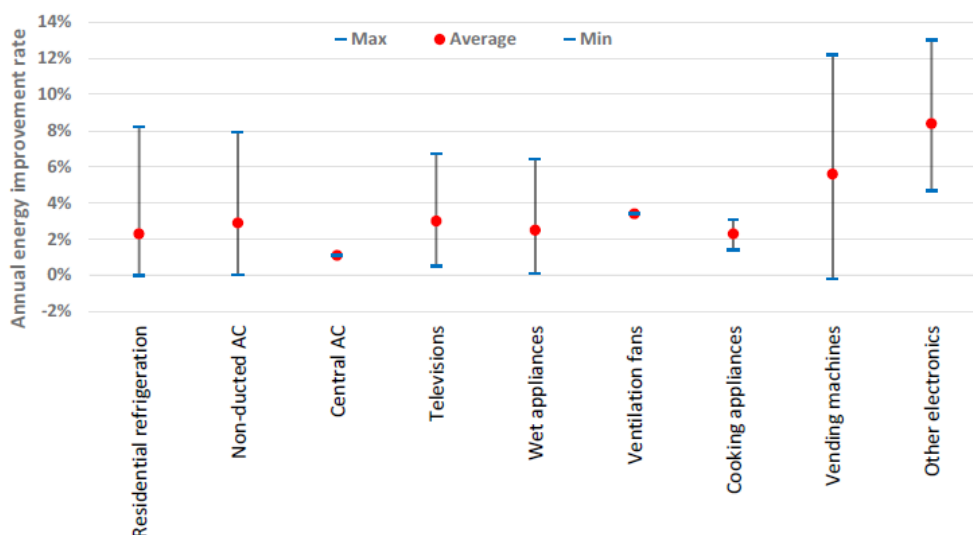


Figura 34: Redução de consumo de eletricidade em aparelhos novos abrangidos por programas P&EEE [40].

## 2.16 Emissões de gases com efeitos de estufa

Os dados são preocupantes: segundo relatório do Painel da ONU, estima-se que as concentrações de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera terrestre aumentaram 40% desde a era pré-industrial. Neste estudo, regista-se na atmosfera medições de gases como metano, dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, e óxido nítrico, em concentrações superiores do que registadas em 800 mil anos [41]. Não obstante destas mudanças estarem presentes no nosso quotidiano, teme-se que a contínua emissão de GEE poderá resultar num aumento de temperatura média global, assim como no clima, provocando ondas de calor extremas diárias e sazonais. Outra conclusão deste relatório sugere que até ao

ano de 2100, o volume glacial pode sofrer uma redução entre 35% e 85%, resultando num aumento do nível médio do mar.

A pandemia de Covid-19 e a crise económica por ela provocada tiveram um impacto em quase todos os aspetos desde a produção da energia, fornecimento e consumo em todo o mundo. A pandemia definiu as tendências de energia e emissões em 2020 - reduziu o consumo de combustíveis fósil na maior parte do ano, enquanto as energias renováveis e os veículos elétricos, dois dos principais blocos de construção das transições de energia limpa, pouco ou nenhum impacto sofreram. O consumo de energia primária diminuiu sensivelmente 4% em 2020 e emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas com a obtenção de energia diminuíram cerca de 5,8% de acordo com os dados estatísticos obtidos figurados na figura 35, a maior percentagem anual diminuiu desde a Segunda Guerra Mundial. Em termos absolutos, a queda nas emissões de quase 2.000 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> não tem precedentes na história da humanidade – a título comparativo, isso equivale a remover todas as emissões da UE das emissões globais do planeta [42].

Gt CO<sub>2</sub>

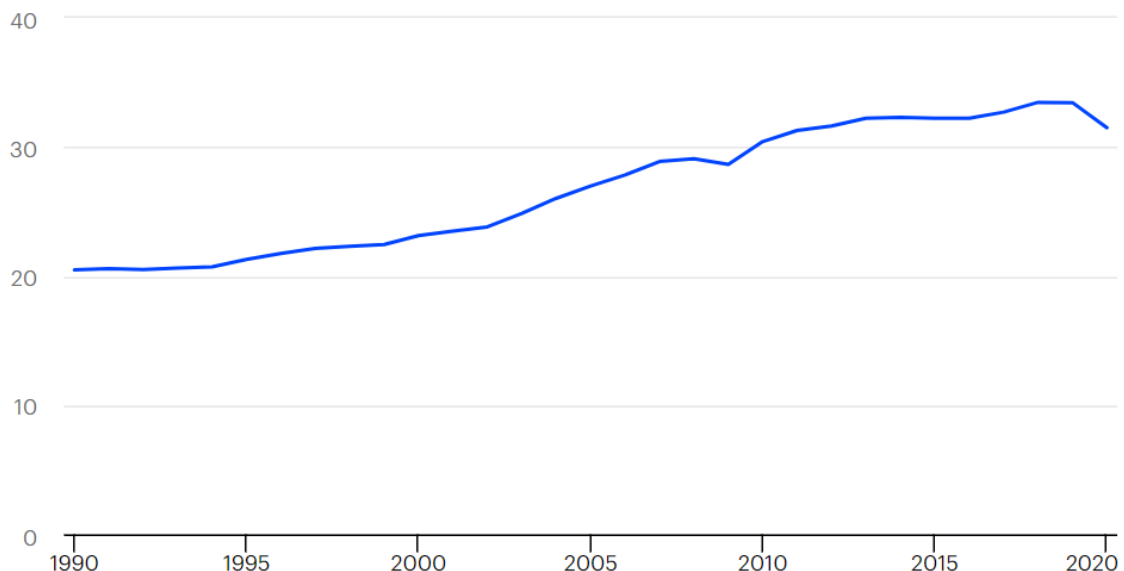


Figura 35: Emissões CO<sub>2</sub>, 1990-2020 [42].

O consumo de combustíveis fósseis foi o mais atingido em 2020 - especialmente petróleo, que caiu 8,6%, e carvão, que caiu 4%. O declínio anual do petróleo foi o maior já registado, pelo que é responsável por mais da metade da queda nas emissões globais. A queda no sector de transportes rodoviários foi responsável por 50% da diminuição do consumo global de petróleo, e de 35% no setor de aviação.

Paralelamente, combustíveis e tecnologias de baixo nível de emissões de CO<sub>2</sub>, em particular, solar fotovoltaico e eólica, alcançaram sua maior participação anual da matriz energética global (*energy mix*), aumentando em mais de 20% [42].



Figura 36: Flutuações nas emissões de CO<sub>2</sub>, por fonte de energia, 2010-2019 [42].

Em países com programas P&EEE mais avançados, tais programas contribuem anualmente em 7-10% no total de redução de emissões relacionadas com o consumo de energia. Tal percentagem equivale a cerca de 343 Mt CO<sub>2</sub> de emissões evitadas nos Estados Unidos e 311 Mt CO<sub>2</sub> na União Europeia [40]. Os benefícios para a saúde dos programas P&EEE não são frequentemente avaliados, mas há evidências emergentes de que esses benefícios podem ser substanciais e se traduzirem num fator-chave no valor geral que estes programas representam.

O principal benefício para a saúde de equipamentos com eficiência energética é a redução da poluição do ar, graças à redução das emissões diretas da combustão de gás, petróleo, carvão ou biomassa para cozinhar e aquecimento de espaços e água, bem como redução indireta emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis para produzir eletricidade. A figura 37 ilustra as emissões diretas evitadas através de programas P&EEE da EU, tendo estas projeções como horizonte o ano de 2030. Esses resultados representam reduções de emissões de 22% em partículas nocivas, 20% em monóxido de carbono (CO) e 11% em carbono gasoso orgânico em comparação com os níveis de emissões de 2010. Os benefícios para a saúde representam atualmente uma parte importante da proposta de valor dos programas P&EEE em alguns países. Na Nova Zelândia, o aquecimento de espaços de maior eficiência energética geraram poupanças na área da saúde em cerca de dez vezes mais da poupança dos custos relacionados com o consumo energético [40].

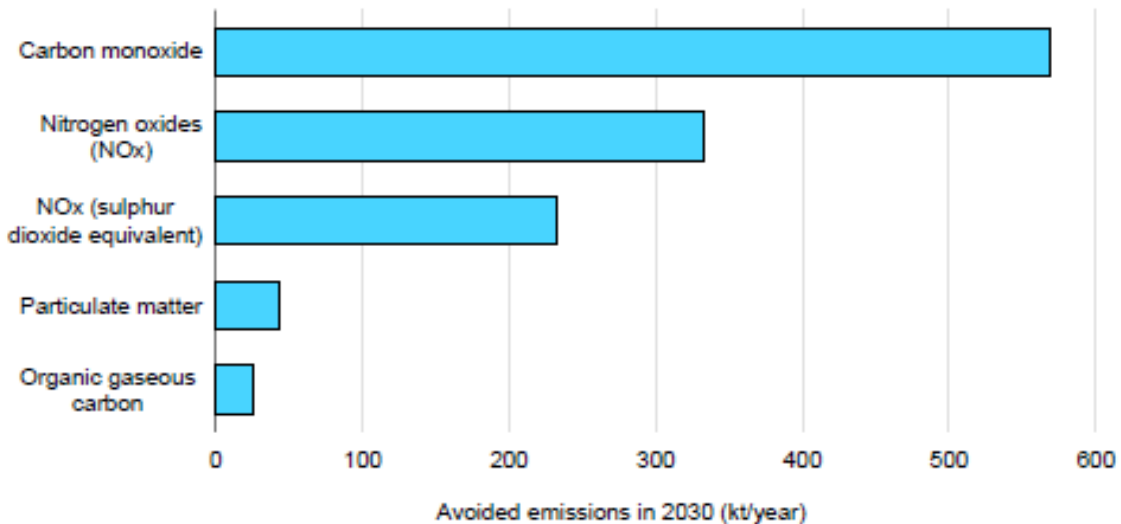


Figura 37: Projeção de redução de emissões de poluentes aéreos diretos na EU derivado da implementação de programas P&EEE [40].

A Europa possui um stock edificado com cerca de 25 bilhões  $m^2$  de área útil de pavimento, destes cerca de 25% tem uma utilização não residencial. O setor dos edifícios na Europa consome cerca de 40% das necessidades energéticas – correspondendo à maior fatia entre todos os setores – 27% dizem respeito a edifícios residenciais e 13% a edifícios de serviços. Os edifícios são ainda responsáveis por 36% das emissões de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Pelo que a eficiência energética dos edifícios constitui um elemento central da política da eficiência energética da União Europeia [20].

Ao contrário do que acontece na União Europeia, em que os edifícios representam a maior fatia do consumo, em Portugal o setor dos transportes é aquele que mais contribui para a utilização final de energia, com uma expressão de cerca de 36,1%, enquanto os edifícios representam 31,5% (17,4% - setor doméstico e 14,1% - serviços) [12],[42].

Dentro da categoria de edifícios, no setor de serviços, incluem-se os complexos de piscinas municipais, edifícios conhecidos pelo elevado consumo energético. Dada a constante necessidade de fornecimento de energia ao edifício das piscinas, as tecnologias mais utilizadas no aquecimento de piscinas são as caldeiras que utilizam combustíveis fósseis, como gasóleo e gás natural. A queima desses combustíveis gera emissões de GEE, que contribuem para o agravamento das mudanças climáticas. Além disso, o custo dos combustíveis fósseis aumentou consideravelmente nos últimos anos. Estes fatores mostraram a importância de investigar possíveis formas de utilização de tecnologias de energias renováveis que combinem a exigência de redução de custos, assim como de emissões de  $CO_2$  para a atmosfera, cumprindo os objetivos propostos pela UE para uma utilização mais eficiente da energia. Vários projetos foram financiados pela UE relacionados com eficiência energética e o uso de fontes de energia renováveis em centros desportivos. A integração de fontes renováveis de energia é um fator preponderante para analisar a possibilidade de uma construção autossuficiente do ponto de vista energético [43].

## 2.17 Hidrogénio

O hidrogénio e a energia partilham uma longa história - acionando os primeiros motores de combustão interna há mais de 200 anos para se tornar parte integrante da indústria de refinaria moderna. É leve, armazenável, possui alta densidade energética e não produz emissões diretas de poluentes ou gases de efeito estufa. Mas para que o hidrogénio possa contribuir significativamente para as transições de energia limpa, precisa de ser adotado em setores onde está quase totalmente ausente, como transporte, edifícios e produção de energia. O fornecimento de hidrogénio para a indústria atualmente traduz-se num grande negócio global. O consumo de hidrogénio, que cresceu mais do triplo desde 1975, continua a aumentar – consumo este suportado por combustíveis fósseis, com 6% do gás natural global e 2% do carvão global indo para a produção de hidrogénio. Como consequência, a produção de hidrogénio é responsável por emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 830 milhões de toneladas de dióxido de carbono por ano, o equivalente às emissões de CO<sub>2</sub> do Reino Unido e Indonésia juntos [44].

O hidrogénio pode ser extraído de combustíveis fósseis, biomassa, água ou de uma mistura de ambos. A principal fonte de produção de hidrogénio é o gás natural, sendo responsável em cerca de três quartos da produção anual global de hidrogênio, o que se traduz numa quantidade de 70 milhões de toneladas. O recurso a esta quantidade de gás natural corresponde a cerca de 6% do seu uso global. Os custos de combustível para obtenção de hidrogénio são o maior componente de custo, respondendo por entre 45% e 75% dos custos de produção, havendo diferenças de preços de métodos, como é possível observar na figura 38.

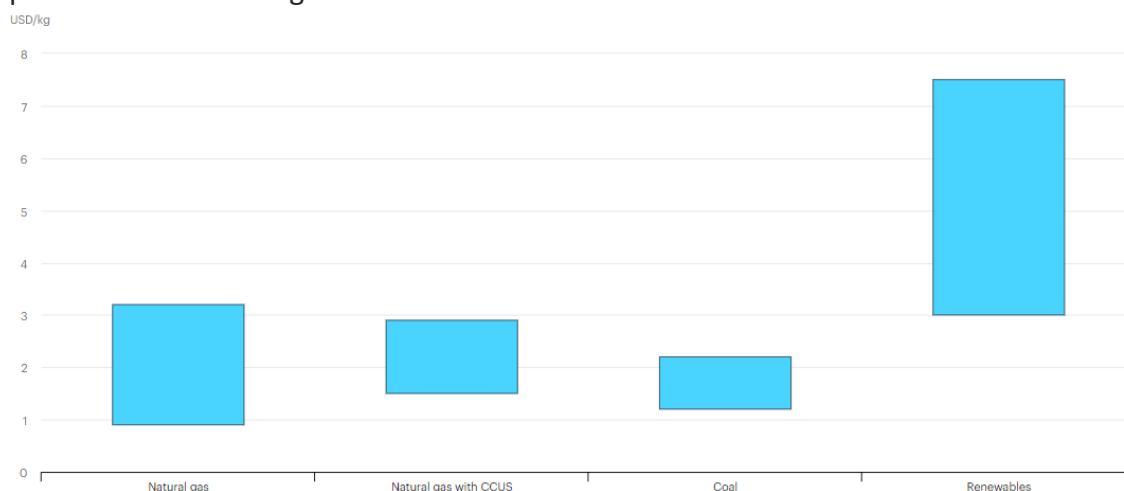


Figura 38: Relação entre custo e método de obtenção do hidrogénio [44].

A geração de eletricidade dedicada a partir de fontes renováveis ou energia nuclear oferece uma alternativa ao uso da eletricidade da rede para a produção de hidrogénio. Com a redução dos custos da eletricidade renovável, em particular da energia solar fotovoltaica e eólica, cresce o interesse pelo hidrogénio eletrolítico. Produzir todas as necessidades do consumo atual de hidrogénio com recurso à rede elétrica significaria

um consumo de 3 600 TWh de eletricidade, mais do que a geração total anual de eletricidade da União Europeia [44].

A produção para ser classificada de *verde* depende do processo de eletrólise, recorrendo a uma corrente elétrica para dividir a água em hidrogénio e oxigénio, através de um eletrolisador. Este processo pese embora seja sustentável, é consideravelmente mais caro do que a obtenção de hidrogénio através de métodos tradicionais. Com custos com tendência decrescente para obtenção de energia solar fotovoltaica e eólica [45], como se comprova na figura 39, a construção de eletrolisadores em locais com excelentes condições de recursos renováveis consta como opção de fornecimento de hidrogénio de baixo custo, mesmo depois de considerados os custos de distribuição do hidrogénio, muitas vezes de locais remotos até ao consumidor final [44].

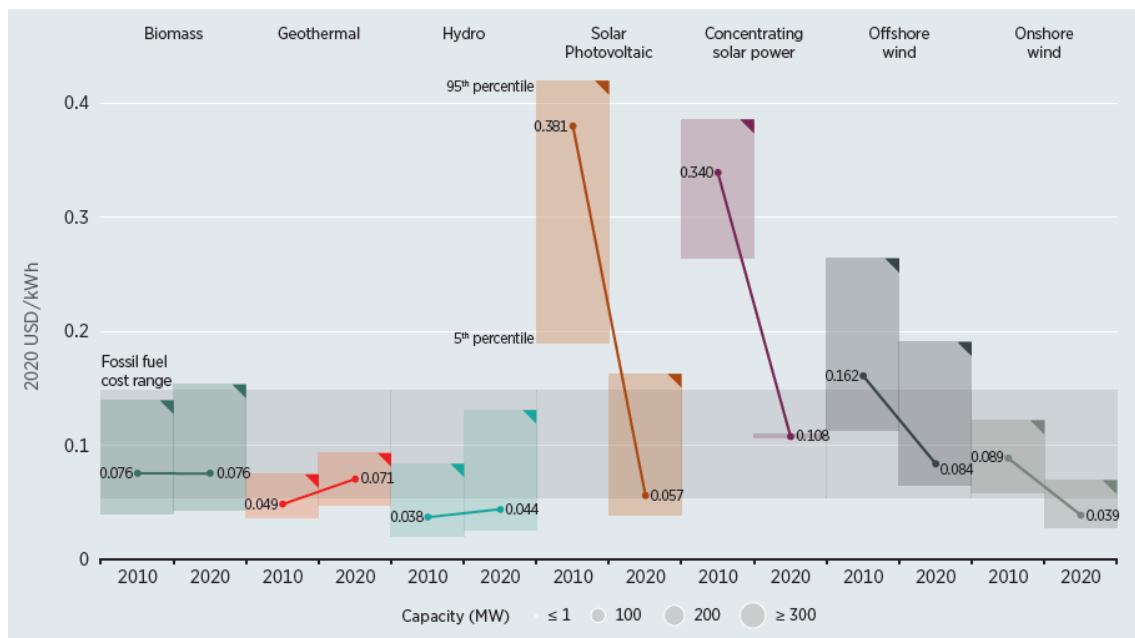


Figura 39: Variação de custo energias renováveis, entre 2010 e 2020 [45].

A aposta na produção de *Hidrogénio Verde* é uma estratégia de Portugal para a descarbonização da economia e diminuição da dependência de combustíveis fósseis. Esta aposta estratégica visa não só o cumprimento das metas climáticas, mas também o desenvolvimento económico e a liderança industrial europeia nas tecnologias associadas ao hidrogénio. O *Green Pipeline Project* é o primeiro projeto Português que envolve produção de *hidrogénio verde* e vai abranger 80 clientes residenciais, terciários e industriais que, a partir de janeiro de 2022, vão começar a receber uma mistura de gás natural e hidrogénio. Numa fase inicial do projeto será injetado 2% de hidrogénio na rede de gás natural, subindo gradualmente esta percentagem até um máximo de 20% num período de dois anos [46].



# DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

## PISCINAS FONTELO

- 3.1 Metodologia
- 3.2 Caracterização do edifício e dos equipamentos
- 3.3 Perfis de utilização
- 3.4 Comparação com outras metodologias passíveis de implementação



### 3 Caso de estudo

O presente caso de estudo teve por base a auditoria e certificação energética efetuada ao edifício denominado por Piscinas Municipais Fontelo, no âmbito do processo de certificação energética. A auditoria e certificação energética realizada às Piscinas Municipais de Fontelo foi realizada independentemente e anteriormente ao início do desenvolvimento do Projeto, de forma a averiguar os consumos do edifício, de onde se obtiveram os dados de seguida espelhados. As piscinas estão localizadas na Avenida José Relvas, pertencente à freguesia e concelho Viseu, distrito do Viseu. Esta auditoria foi realizada no âmbito do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE), Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto (atualizado – 4ª alteração – pelo Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de junho).

Para a realização deste trabalho, monitorizou-se os consumos energéticos do edifício, medições estas realizadas entre os dias 20 de dezembro de 2016 e 03 de janeiro de 2017, que permitiram calibrar um modelo físico do edifício associando a estes os respetivos consumos reais. Da auditoria foi possível identificar-se, e estimar-se os seguintes consumos representados na figura 40.

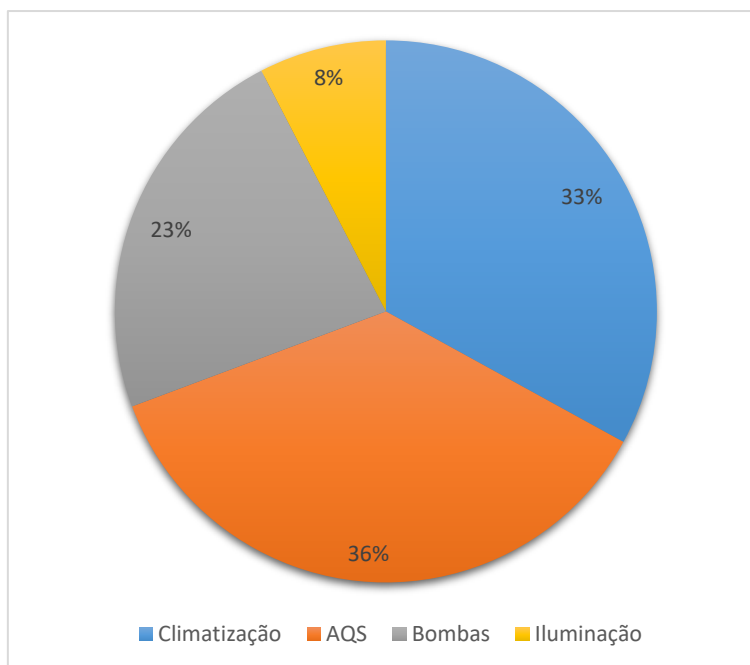


Figura 40: Consumo energético estimado das Piscinas Municipais do Fontelo.

Tomando por base o consumo e as condições previstas de funcionamento do edifício, propôs-se um total de seis medidas de intervenção / requalificação, que podem representar uma redução energética superior a 50%. Estas seis medidas baseiam-se nas seguintes metodologias:

- Instalação de um módulo energético metálico para duas caldeiras 300kw;
- Fornecimento e instalação de 48 Coletores solares térmicos à cota da cobertura;
- Substituição dos ventiladores de insuflação, e aplicação de variadores de velocidade nas unidades desumificadoras;
- Substituição das lâmpadas instaladas por lâmpadas de tecnologia LED;
- Fornecimento de Kit de cobertura de piscina, composto por manta térmica dupla bolha;
- Implementação de GTC (Gestão técnica centralizada).

A auditoria Energética realizada a este edifício será um instrumento fundamental na avaliação e otimização dos consumos de energia, tendo como sequência:

- Aumento da eficiência energética dos equipamentos instalados;
- Redução da fatura energética;
- Melhor conhecimento das instalações;
- Identificar situações de desperdício de energia e corrigi-las;
- Identificar e orientar soluções que podem ser seguidas na remodelação da infraestrutura com vista a otimização energética;
- Redução do impacto ambiental, nomeadamente na contribuição para a redução da taxa de emissões de CO<sub>2</sub>.

### 3.1 Metodologia

Com o objetivo de obter a melhor informação disponível sobre o imóvel e assim assegurar o maior rigor possível da análise efetuada, foi formalmente solicitado ao proprietário o fornecimento de um conjunto de documentos úteis para efeitos da peritagem realizada. A restante informação necessária para a caracterização da fração foi recolhida no local, através dos levantamentos efetuados, sendo complementada com as medições realizadas durante o período em que decorreu a auditoria de energia.

Os elementos que serviram de base à elaboração do presente documento foram os seguintes:

- Peças desenhadas de arquitetura;
- Peças desenhadas de AVAC (projeto desatualizado);
- Levantamento das características do edifício no local.

A auditoria energética ao Edifício Piscina Municipal de Fontelo realizou-se em duas fases distintas:

- Efetuou-se a recolha de toda a informação, que incluiu visitas ao local com os respetivos levantamentos dos espaços em análise e medições elétricas;
- Efetuou-se todo um trabalho de análise e sistematização da informação, incluindo a simulação energética detalhada do edifício e dos seus sistemas em funcionamento real.

No âmbito da Auditoria Energética realizada de forma independente e anterior ao projeto, por um perito qualificado, a visita ao local para recolha de informação e medições teve lugar entre os dias 20 de dezembro de 2016 e 03 de janeiro de 2017.

Realça-se que por falta de elementos, nomeadamente, faturas de consumo energético mensais, considerou-se que o consumo é constante ao longo do ano.

### 3.2 Caracterização do edifício e dos equipamentos

O edifício de serviços denominado por Piscinas Municipais de Fontelo, com tipologia de Cube Desportivo com Piscina, encontra-se na zona climática I<sub>2</sub> V<sub>2</sub>, a uma altitude de 457 m e a uma distância à costa marítima de 73 Km, aproximadamente.



Figura 41: Fachada principal das Piscinas Municipais do Fontelo.

O horário de funcionamento é apresentado na tabela 8.

Tabela 8: Horário de funcionamento.

	Segunda-Feira	Terça-Feira a Sábado	Domingo
01/07 a 14/09	Encerrado	8h30 – 21h30	9h15 – 18h30
15/09 a 30/06			9h15-15h30

O edifício em análise é essencialmente constituído pelos seguintes espaços:

- Nave de piscinas, composta por 3 piscinas;
- Bar;
- Gabinetes;
- Balneários;
- Ginásio;
- Zonas de circulação de público;
- Instalações sanitárias;
- Zonas técnicas (casa das máquinas);
- Armazéns.

O Edifício é constituído por uma fração autónoma com dois pisos, cuja área total é de 3423 m<sup>2</sup>. Tendo em conta o tipo de espaços presente no edifício em estudo, estes subdividem-se nos seguintes tipos, figurados na tabela 9.

Tabela 9: Tipo de espaço (segundo o RECS).

<b>Tipo de espaço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Tipo A (climatizado)	2 987,7
Tipo B (não climatizado)	435,5

A área de espaços complementares é de 435,5 m<sup>2</sup>, e consequentemente foram considerados 2987,70 m<sup>2</sup> para efeitos de enquadramento do edifício, segundo o artigo 3º do DL 118/2013, como se observa na Figura 41. O edifício foi considerado um Grande Edifício de Serviços (GES). A tipologia predominante é a de Clube Desportivo com Piscina, como verificado na figura 42.

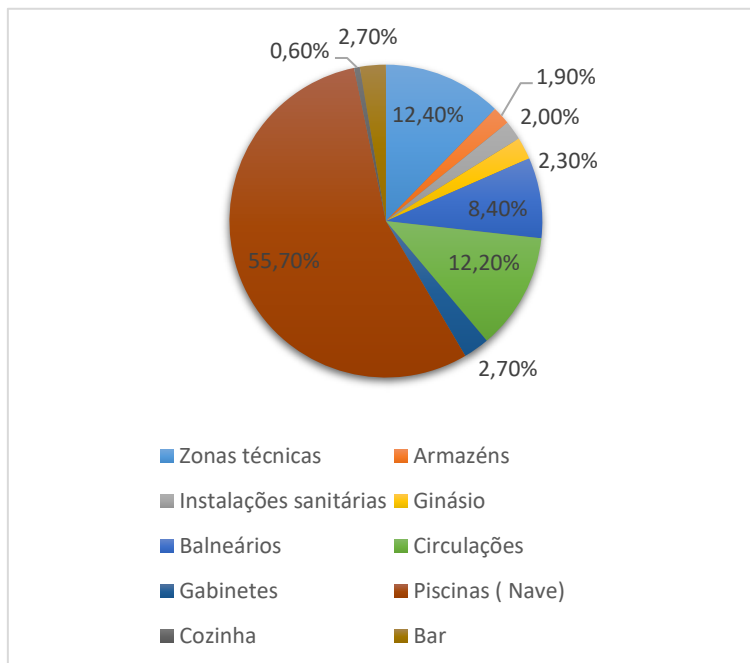


Figura 42: Área de ocupação no edifício.

Na tabela 10 apresentam-se os dados climáticos de referência, considerados na aplicação do D.L. 118/2013. Na figura 43 espelha-se o alçado principal do edifício das Piscinas do Fontelo. Enquanto se descreve na tabela 11 os espaços existentes, na figura 44 exhibe-se a zona técnica do piso 0 e na figura 45 a vista geral do tanque principal do caso de estudo.

Tabela 10: Dados climáticos de referência.

	<b>RECS</b>
Morada	Avenida José Relvas
Coordenadas GPS	N 40.659772 ° W -7.902768 °
Concelho	Armamar
Altitude [m]	457
Distância ao litoral [km]	73
Zona climática de Inverno	I <sub>2</sub>
Número de graus-dias de aquecimento [°C.dias]	1702
Duração da estação de aquecimento [meses]	7,3
Temperatura exterior de Inverno [°C]	7,5
Zona climática de Verão	V <sub>2</sub>



Figura 43: Vista geral do edifício das Piscinas Municipais de Viseu.

## Envolvente opaca

Durante a visita, foi confirmado o levantamento arquitetónico do edifício, disponibilizado nas peças desenhadas, através de medição no local, das principais dimensões do edifício. Foram identificados vários espaços do tipo B, os quais se encontram descritos na tabela 11, onde se apresentam os respetivos coeficientes de transmissão térmica superficial de elementos opacos ( $\tau$ ), considerados na análise.

Tabela 11: Espaços do tipo B e coeficientes  $\tau$ .

<b>Espaço</b>	<b>Descrição</b>	<b><math>\tau</math></b>
1	Arrumo 1	1,00
2	Arrumo 2	0,60
3	Arrumo 3	0,30
4	Arrumo 4	0,30
5	Arrumo 5	0,30
6	Zona técnica (piso 0)	1,00
7	Zona técnica (piso 1)	1,00
8	Casa das máquinas do elevador	0,70
9	Caixa do elevador	1,00
10	Pleno (Nave)	0,70

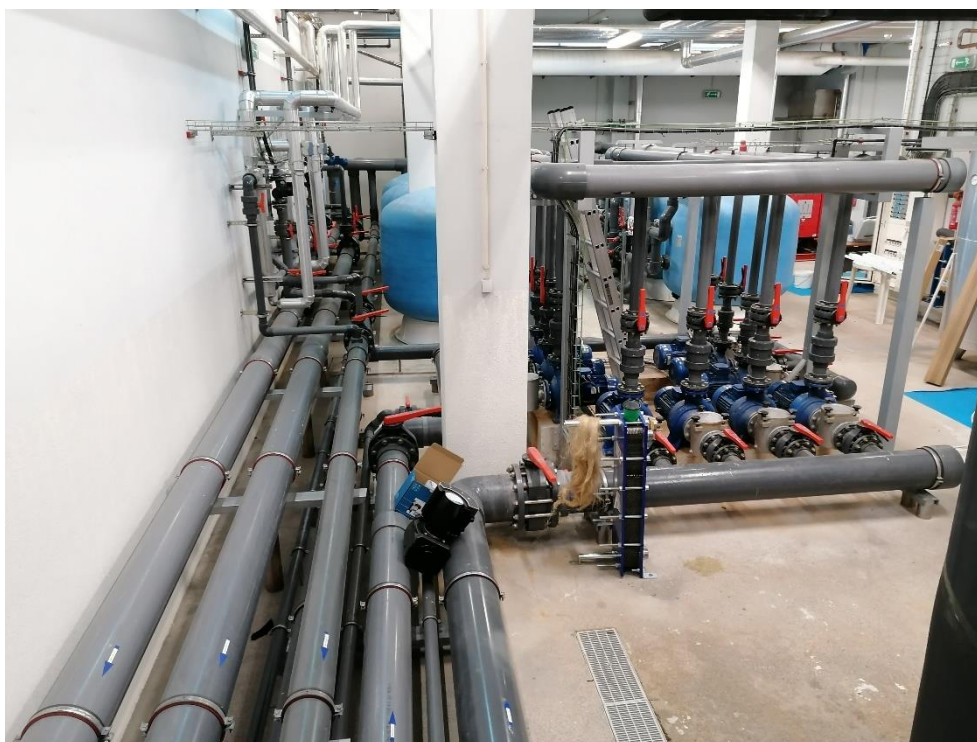


Figura 44: Zona técnica piso 0.

No modelo de simulação dinâmica detalhado para a parametrização das perdas pela envolvente em contacto com espaços não úteis considerou-se a metodologia prevista pelo programa TRACE 700 v6.3.0, acreditado pela norma ASHRAE 140-2004. Na tabela 12 identificam-se os diferentes tipos de soluções construtivas opacas presentes no edifício.

Tabela 12: Tipo de soluções opacas existentes no edifício.

Elemento	Tipo de elemento	$U_{\text{solução}}$	$U_{\text{REF}}$
		[W/m <sup>2</sup> °C]	[W/m <sup>2</sup> °C]
PE. Geral	Parede exterior	1,30	0,60
P.Int	Parede interior	1,89	0,60
Pav. Int	Pavimento interior	3,10	0,45
Cob. Horizontal	Cobertura exterior	2,60	0,45
Cob. Inclínada	Cobertura exterior	3,40	0,45
Cob. Policarbonato	Cobertura exterior	5,70	0,45
Painel Sandwich	Cobertura exterior	0,37	0,45
Cob. Int.	Cobertura interior	2,50	0,45
Pav. Solo	Pavimento térreo	$U_{\text{bf}} = 0,47$	0,50



Figura 45: Vista geral do tanque principal.

## Pontes térmicas

### Pontes Térmicas Lineares

Face à limitação do software utilizado em parametrizar as pontes térmicas lineares no modelo de simulação foi considerado um acréscimo de 5% nos consumos de energia para aquecimento ambiente (Qaq) no cálculo do IEE.

### Pontes térmicas Planas

Dada a escassez de informação relativa à construção do edifício, isto é, por falta de informação quanto ao projeto de estruturas e pormenores construtivos, as pontes térmicas planas foram consideradas agravando-se o coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior em 35%.

## Envolvente transparente

Os vãos envidraçados do edifício são caracterizados por serem simples com caixilharia metálica (alumínio) sem quadrícula, sem classificação quanto à permeabilidade ao ar e com vidro duplo. Relativamente aos envidraçados, esclarece-se relativamente as características dos mesmos ( tabela 13) e a área envolvente ( tabela 14 e tabela 15).

Tabela 13: Características dos vãos envidraçados.

Vão envidraçado	Espessura [mm]	Proteção solar	$U_{Global}$ [W/m <sup>2</sup> .°C]	$U_{ref}$ [W/m <sup>2</sup> .°C]	$g_{vidro}$	$g_{ref}$
VE geral (giratório)	6+caixa de ar+6	-	4,3	3,30	0,75	0,20
VE geral (fixo)	6+caixa de ar+6	-	3,9	3,30	0,75	0,20

## Levantamento dimensional

### Envolvente Opaca

Tabela 14: Área de envolvente do edifício por orientação.

Tipo de Envolvente	Área [m <sup>2</sup> ]									
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	H	Total
PE Geral	-	264,8	-	86,3	-	260,3	-	160,3	-	771,7
Cob. Horizontal	-	-	-	-	-	-	-	-	394,4	394,4
Cob. Inclinada	-	-	-	-	-	-	-	-	503,1	503,1
Cob. Policab.	-	-	-	-	-	-	-	-	804,7	804,7
Painel Sandwich	-	-	-	-	-	-	-	-	1029,6	1029,6

Tabela 15: Áreas da envolvente.

Tipo de envolvente [m <sup>2</sup> ]			
Interior do edifício		Em contacto com o solo	
P. Int	323,7	Pav. Solo	2899,2
Pav. Int	64,4	-	-
Cob. Int	203,3	-	-

## Envolvente transparente

### Inércia Térmica

Dada a impossibilidade de acesso à composição efetiva das soluções construtivas do edifício em análise considerou-se uma inércia térmica do tipo média. Para determinar a inércia térmica da fração foi tido em conta o Despacho n.º 15793-E/2013. Espelham-se os valores apurados relativos à inércia térmica da envolvente transparente tabela 16.

Tabela 16: Inércia térmica da envolvente transparente.

Tipo de envidraçado	Área [m <sup>2</sup> ]									
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	H	Total
VE GERAL	-	47,3	-	72,5	-	44,0	-	67,7	21,5	253

## Iluminação

No edifício foram identificados os seguintes tipos de iluminação interior: fluorescentes tubulares, fluorescentes compactas e lodetos metálicos, sendo que a sua caracterização teve por base o levantamento efetuado no local. Menciona-se na tabela 17 as características, e na figura 18 um exemplar da iluminação existente.

Tabela 17: Densidades de iluminação interior por tipologia.

	Área [m <sup>2</sup> ]	Potência [W]	Densidade [W/m <sup>2</sup> ]
Clube desportivo com piscina	2987,7	35697	11,95
Armazéns	66,6	301	4,52
Zonas técnicas	368,9	3600	9,76
Exterior	-	1036	-



Figura 46: tipologia de lâmpada existente.

O controlo do horário de funcionamento da iluminação dos espaços é feito localmente de forma manual. O sistema de iluminação não permite a regulação de fluxo em função da iluminação natural. O edifício tem uma potência instalada de, aproximadamente, 35,7 kW em iluminação, repartida pelos dois pisos.

### **Sistemas de tratamento ambiente**

Para caracterização dos equipamentos ou sistemas instalados (em particular dos respetivos valores de eficiência), foram prioritariamente considerados os elementos recolhidos no levantamento e todas as especificações ou catálogos técnicos disponíveis. Nos casos em que tal informação não estava disponível nos elementos fornecidos pelo proprietário, foi consultado o respetivo fornecedor ou fabricante do equipamento, com vista à obtenção dos dados necessários.

Foram identificados vários ventilo-convetores de teto, providos de bateria de aquecimento, responsáveis pelo aquecimento do ar a insuflar nos respetivos espaços. Nos balneários foram identificados extractores de ar independentes, e na zona técnica 1 identificou-se a localização das unidades de bomba de calor desumificadoras.

## Sistema de preparação de águas quentes

O tipo de sistemas e os respetivos valores de eficiência identificados encontram-se descritos na tabela 18, encontrando-se registados na figura 47.

Tabela 18: Tipo de sistema existente para AQS.

Tipo de equipamento	Nº de unidades iguais	Marca/Modelo	Potência nominal (kW)	Rendimento (%)
Caldeira	8	Roca G100/110 IE	137,6	91,6

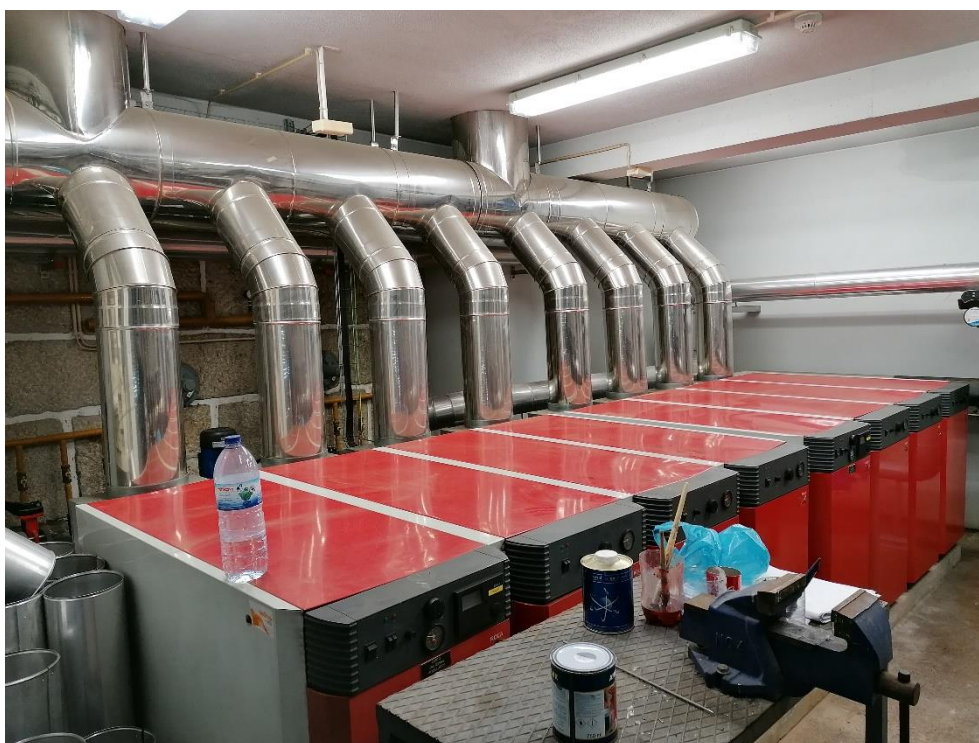


Figura 47: Caldeiras existentes no edifício de caso de estudo.

## Cobertura térmica da piscina

Na nave da piscina foi identificada a existência de uma cobertura térmica para a piscina de 8 pistas, instalada durante o período noturno e no período de inutilização desse tanque. Nos demais tanques, não foi identificada cobertura térmica.

### 3.3 Perfis de utilização

#### 3.3.1 Balanço de consumos/custos com gás natural e energia elétrica

##### Sistema de preparação de águas quentes

A Piscina Municipal de Fontelo utiliza dois tipos de fontes de energia, elétrica e térmica (gás natural). A energia elétrica é fornecida em regime de Média Tensão. Com base na análise das faturas de energia elétrica e térmica, obteve-se uma estimativa dos consumos globais de energia no edifício. O gráfico da figura 48 representa a distribuição média dos consumos mensais no edifício, e a simulação efetuada no programa TRACE 700 v6.3.0.

##### Desagregação dos consumos energéticos

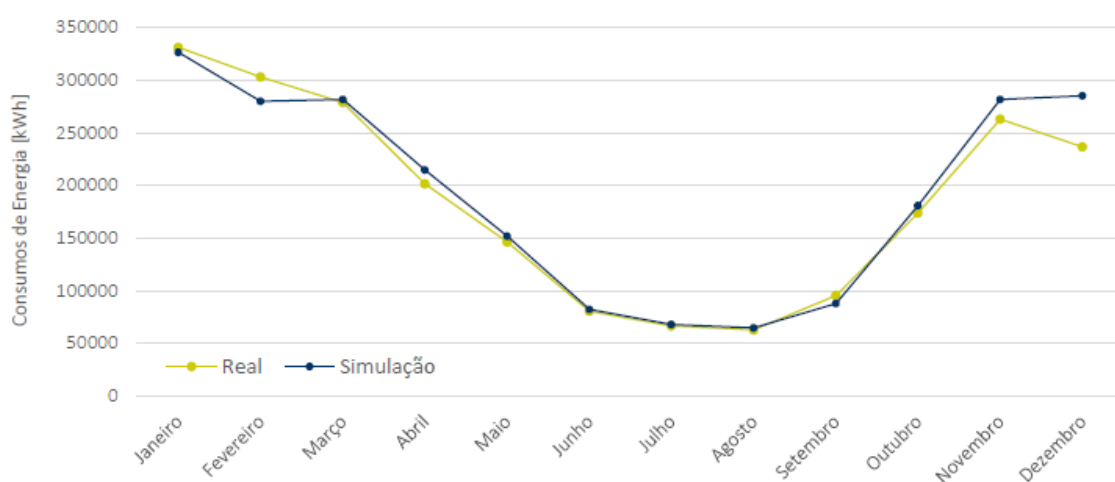


Figura 48: Distribuição média dos consumos mensais do edifício.

##### Consumos de energia elétrica

As informações obtidas através das faturas apenas devolvem uma perspetiva global, mensal, relativamente ao perfil do edifício, como é observado na figura 49.

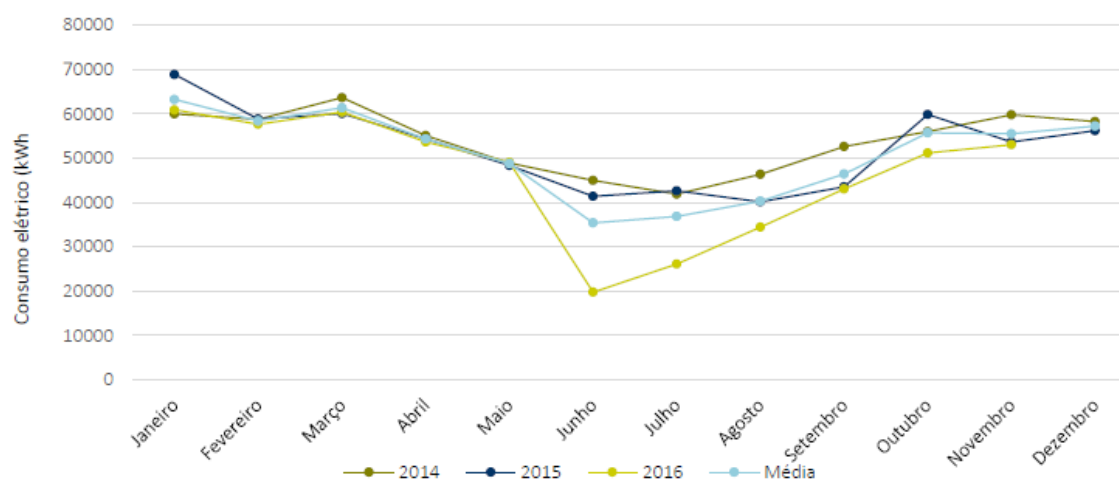


Figura 49: Consumos de energia elétrica entre janeiro de 2014 e dezembro de 2016.

Como pode ser verificado no gráfico anterior, o perfil de consumo de energia elétrica apresenta uma variação praticamente constante ao longo dos vários meses do ano, pelo que para análise do perfil real associado ao consumo de energia elétrica optou-se por considerar um valor médio.

### Quadros elétricos

Na figura abaixo apresenta-se de forma esquemática os quadros elétricos presentes no edifício, indicando-se aqueles que foram alvo de monitorização durante o período de auditoria (das 00h do dia 22/12/2016 às 00h do dia 03/01/2017), estando identificados com fundo azul os quadros alvo de monitorização na figura 50.

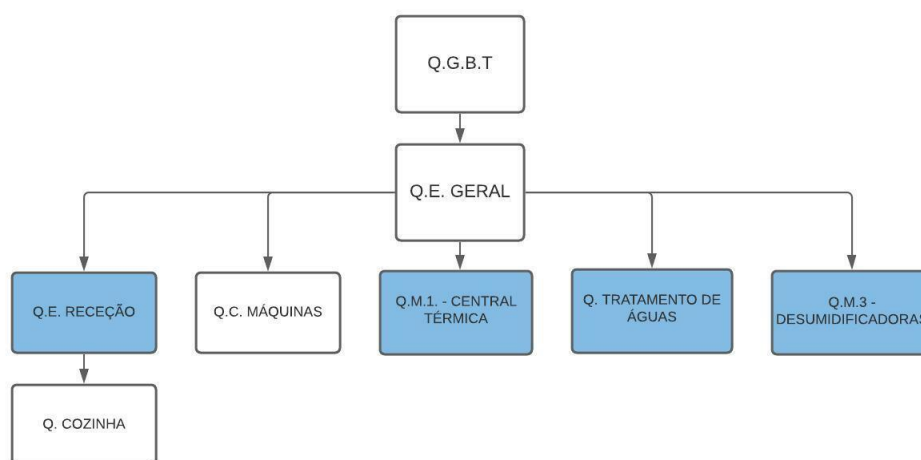


Figura 50: Quadros elétricos existentes no edifício.

### Consumos de energia térmica (gás natural)

Da análise da informação contida nas faturas apresentadas, verifica-se no gráfico da figura 51 uma perspetiva global numa análise mensal, do consumo de gás natural que acontece no edifício.

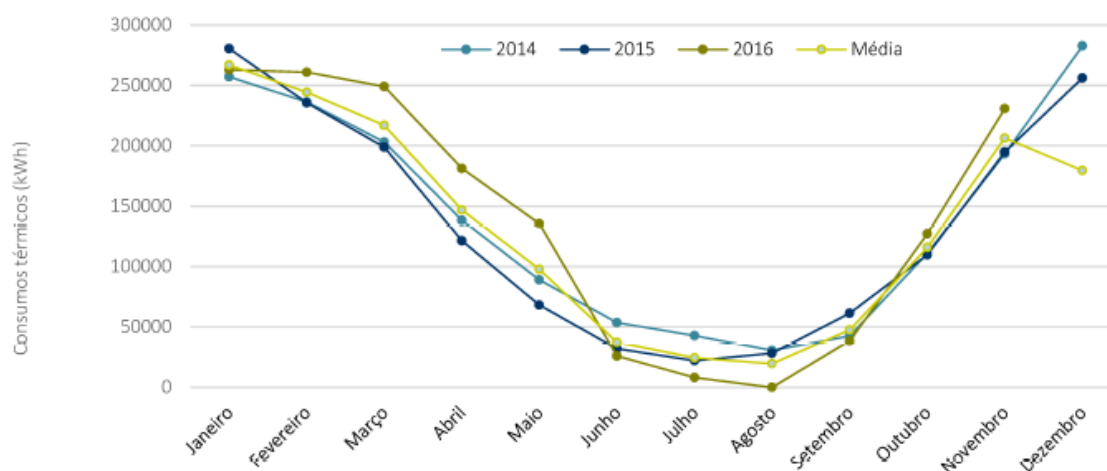


Figura 51: Consumos de energia térmica entre janeiro de 2014 e dezembro de 2016.

### **Instalação Térmica (contadores parciais)**

A desagregação dos consumos energéticos por utilização final não é possível de ser efetuada pois a instalação não dispõe de contadores parciais. Dessa forma não é possível aferir-se previamente quais os consumos afetos ao aquecimento das águas sanitárias, ao aquecimento da água da piscina e para climatização.

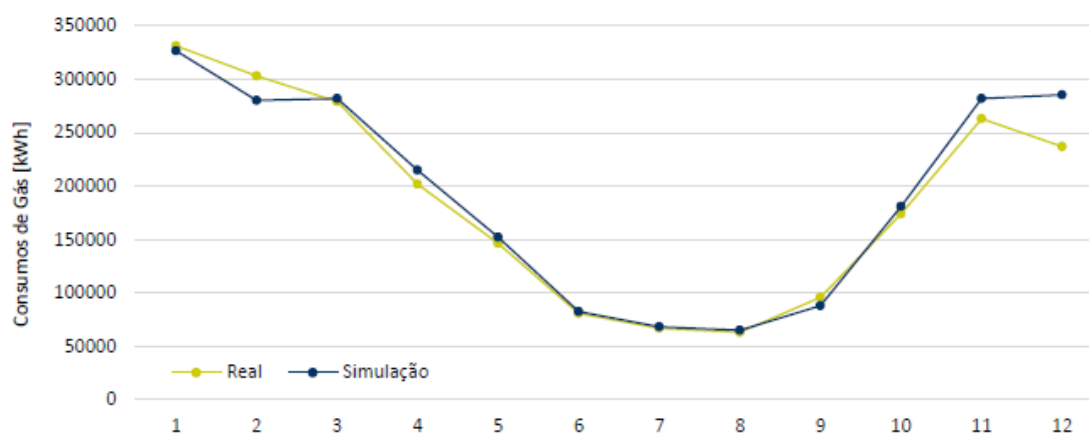
### **Simulação Dinâmica**

Conforme referido pela portaria 349-D/2013 de 2 de dezembro (tabela I.02), realizou-se a simulação dinâmica detalhada, tendo-se optado pelo programa TRACE 700 v6.3.2, o qual cumpre a norma ASHRAE 140 – 2004. O objetivo da simulação é estabelecer um modelo representativo do funcionamento real do edifício e auxiliar a desagregação dos consumos de energia pelas várias utilizações finais. O modelo de simulação foi construído com base nas plantas e no levantamento efetuado durante o período de visitas realizadas ao edifício.

### **Aferição do modelo de simulação**

Na calibração do modelo de simulação foram utilizados todos os elementos relativos às condições reais de funcionamento do edifício, nomeadamente ocupação, equipamentos, iluminação e set-points de temperatura. A contabilização do caudal de ar insuflado diretamente nos espaços teve como base o valor indicado nas unidades de ventilação. O ficheiro climático utilizado para calibração do modelo de simulação foi obtido através do programa disponibilizado pelo LNEG (anos meteorológicos de referência). De forma a validar os resultados obtidos através da simulação dinâmica detalhada, foi necessário efetuar a validação anual comparando os resultados obtidos com os consumos reais apresentados anteriormente.

Na figura 52 constam os resultados obtidos. Considera-se que o modelo de simulação é válido se garantir uma margem de erro inferior a 10%. O resultado final da simulação dinâmica foi validado com um erro de 2,93% (inferior) em relação às faturas de energia (térmica e elétrica).



### Desagregação dos consumos elétricos

Apresenta-se a comparação dos consumos elétricos, entre real faturado e o obtido através do modelo de simulação, na tabela 19.

Tabela 19: Comparação dos consumos de energia elétrica.

Finalidade	Faturado (média anual 2014-2016) [kWh/ano]	Simulado [kWh/ano]
Total	637 308	651 881 (-2,29%)

Figura 52: Validação do modelo de simulação com as faturas de energia térmica e elétrica.

Para calibração do modelo de simulação foi realizada a análise dos consumos por forma de energia e a desagregação dos mesmos por utilização final, cujos valores são vertidos na figura 53. De modo a aferir-se o consumo de energia dos principais equipamentos, e posteriormente efetuar-se a desagregação de consumos por sistema, procedeu-se à monitorização dos quadros elétricos, tal como mencionado anteriormente.

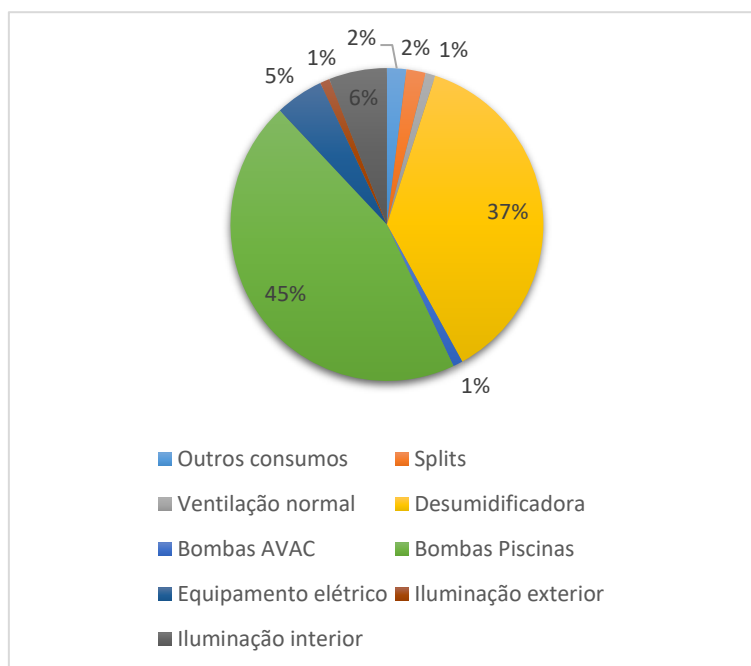


Figura 53: Desagregação dos consumos de energia elétrica obtidas através da simulação dinâmica.

### Desagregação dos consumos térmicos

Apresenta-se agora a comparação dos consumos térmicos (gás natural), entre real faturado e o obtido através do modelo de simulação, na tabela 20 e figura 54.

Tabela 20: Comparação dos consumos de gás natural.

Finalidade	Faturado (média anual 2014-2016) [kWh/ano]	Simulado [kWh/ano]
AQS - Banhos		229 163
AQ - Piscina	1 602 924	962 426
Climatização		462 297
Total	1 602 924	1 653 886 (+3,18%)

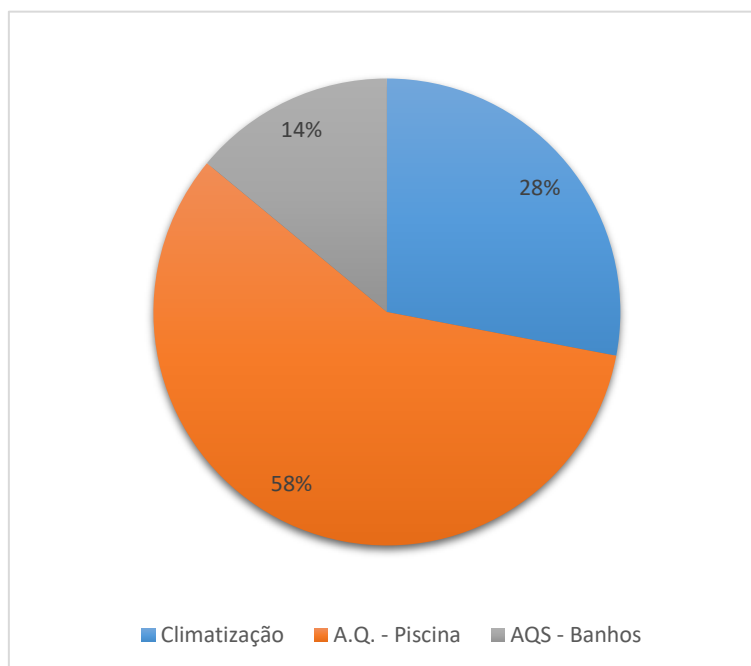


Figura 54: Desagregação de consumos de energia térmica - simulação dinâmica.

### **Classificação Energética**

De acordo com a metodologia, Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) que integra o Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto (Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de junho – procede à quarta alteração ao Decreto -Lei n.º 118/2013), a classificação energética a atribuir ao edifício, resulta da comparação entre os consumos previstos do edifício, tendo em conta as condições reais de funcionamento, com os consumos do edifício nas mesmas condições de funcionamento, mas com determinadas soluções de referência ao nível dos sistemas de envolvente, climatização / ventilação, AQS e Iluminação.

Efetua-se uma simulação de modo a obter-se os consumos, previstos, de energia. Para a classificação energética atual do edifício, obtendo consumos de referência (IEE referência), é necessário simular o edifício segundo as condições de referência, descritas na tabela I.07 da portaria 349-D/2013. Ambos os dados obtidos estão apurados na tabela 21.

Tabela 21: Apuramento de consumos previstos e consumos de referência

Tipo de consumo		Consumos Previstos [IEE Previsto]		Consumos de referência [IEE Referência]	
		Consumo energia final [kWh/ano]	Energia primária [kWh <sub>EP</sub> /ano]	Consumo energia final [kWh/ano]	Energia primária [kWh <sub>EP</sub> /ano]
IEE <sub>s</sub>	Aquecimento de ambiente	<i>Elet.</i> 32 221	80 552	16 329	40 823
		<i>Gás</i> 526 524	526 524	711 078	711 078
	Arrefecimento de ambiente	<i>Elet</i> 140 656	351 640	199 456	498 639
		<i>Gás</i> -	-	-	-
	Ventilação	<i>Elet</i> 133 519	333 799	37 450	93 626
	Bombagem	<i>Elet</i> 303 592	758 981	303 994	759 986
	Iluminação interior	<i>Elet</i> 40 353	100 883	36 619	91 548
	Iluminação exterior	<i>Elet</i> 4 343	10 856	434	10 856
	SolarTérmico AQS	<i>Ren</i> -	-	-	-
	Iluminação pontual	<i>Elet</i> -	-	-	-
IEE <sub>t</sub>	Equipamentos	<i>Elet</i> 35 165	87 912	35 165	87 912
		<i>Gás</i> -	-	-	-
	Equipamentos de frio	<i>Elet</i> -	-	-	-
	Equipamentos ventilação	<i>Elet</i> -	-	-	-
IEE <sub>s</sub>	Equipamentos hidráulicos	<i>Elet</i> -	-	-	-
	Elevadores, escadas e tapetes rolantes	<i>Elet</i> -	-	-	-
	AQ piscinas	<i>Gás</i> 962 426	962 246	886 729	886 729
		<i>Elet.</i> -	-	-	-
IEE <sub>s</sub>	AQS	<i>Gás</i> 275 448	275 448	253 784	253 784
		<i>Elet</i> -	-	-	-
ENERGIA TOTAL EDIFÍCIO		2 454 246	3 489 020	2 484 947	3 434 981

De forma a elucidar os resultados anteriormente obtidos, importa realçar que a Portaria nº349-D/2013 distingue os seguintes tipos de IEE:

- IEE previsto ( $IEE_{pr}$ ), que procura traduzir o consumo anual de energia do edifício tendo em consideração a localização do edifício, as características da envolvente, a eficiência dos sistemas técnicos bem como dos perfis de utilização previstos;
- IEE efetivo ( $IEE_{ef}$ ), que procura traduzir o consumo anual de energia do edifício tendo em consideração o histórico de faturas de energia, e/ou a avaliação energética realizada num período de um ano;
- IEE referência ( $IEE_{ref}$ ), que procura traduzir o consumo anual de energia do edifício, caso este fosse equipado de soluções de referência para alguns elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do edifício;
- $R_{IEE}$ : Obtém-se através da subtração entre o  $IEE_{PR}$  e o  $IEE_{REN}$ , dividindo posteriormente pelo  $IEE_{ref}$ .

### Classe energética

Obtido o  $R_{IEE}$  mediante a conjugação das variáveis mencionadas, a determinação da classe energética do edifício de comércio ou serviço deve ser feita com recurso à tabela seguinte, sendo a classe a atribuir aquela que corresponde à condição verificada numa escala de oito classes possíveis.

Tabela 22: Intervalos de valor de  $R_{IEE}$  para a determinação da classe energética em edifícios de comércio e serviços.

Classe energética	Valor de $R_{IEE}$
A <sup>+</sup>	$R_{IEE} \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R_{IEE} \leq 0.50$
B	$0.51 \leq R_{IEE} \leq 0.75$
B <sup>-</sup>	$0.76 \leq R_{IEE} \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R_{IEE} \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R_{IEE} \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R_{IEE} \leq 2.50$
F	$R_{IEE} \geq 2.51$

A classificação energética segundo a atual legislação em vigor toma os seguintes valores figurados na tabela 23.

Tabela 23: Apuramento de classe energética.

	Consumos [ $kWh_{EP}/m^2 \cdot ano$ ]				Rácio	Classe
	$IEE_s$	$IEE_t$	$IEE_{REN}$	IEE	$R_{IEE}$	
Previsto	911,85	23,57	0	935,42	1,02	C
Referência	897,37	23,57	0	920,94		

A classificação energética do edifício, enquadra-se na classe C (RIEE = 1,02).

### 3.3.2 Medidas de melhoria

Na tabela 24, lista-se um conjunto de ações implementadas no âmbito da Empreitada de Implementação de Medidas de Eficiência Energética nas Piscinas Municipais, em Viseu.

Tabela 24: Medidas visadas para eficiência energética.

Tipo	Ao nível	Descrição
Sistemas técnicos	1 Central Térmica	Modulo energético metálico para caldeira 300 kW contentorizado, com instalação do circuito primário com as ligações das caldeiras ao depósito de inércia, rede hidráulica, bomba circuladora e circuito anticondensação e demais acessórios de acordo com o esquema de principio de projeto.
	2 Solar térmico	Coletores solares térmicos seletivos planos verticais, à cota da cobertura, incluindo válvula de secionamento, purgador e acessórios de ligação, incluindo estruturas de suporte, sobrelevação e sinoblocos de fixação.
Sistemas técnicos - Aquecimento e Ventilação	3 Motores	Nas unidades de tratamento de ar e bomba de calor desumidificadora visou-se a substituição dos ventiladores de insuflação atuais por um do tipo EC (comutados eletronicamente) de eficiência IE3 e do tipo Plug-In. Aplicação de variadores de velocidade nas unidades desumidificadoras.
Sistemas e equipamentos elétricos	4 Iluminação interior	Substituição das lâmpadas instaladas por lâmpadas de tecnologia LED.
Outros	5 Cobertura do plano de água	Kit de cobertura de piscina, composto por manta térmica dupla bolha 400 microns, reforçada e preparada para piscinas interiores e enrolador manual em aço inox, equipado com rodas e manta de proteção.
	6 Sistemas de regulação e controlo	Sistema com capacidade de permitir ao utilizador controlar os parâmetros de funcionamento, como por exemplo, temperaturas de insuflação, calendarização de arranque dos equipamentos entre outros, que permitam ajustar os equipamentos às necessidades. Aliado à GTC, aplicação de um SGE para recolha e análise de toda a informação proveniente da GTC, assim como os consumos instantâneos dos diferentes grupos de consumidores, integrando toda a informação e disponibilizando-a num sistema central.

Na figura 55 figura-se um exemplar de luminária LED aplicada no âmbito de medidas de eficiência energética. No mesmo âmbito, espelha-se o fornecimento de 50 painéis fotovoltaicos na figura 56.



Figura 55: Fornecimento e instalação iluminação LED



Figura 56: Fornecimento e instalação painéis solar térmico

Na figura 57 demonstra-se o circuito de ligação ao permutador de calor, enquanto que na figura 58 pode-se comprovar a aplicação de manta isotérmica sobre o plano de água da piscina principal da piscina do caso de estudo.

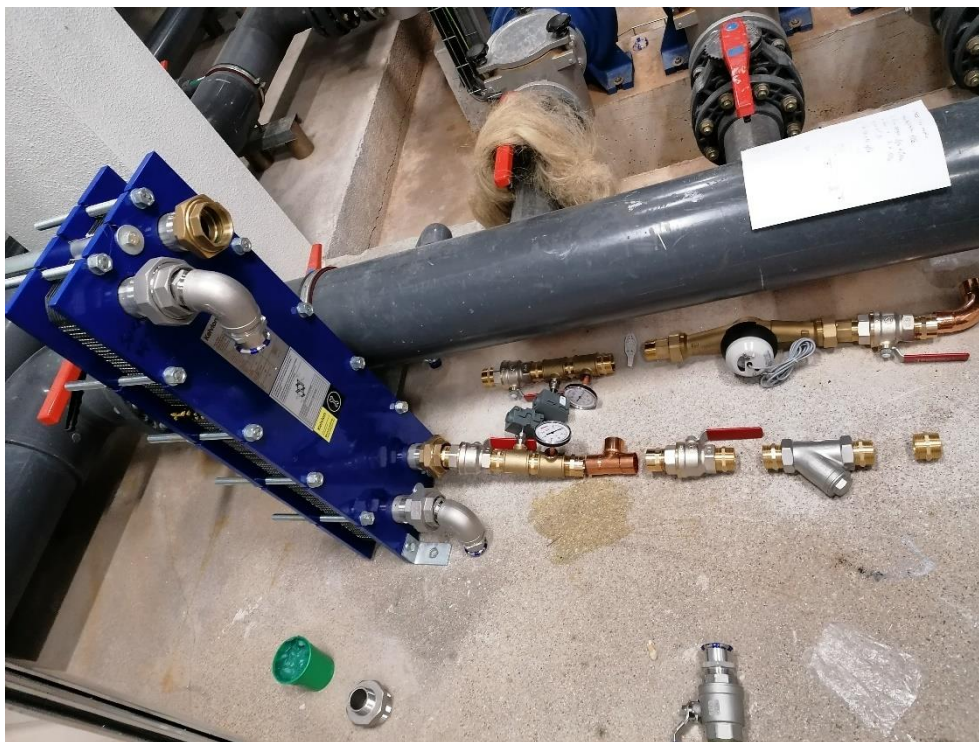


Figura 57: fornecimento e instalação de circuito de permutador de calor.

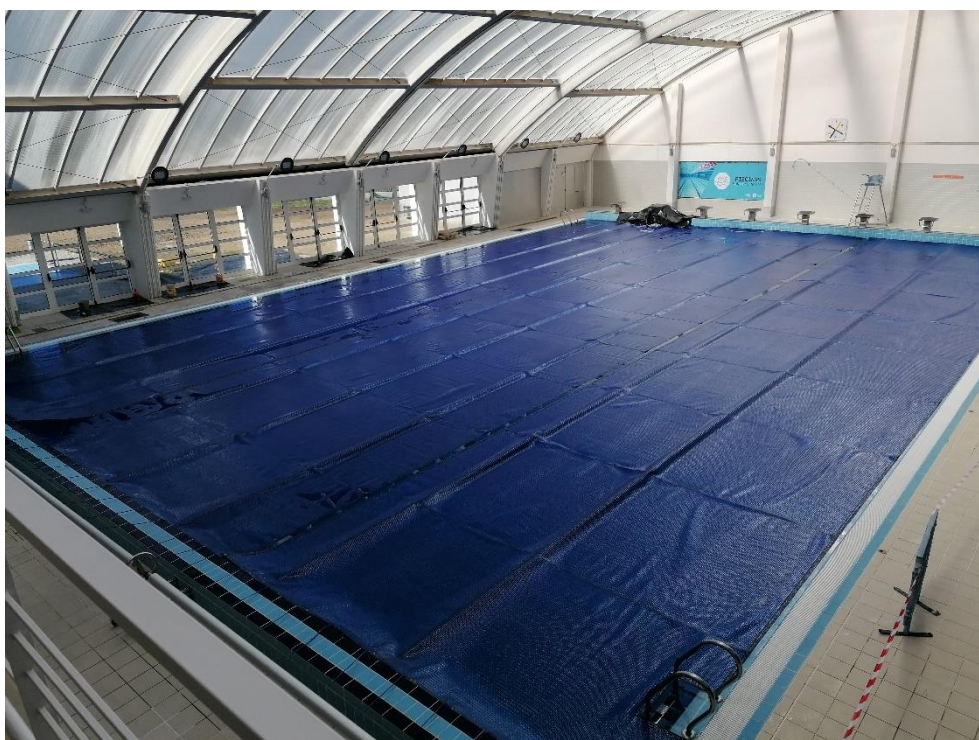


Figura 58: Fornecimento e instalação de cobertura isotérmica.

Na figura 59 observa-se o depósito solar com capacidade para 5000 litros, instalado na zona técnica do piso 0. E na figura 60 observam-se as caldeiras de biomassa.



Figura 59: Fornecimento e montagem de depósito solar 5000L para AQS.



Figura 60: Caldeiras Biomassa

ESQUEMA PRODUÇÃO TÉRMICA

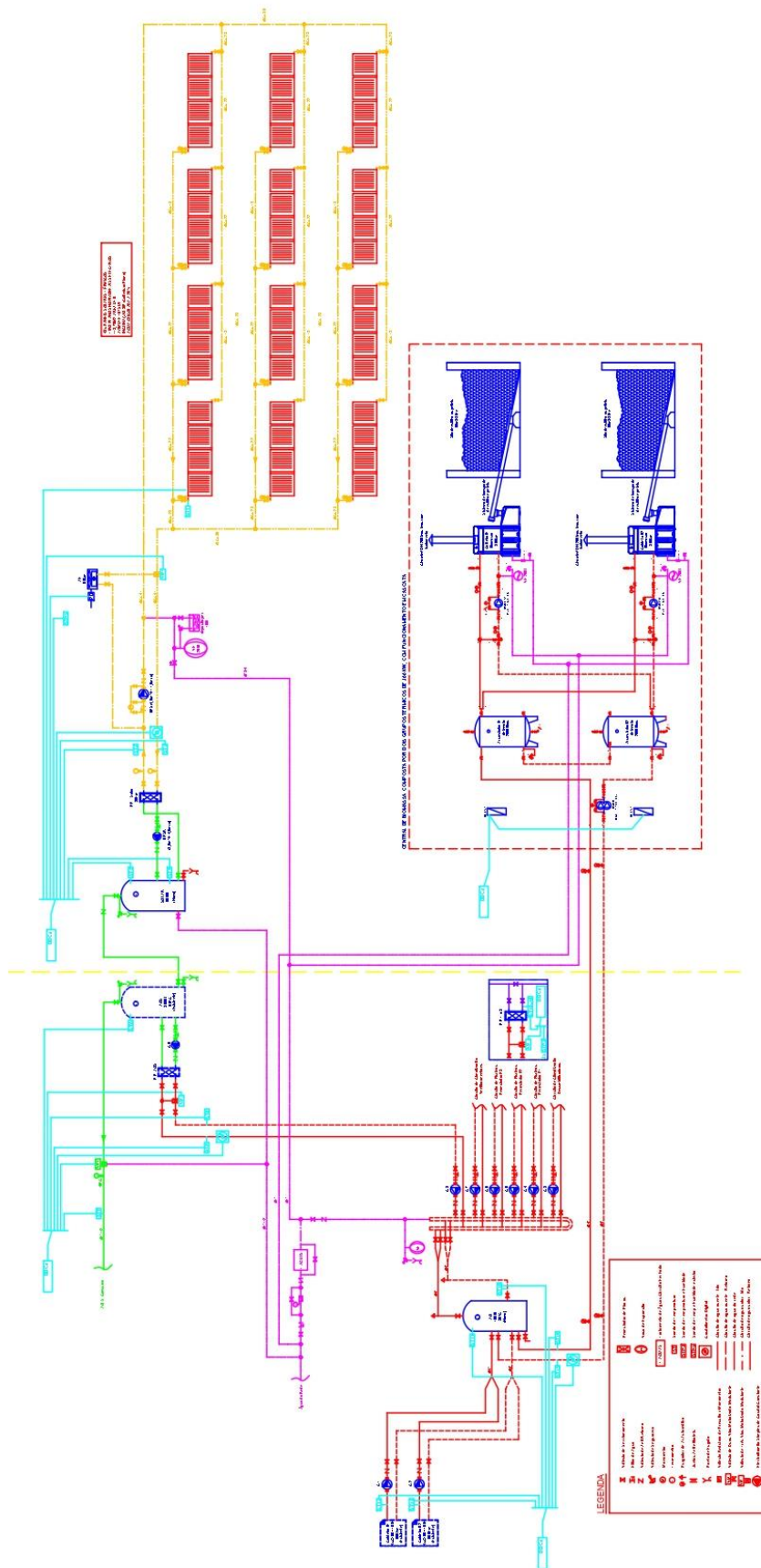


Figura 61: Esquema de produção térmica.

### 3.4 Comparação com outras metodologias possíveis de implementação

De forma a comparar com as melhores opções no mercado, contei com a experiência e cooperação da Filotipo, uma empresa que tem como objetivo principal a redução de consumos e custos de energia e água dos seus clientes. O seu ramo abrange o desenvolvimento de soluções chave na mão de eficiência energética e hídrica adaptadas às especificidades de cada infraestrutura, edifício e cliente, utilizando as mais modernas tecnologias. Nos pontos 3.4.1 e 3.4.2 são abordadas três metodologias/tecnologias alternativas à metodologia implementada no âmbito da Empreitada de Implementação de medidas de eficiência energética nas Piscinas Municipais do Fontelo, em Viseu. Nos pontos 3.4.3 e 3.4.4 são visadas metodologias de complemento às soluções adotadas e que possibilitam um aumento de eficiência energética, assim como uma diminuição na emissão de GEE e redução de custos na fatura energética.

#### 3.4.1 Cogeração

Define-se Cogeração como um processo de produção e utilização combinada de eletricidade e calor, proporcionando o aproveitamento de mais de 70% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizados nesse processo. Apresenta-se na figura o funcionamento deste tipo de tecnologia.

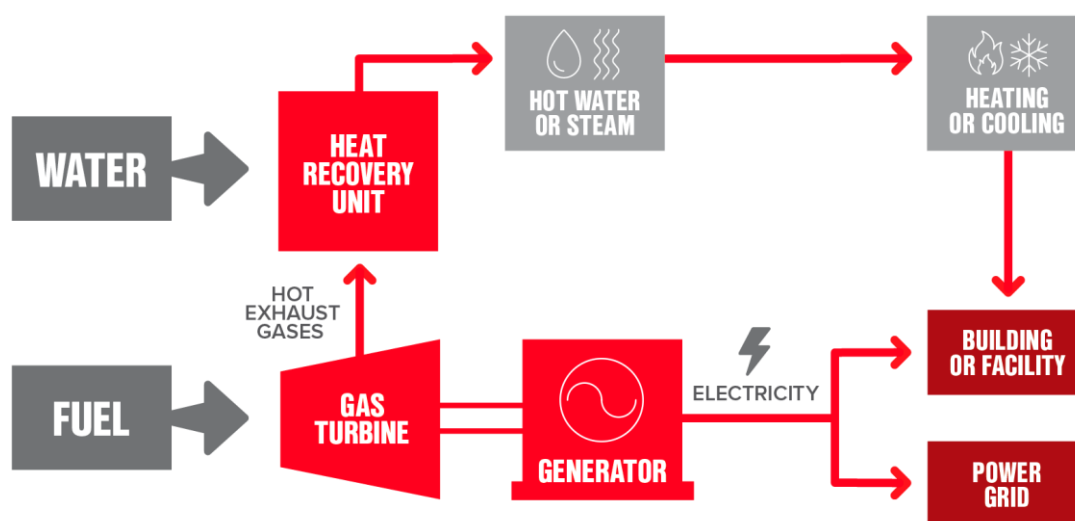


Figura 62: Funcionamento de cogeração.

Neste estudo, foram consideradas duas tecnologias: O modelo Gbox-50 e o modelo Agenitor 404, ambos do fabricante 2-G. Relativamente à Gbox-50, utiliza o gás natural ou biometano como combustível. Relativamente à Agenitor 404, funciona a gás natural, biogás e é compatível com Hidrogénio (H<sub>2</sub>). Dependendo do modelo, assim como do combustível, o sistema de cogeração terá diferentes desempenhos e consequentemente, diferentes produções energéticas.

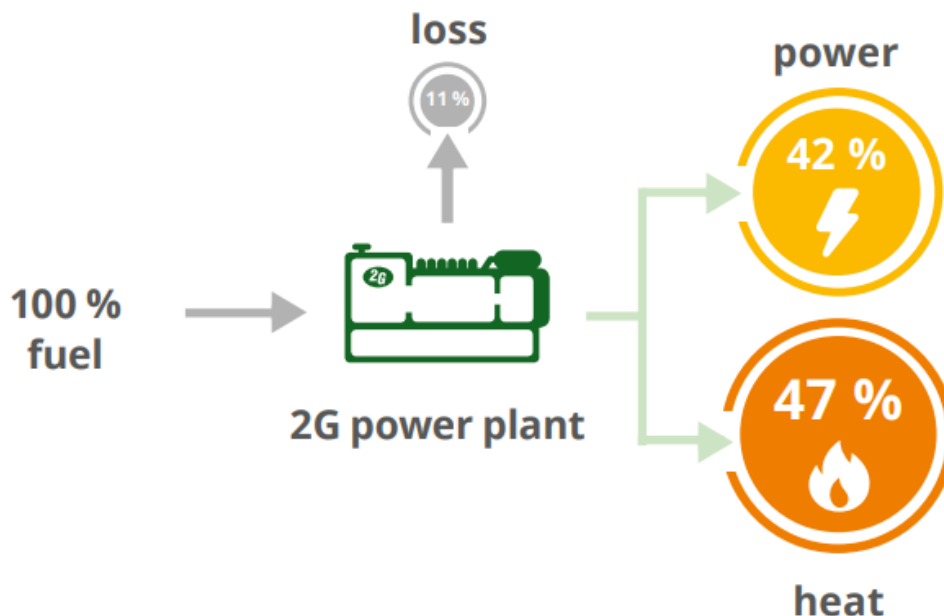


Figura 63: Rendimento energético médio de um sistema de cogeração do fabricante escolhido para o estudo.

Relativamente à GBox50 tem uma eficiência total de 103% (34,5% elétrica e 68,5% térmica), enquanto que a Agenitor 404 anuncia uma eficiência total de 81,3% (38,4% elétrica e 42,9% térmica) [52]. Apresentam-se de seguida os valores apurados para as necessidades do caso de estudo, na tabela 25 para a Gbox 50, e tabela 26 para a Agenitor 404 .

Tabela 25: Estudo sobre sistema de cogeração Gbox50.

GBox50			
Indicadores anuais	Quantidade (kWh)	Tarifa (€/kWh)	Total ano (€)
Fatura gás caldeiras	699 467	0,038 €	26 860 €
Fatura gás cogeração	1 203 384	0,038 €	46 210 €
Fatura eletricidade	222 048	0,107 €	23 759 €
			96 829 €
Manutenção preventiva			12 283 €
Custo total			109 111 €
Poupança anual			20 565 €
Investimento			90 000 €
Payback (anos)			4,4

Tabela 26: Estudo sobre sistema de cogeração Agenitor 404.

<b>Agenitor 404</b>			
Indicadores anuais	Quantidade (kWh)	Tarifa (€/kWh)	Total ano (€)
Fatura gás caldeiras	440 117	0,038 €	16 901 €
Fatura gás cogeração	1 536 380	0,038 €	58 997 €
Fatura eletricidade	46 093	0,107 €	4 932 €
			80 829 €
Manutenção preventiva			23 487 €
Custo total			104 316 €
Poupança anual			25 361 €
Investimento			150 000 €
Payback (anos)			5,9

### 3.4.2 Cogeração com apoio fotovoltaico

Uma vez que existe possibilidade de melhoria na fatura de eletricidade no caso do sistema de cogeração GBox50, foi realizado o estudo com apoio de sistema fotovoltaico, uma vez que existe espaço disponível na cobertura inclinada do complexo das Piscinas Municipais do Fontelo, com a orientação a Sul, como assim exigem as boas práticas. Neste cenário, foi considerada a instalação de 55 painéis fotovoltaicos, com as condições mencionadas nas tabelas 27 e 28.

Tabela 27: Dados sobre painéis fotovoltaicos.

<b>Painéis fotovoltaicos</b>	
Potência de Painéis a Instalar (média)	30 kW
Painel fotovoltaico	550 W
Painéis a fornecer	55 un

Tabela 28: Estudo sobre sistema de cogeração GBox 50 com apoio fotovoltaico.

<b>GBox50 com apoio fotovoltaico</b>			
Indicadores anuais	Quantidade (kWh)	Tarifa (€/kWh)	Total ano (€)

Fatura gás caldeiras	699 467	0,038 €	26 860 €
Fatura gás cogeração	1 203 384	0,038 €	46 210 €
Fatura eletricidade	222 048	0,107 €	23 759 €
Apoio fotovoltaico	- 47 250	0,107 €	- 5 055,75 €
			91 773 €
Manutenção preventiva			12 283 €
Custo total			104 056 €
Poupança anual			25 621 €
Investimento			115 000 €
Payback (anos)			4,5

### 3.4.3 Implementação de apoio fotovoltaico à metodologia implementada no âmbito da Empreitada

Uma vez que existe possibilidade de melhoria na fatura de eletricidade, foi realizado o estudo com apoio de sistema fotovoltaico. Neste cenário, foi considerada a instalação de 182 painéis fotovoltaicos, com as condições mencionadas na tabela 29.

Tabela 29: Dados sobre painéis fotovoltaicos.

<b>Painéis fotovoltaicos</b>	
Potência de Painéis a Instalar (média)	100 kW
Painel fotovoltaico	550 W
Painéis a fornecer	182
Investimento possível médio	75 000 €

Tabela 30: Estudo de apoio fotovoltaico.

<b>Dados Central PV</b>	
Potência central fotovoltaica [kWh]	100,2
Energia total anual [kWh/ano]	791 579
Energia total anual consumida (media anual) [kWh/ano]	170 227

<b>Cenário de funcionamento</b>	
Energia autoconsumida [kWh/ano]	154 911
<b>Poupanças</b>	
Tarifa média [€/kWh]	0,107
Poupança no primeiro ano [€]	16 575,5
Poupança média anual a 10 anos [€]	17 939,5
<b>Investimento</b>	
Investimento	75 000
Payback	4,18

Caso esta metodologia seja aplicada, figuram-se os benefícios na tabela 31.

Tabela 31: Benefícios resultantes de implementação de apoio fotovoltaico, entre área total (AT) e área de superfície da piscina (AS).

Indicadores anuais	Antes da implementação de medidas		Implementação de apoio fotovoltaico		Boas Práticas[31]
	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]
Gás natural /AT	-	-	-	-	264
Eletricidade/ AT	264,95	28,35	213,10	22,80	96
Gás natural/AS	-	-	-	-	-
Eletricidade/AS	935,95	100,15	752,79	80,55	-
Energia total/AT	264,95	28,35	213,10	22,80	360
Energia total/AS	935,95	100,15	752,79	80,55	-

Caso seja implementado esta metodologia, é possível poupar no primeiro ano 16 575,5€, e em média 17 939,5€ nos primeiros 10 anos, alcançando o retorno financeiro em 4,18 anos.

#### 3.4.4 Adesão a plano de *eletricidade verde*

A *energia verde* é uma energia produzida através de fontes renováveis que não gera substâncias contaminadoras nem emissões GEE.

A escolha da *eletricidade verde* não implica complicações nem aumentos de preços ou custos adicionais nas faturas de energia. Na verdade, a *energia verde* gerada a partir de fontes renováveis entra na rede de distribuição e chega às casas dos consumidores finais com a mesma qualidade e potência que as outras energias não renováveis. Além disso, por ser gerada a partir de recursos com origem na própria natureza, os custos de exploração são moderados, o que não acontece com as fontes de energia não renováveis, cujo preço final está muito dependente de fatores como os preços definidos pelos países produtores. O facto de a energia verde ser ilimitada também afeta o preço final.

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

- 4.1 Ganhos obtidos pela implementação de medidas de eficiência energética
- 4.2 Comparação com outras metodologias possíveis de implementação
- 4.3 Impacto de medidas delineadas no estudo
- 4.4 Validação contra objetivos
- 4.4 Recursos utilizados na elaboração desta dissertação



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ganhos obtidos pela implementação de medidas de eficiência energética

Apresenta-se de seguida na tabela 32 desagregação dos consumos previstos após implementação das medidas implementadas no capítulo 3.3.2.

Tabela 32: Desagregação de consumos.

Consumo energia final [kWh/ano]		
Aquecimento de ambiente	<i>Elet.</i>	34 261
Arrefecimento de ambiente	<i>Elet</i>	136 252
Ventilação	<i>Elet</i>	121 568
Bombagem	<i>Elet</i>	303 602
Iluminação interior	<i>Elet</i>	25 274
Iluminação exterior	<i>Elet</i>	4 343
SolarTérmico AQS	<i>Ren</i>	115 079
Equipamentos	<i>Elet</i>	35 165
Caldeiras Biomassa	<i>Ren</i>	1 005 572

Aferidos os consumos, é possível proceder ao novo cálculo da classe energética do edifício, como figurado na tabela 33.

Tabela 33: Classe energética.

	Previsto	Ref	Simultaneidade de aplicação de medidas
IEES	911,85	897,37	723,00
IEET	23,57	83,95	23,57
IEE REN	0	-	303,88
IEE	935,42	920,94	503,05
RIEE	1,02	-	0,47
Classe energética	C	-	A

### **Custos de implementação**

Na tabela 34 figuram vários indicadores financeiros sobre a implementação de medidas de eficiência energética preconizadas na Empreitada de Implementação de medidas de eficiência energética nas Piscinas Municipais do Fontelo, em Viseu. Os valores apurados tiveram em consideração um custo médio anual de 0,107 €/kWh elétrico e 0,038 €/kWh térmico (preços s/ IVA).

Tabela 34: Custos e períodos de retorno resultantes das medidas de melhoria.

<b>Medida de melhoria</b>	<b>Consumo energia primária</b>		<b>Fatura energética prevista</b>		<b>Investimento</b>	<b>Payback</b>
	[kWh <sub>EP</sub> ]	Δ[%]	[€]	Δ[%]		
Caso base	3283589	-	133130	-	-	-
1 – Caldeira Biomassa	1629703	-50,4	111430	-16,3	230 000	10,60
2 – Solar térmico	3168510	-3,5	128711	-3,3	62 471	14,14
3 – Motores elétricos	3261869,6	-0,7	132155	-0,7	3 628	3,72
4- Iluminação	3,9242929	-1,2	131370	-1,3	52 725	29,96
5 – Cobertura isotérmica	2593961,2	-21,0	106426	-20,1	15 688	0,59
6 - GTC	3119409,5	-5,0	126474	-5,0	25 000	3,76
Simultaneidade	1424366,8	-56,6	84699	-36,4	389 512	8,04

Uma vez que se optou pela sua implementação simultânea, o custo de investimento estimado situou-se nos 389.512 € e que se traduziria numa poupança total da fatura energética de 26.704 €/ano. A aplicação deste conjunto de medidas permitiria que o edifício obtivesse uma classe de Eficiência Energética com classificação A (RIEE = 0,47).

Para obter bases de comparações com estudos referentes a complexos desportivos com piscinas interiores, apresenta-se na Tabela 35 indicadores energéticos e económicos referentes à energia consumida no complexo desportivo, antes e depois da implementação de medidas de eficiência energética. De forma a apresentar consistência na comparação de resultados, foi considerado o custo médio anual de 0,107 €/Kwh elétrico, 0,038 €/Kwh térmico (preços sem IVA). Quantificando as emissões de CO<sub>2</sub>, e relativamente ao gás natural, assume-se o valor de 396 gCO<sub>2</sub> eq/kWh, determinado a partir de um estudo sobre o regime ISP no setor do gás natural, da autoria da Entidade reguladora dos serviços energéticos (ERSE) [47]. Relativamente ao consumo de eletricidade, e realizando uma consulta ao boletim de setembro de 2021, da APREN, determina-se o valor de 127 gCO<sub>2</sub> eq/kWh, relativo às emissões específicas acumuladas de CO<sub>2</sub>, no período entre janeiro e setembro de 2021 [48].

Tabela 35: Indicadores energéticos e económicos referentes à energia consumida no caso de estudo entre área total (AT) e área de superfície da piscina (AS)..

Indicadores anuais	Antes da implementação de medidas		Após a implementação de medidas		Boas Práticas[31]
	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]
Gás natural /AT	590,55	22,44	-	-	264
Eletricidade/ AT	230,90	24,71	264,95	28,35	96
Gás natural/AS	2086,19	79,28	-	-	-
Eletricidade/AS	815,66	87	935,95	100,15	-
Energia total/AT	821,45	47,15	264,95	28,35	360
Energia total/AS	2901,86	166,65	935,95	100,15	-
CO <sub>2</sub> gás natural [Ton.área total]	698,70		0		146,71
CO <sub>2</sub> eletricidade [Ton.área total]	87,61		100,53		36,43
CO <sub>2</sub> total [Ton.área total]	786,31		100,53		183,14

Analisando a tabela anterior, verifica-se que a implementação das medidas de eficiência energética e a descontinuação do consumo de gás natural representam um impacto significativo nos consumos totais do complexo. Relativamente ao custo por área de superfície de piscina, é possível verificar uma redução em 66,5 €/m<sup>2</sup>, enquanto que relativamente ao custo por área total do complexo verifica-se uma redução de 18,8 €/m<sup>2</sup>.

Relativamente a consumos, verifica-se uma redução de 556,5 KWh/m<sup>2</sup> relativamente à área total do complexo, enquanto que relativamente à área de superfície é possível constatar uma redução de 1965,91 KWh/m<sup>2</sup>. Outro indicador bastante positivo é a redução de emissões de CO<sub>2</sub> em 685,78 ton/ano. Relativamente aos indicadores definidos de boas-práticas, o Complexo das Piscinas Municipais do Fontelo passou de valores quatro vezes superiores aos de referência para cerca de 45% inferior a estes, como é possível observar na tabela 35.

Relativamente aos indicadores energéticos referentes aos utentes, o valor representa somente uma utilização, sendo que o mesmo utente pode ter várias utilizações mediante plano escolhido. Desta análise, é possível obter informações importantes relativamente ao preçário estipulado por cada entrada. Para o presente cálculo figurado na tabela 36, foi indicado o número médio de entradas diárias de 310 utentes.

Tabela 36: Indicadores diários por utente.

Indicadores diários	Antes da implementação de medidas		Após implementação de medidas	
	Consumo específico [kWh/Utente]	Custo específico [€/Utente]	Consumo específico [kWh/Utente]	Custo específico [€/Utente]
Gás Natural /Utente	15,59	0,59	0	0
Eletricidade/Utente	6,10	0,65	7,00	0,75
Energia Total/Utente	21,70	1,25	7,00	0,75
CO <sub>2</sub> /Utente [g]	19,04		2,43	

Pese embora o preço de uma entrada pontual, para adulto, seja superior ao indicador obtido, 3 € por entrada, há que considerar ao valor obtido no indicador tem que se considerar custos inerentes a custos de água, gastos com funcionários, produtos consumíveis e outros serviços indispensáveis ao funcionamento correto das instalações. Relativamente a emissões poluentes, a implementação destas medidas permitiu reduzir 7,8 vezes menos as emissões de CO<sub>2</sub> imputadas a cada utente, em cada entrada nas Piscinas Municipais do Fontelo, o que representa um enorme contributo para o meio ambiente.

Como mencionado no ponto 2.17 do presente estudo, e de forma a apurar o nível de consumo do complexo em estudo, apresentam-se os dados obtidos dos seguintes complexos que servem de comparação com o caso de estudo:

- Complexo 1: Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição [49];
- Complexo 2: Centro Olímpico Piscinas Municipais Coimbra [50];
- Complexo 3: Complexo de Piscinas Rui Abreu [51];
- Complexo 4: Piscina Municipal de Celas [50];
- Complexo 5: Piscina Municipal do Fontelo.

Tabela 37: Comparação de consumos e custos por área total (AT) e área de superfície de piscina (AS), e emissões CO<sub>2</sub>.

Indicadores anuais/ m <sup>2</sup>	1		2		3		4		5	
	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]
GN/AT	496,32	18,86	329	12,50	308,7	11,73	340,2	12,93	-	-
E./AT	243,82	26,09	122	13,05	158,3	16,94	99,3	10,63	264,95	28,35
GN/AS	1861,55	70,74	1876	71,29	1415,1	53,77	2242,2	85,20	-	-
E/AS	914,51	98	693	74	725,9	78	654,1	70	935,95	100,15
E.T./AT	740,14	44,95	451	25,56	467	28,67	439,5	23,55	264,95	28,35
E.T./AS	2776,06	168,59	2569	145,44	2141	131,45	2896,4	155,19	935,95	100,15
CO <sub>2</sub> GN [ton CO <sub>2</sub> /kWh]	0,197		0,130		0,122		0,135		0	
CO <sub>2</sub> E [ton CO <sub>2</sub> /kWh]	0,030		0,016		0,020		0,013		0,034	
Emissões Totais CO <sub>2</sub> [ton CO <sub>2</sub> /kWh]	0,228		0,146		0,142		0,147		0,034	

Da análise da Tabela 37 podemos concluir que o caso de estudo tem os consumos totais mais baixos por área total (264,95KWh/m<sup>2</sup>) e por área de superfície de piscina (935,95 KWh/m<sup>2</sup>). Quando comparados os custos específicos, o caso de estudo apresenta o terceiro custo mais elevado por área total (28,35 €/m<sup>2</sup>). No entanto, por área de superfície de piscina apresenta o custo mais baixo (100,15 €/m<sup>2</sup>). Isto deve-se ao facto de existirem três tanques no complexo do caso de estudo, o que representa uma área de plano de água superior às restantes piscinas (845,75 m<sup>2</sup>).

No que concerne às emissões totais de CO<sub>2</sub>, o caso de estudo apresenta o melhor desempenho, emitindo anualmente cerca de 76 % menos do que o Complexo de Piscinas Rui Abreu, que apresenta o segundo melhor indicador relativamente a emissões de poluentes atmosféricos.

## 4.2 Comparação com outras metodologias possíveis de implementação

Na continuação do ponto 3.4, apresentam-se os estudos com o balanço financeiro e impacto das emissões de CO<sub>2</sub>.

### 4.2.1 Cogeração

Tabela 38: Estudo sobre sistema de cogeração Gbox50.

GBox50			
Indicadores anuais	Quantidade (kWh)	Tarifa (€/kWh)	Total ano (€)
Fatura gás caldeiras	699 467	0,038 €	26 860 €
Fatura gás cogeração	1 203 384	0,038 €	46 210 €
Fatura eletricidade	222 048	0,107 €	23 759 €
			96 829 €
Manutenção preventiva			12 283 €
Custo total			109 111 €
Poupança anual			20 565 €
Investimento			90 000 €
Payback (anos)			4,4
Total CO <sub>2</sub> [ton CO <sub>2</sub> /kWh]		781, 73	
Emissões CO <sub>2</sub> [ton CO <sub>2</sub> /kWh.m <sup>2</sup> ]		0,262	

De realçar que ambos os modelos GBox50 e Agenitor 404 são compatíveis com hidrogénio (H<sub>2</sub>), que pode substituir o gás natural como combustível. Esta alternativa permite reduzir consideravelmente as emissões poluentes quando comparado com o gás natural, uma vez que o *hidrogénio verde* é uma fonte de energia limpa, libertando água (H<sub>2</sub>O), na forma de vapor. Outro fator importante baseia-se no potencial energético deste elemento, sendo que 1 kg de hidrogénio equivale à de 3,8 litros de gasolina [53]. No entanto o transporte de hidrogénio pressurizado, a 700 bar e a uma temperatura muito baixa, está longe de ser um exercício interessante e acessível. Uma opção que pode ser ponderada é a mistura de hidrogénio na rede de distribuição de gás natural. Uma vez já largamente implementada em Portugal, e maioria dos países, evitaria custos elevados associados ao desenvolvimento de uma nova infraestrutura de transmissão e distribuição para o hidrogénio. Somado a esta solução, mesmo se a mistura fosse realizada em baixos níveis, embora possa resultar num aumento residual

de custo na entrega de gás natural aos consumidores, também resultaria numa redução significativa nas emissões de CO<sub>2</sub> [44].

Tabela 39: Estudo sobre sistema de cogeração Agenitor 404.

<b>Agenitor 404</b>			
Indicadores anuais	Quantidade (kWh)	Tarifa (€/kWh)	Total ano (€)
Fatura gás caldeiras	440 117	0,038 €	16 901 €
Fatura gás cogeração	1 536 380	0,038 €	58 997 €
Fatura eletricidade	46 093	0,107 €	4 932 €
			80 829 €
Manutenção preventiva			23 487 €
Custo total			104 316 €
Poupança anual			25 361 €
Investimento			150 000 €
Payback (anos)			5,9
Total CO <sub>2</sub> [ton CO <sub>2</sub> /kWh]		788,55	
Emissões CO <sub>2</sub> [ton CO <sub>2</sub> /kWh.m <sup>2</sup> ]		0,264	

#### 4.2.2 Cogeração com apoio fotovoltaico

Apresenta-se na tabela 40 estudo de sistema GBox50 com apoio fotovoltaico.

Tabela 40: Estudo sobre sistema de cogeração GBox 50 com apoio fotovoltaico.

<b>GBox50 com apoio fotovoltaico</b>			
Indicadores anuais	Quantidade (kWh)	Tarifa (€/kWh)	Total ano (€)
Fatura gás caldeiras	699 467	0,038 €	26 860 €
Fatura gás cogeração	1 203 384	0,038 €	46 210 €
Fatura eletricidade	222 048	0,107 €	23 759 €
Apoio fotovoltaico	- 47 250	0,107 €	- 5 055,75 €
			91 773 €
Manutenção preventiva			12 283 €
Custo total			104 056 €
Poupança anual			25 621 €
Investimento			115 000 €
Payback (anos)			4,5
Total CO <sub>2</sub> [ton CO <sub>2</sub> /kWh]		775, 73	
Emissões CO <sub>2</sub> [ton CO <sub>2</sub> /kWh.m <sup>2</sup> ]		0,260	

### 4.2.3 Implementação de apoio fotovoltaico com a metodologia implementada no âmbito da Empreitada

Caso esta metodologia seja aplicada, figuram-se os benefícios na tabela 41 e tabela 42.

Tabela 41: Benefícios resultantes de implementação de apoio fotovoltaico.

Indicadores anuais	Antes da implementação de medidas		Implementação de apoio fotovoltaico		Boas Práticas[31]
	Cons. Esp. [KWh/m2]	Cust. Esp. [€/m2]	Cons. Esp. [KWh/m2]	Cust. Esp. [€/m2]	Cons. Esp. [KWh/m2]
Gás natural /AT	-	-	-	-	264
Eletricidade/ AT	264,95	28,35	213,10	22,80	96
Gás natural/AS	-	-	-	-	-
Eletricidade/AS	935,95	100,15	752,79	80,55	-
Energia total/AT	264,95	28,35	213,10	22,80	360
Energia total/AS	935,95	100,15	752,79	80,55	-
CO <sub>2</sub> gás natural [Ton.área total]	0		0		146,71
CO <sub>2</sub> eletricidade [Ton.área total]	100,53		80,86		36,43
CO <sub>2</sub> total [Ton.área total]	100,53		80,86		183,14

Tabela 42: indicadores diários por utente.

Indicadores diários	Antes da implementação de apoio fotovoltaico		Após implementação de apoio fotovoltaico	
	Consumo específico [kWh/Utente]	Custo específico [€/Utente]	Consumo específico [kWh/Utente]	Custo específico [€/Utente]
Gás Natural /Utente	0	0		
Eletricidade/Utente	7,00	0,75	5,63	0,602
Energia Total/Utente	7,00	0,75	5,63	0,62
CO <sub>2</sub> /Utente [g]	2,43		1,95	

Esta metodologia permitirá uma redução adicional de 19,67 toneladas anuais totais de CO<sub>2</sub>. Relativamente aos indicadores imputados aos utentes, como mencionado anteriormente, permitirá uma redução do custo específico de 0,13€ em cada entrada de utente, e uma redução de 0,48 gramas de CO<sub>2</sub> imputada a cada utente cada vez que usufrui das piscinas do caso de estudo.

#### 4.2.4 Adesão a plano de *eletricidade verde*

No sentido de apurar valores reais, de forma a comparar o valor pago pelo kWh entre o plano de eletricidade em vigor e o plano de *eletricidade verde*, foram contactadas comercializadoras de energia, nomeadamente, EDP, Goldenergy, Iberdrola e Endesa. Em todos os contactos, não forneceram valores para a potência do quadro elétrico instalado no edifício (116,25 kVA), uma vez que o valor tinha de ser ajustado entre o requerente e um gestor comercial.

No entanto, é possível obter comparação para potências comuns em quadros elétricos de habitações. No simulador da ERSE é possível constatar que os tarifários com eletricidade de fonte renovável são hoje dos mais baratos do mercado. A título de exemplo, para uma potência contratada de 13,8 kVA, opção bi-Horária, com período de consumo a 12 meses, fora de vazio de 6540 kWh e em vazio de 4360 kWh, os dois planos mais baratos anunciam que a eletricidade é obtida de fontes 100% renováveis. Apresenta-se comprovativo de simulação no anexo V.

De realçar que após simulação das mesmas condições, mas mudando a potência contratada, na maioria das simulações os três planos de eletricidade mais baratos anunciam energia produzida de fontes 100% renováveis, nomeadamente:

- Eletricidade NOS (DD+FE) - Novos Clientes Oferta Energia Solar (Bairro Solar), da EDP;
- Monoelétrico ACP 2021, da Goldenergy;
- Galp & Continente *Eletricidade Verde* (FE+DD), da GALP.

Consultando outro simulador da ERSE, de rotulagem de energia — para o mesmo consumidor-tipo, a mesma comercializadora e a mesma oferta — apresentam-se de seguida os mix energéticos de cada plano de eletricidade.



Figura 64: Galp & Continente Eletricidade Verde (FE+DD), da GALP.



Figura 65: Simulação para plano de eletricidade NOS (DD+FE) - Novos Clientes Oferta Energia Solar (Bairro Solar), da EDP.



Figura 66: Monoelétrico ACP 2021, da Goldenergy.

Face ao exposto anteriormente, e expondo o facto que o Município de Viseu tem condições para negociar junto das comercializadoras de energia o valor pago por kWh consumido, considera-se que a adesão a um plano de *eletricidade verde* apresenta-se como uma estratégia considerável tanto na redução da fatura energética anual, mas sobretudo na redução das emissões de GEE imputadas ao consumo de energia elétrica do edifício do caso de estudo. Ora, considerando que o Município de Viseu optava por um plano de *energia verde*, cujas emissões CO<sub>2</sub> são residuais ou nulas, apresenta-se na tabela 43 as emissões de CO<sub>2</sub> do caso de estudo.

Tabela 43: Impacto nas emissões CO<sub>2</sub> derivado da adesão a um plano de *energia verde*.

Indicadores anuais	Após implementação de medidas		Após a implementação de medidas+ Plano <i>energia verde</i>	
	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]	Cons. Esp. [KWh/m <sup>2</sup> ]	Cust. Esp. [€/m <sup>2</sup> ]
Gás natural /AT	-	-	-	-
Eletricidade/ AT	264,95	28,35	264,95	-
Gás natural/AS	-	-	-	-
Eletricidade/AS	935,95	100,15	935,95	-
Energia total/AT	264,95	28,35	264,95	-
Energia total/AS	935,95	100,15	935,95	-
CO <sub>2</sub> gás natural [Ton.área total]	0		0	
CO <sub>2</sub> eletricidade [Ton.área total]	100.53		≅ 0	
CO <sub>2</sub> total [Ton.área total]	100.53		≅ 0	

### 4.3 Impacto de medidas delineadas no estudo

Com os dados obtidos e analisados da fase de Implementação de medidas de eficiência energética no caso de estudo, na fase de comparação com outras metodologias possíveis de implementação e na fase de implementação de metodologias complementares à fase primeira fase, apresentam-se os dados obtidos na tabela 44.

Tabela 44: Valores comparativos entre fase de implementação de medidas, fase de medidas alternativas e fase de medidas complementares.

	Fase de implementação		Medidas alternativas			Medidas complementares
	Antes	Após	GBox50	Agenitor404	GBOX50+FV	FV
Investimento [€]	-	389 512	109 111	150 000	115 000	75 000
Fatura energética anual [€]	111 403	84 699	96 829	80 829	91 773	66 759,5
Poupança [€]	-	26 704	20 704	25 361	25 621	17 939,5
Payback [anos]	-	8,04	4,4	5,9	4,5	4,18
CO <sub>2</sub> [Ton]	786,31	100,53	781,73	788,55	777,73	80,86

Na figura 67 figura-se o impacto da fatura energética entre a metodologia na fase de implementação de medidas de eficiência energética, a fase de medidas alternativas e a fase de medidas complementares delineadas para o caso de estudo.

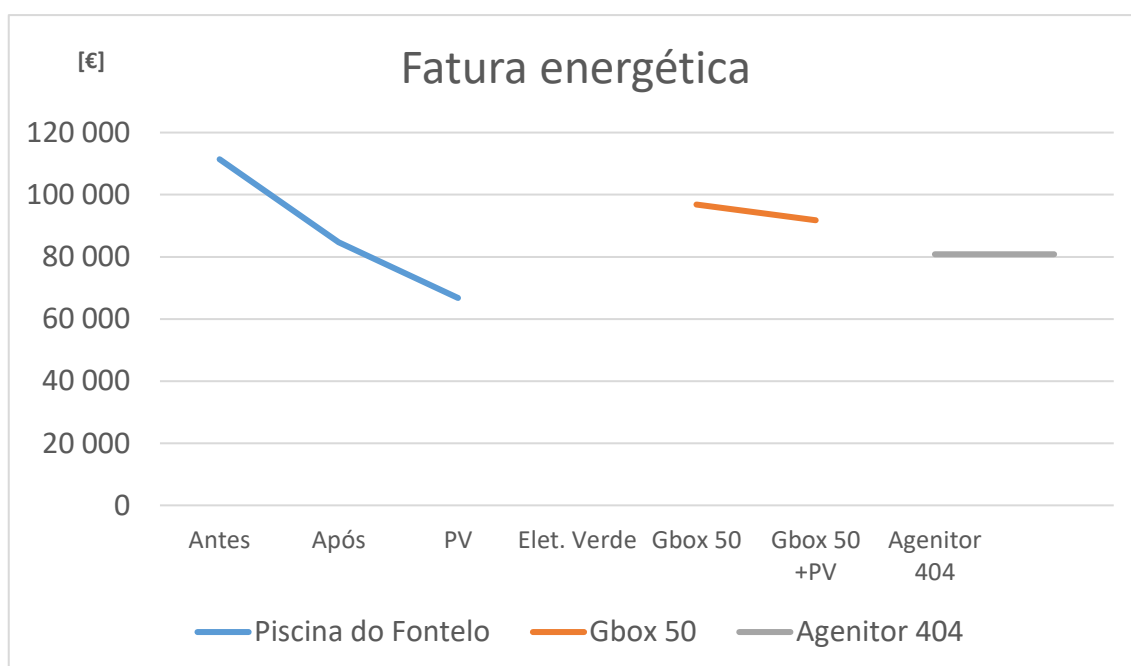


Figura 67: Análise da fatura energética entre fases delineadas para o caso de estudo.

Relativamente à figura 68, é possível observar os valores comparativos entre a metodologia na fase de implementação de medidas de eficiência energética, a fase de medidas alternativas e a fase de medidas complementares delineadas para o caso de estudo.

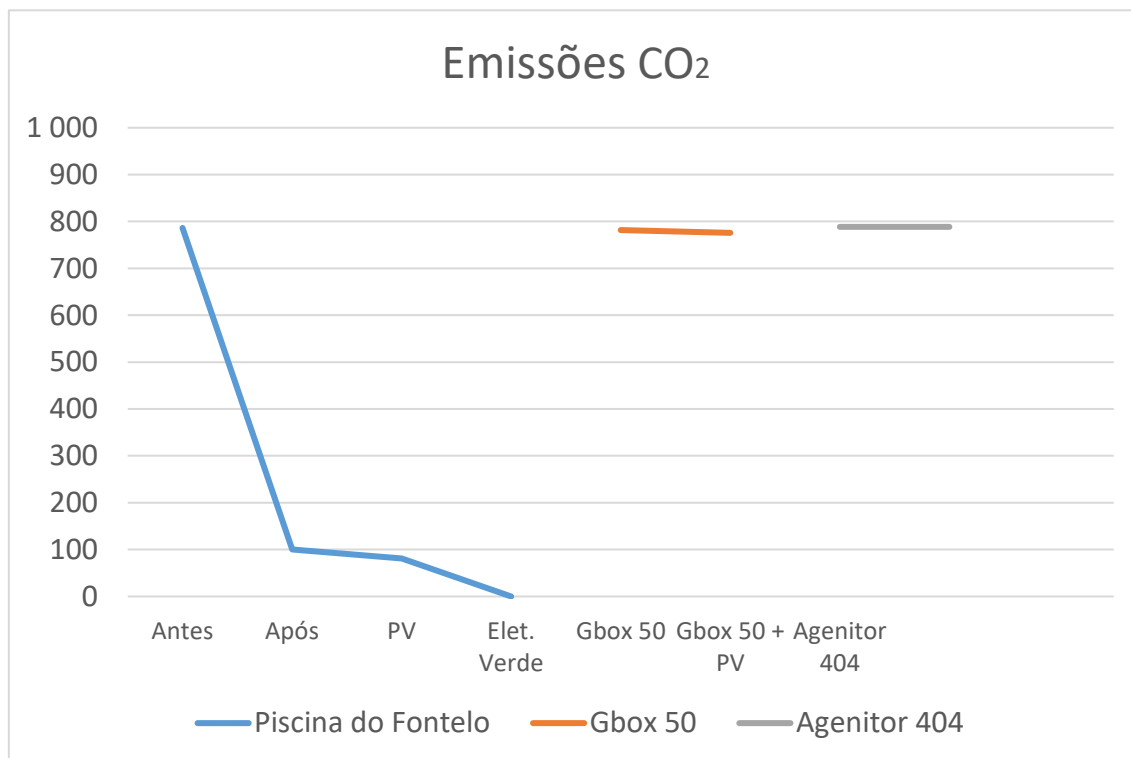


Figura 68: Emissões CO2 entre fases delineadas para o caso de estudo.

#### 4.4 Validação contra objetivos

A validação de resultados é um indicador importante na análise dos objetivos atingidos, propostos aquando início do estudo. Na presente dissertação, que teve como âmbito um estágio, que posteriormente se transformou como projeto-estágio ao efetuar não só o estudo da implementação de medidas de eficiência energética, mas também projeto de possíveis alternativas e possíveis melhorias a implementar, e realizando um balanço sobre os objetivos atingidos, é possível verificar que foram alcançadas conclusões sobre todos os objetivos lavrados no ponto 1.2 deste estudo. Derivado da pesquisa, contactos e comunicações estabelecidas, várias entidades externas revelaram interesse nos indicadores e resultados obtidos, pelo que manifestaram o seu interesse elaborando declarações de validação, juntas em anexo no presente estudo. No próximo ponto serão abordados os contextos destas validações por entidades externas.

Também é digno de registo que os indicadores, balanços efetuados e conclusões constam de um artigo que se encontra em elaboração, sendo que será efetuada submissão em *abstract* para as conferências ICEER 2022 (*International Conference on*

---

*Energy and Environment Research*) e ICEE 2022 (*International Conference on Energy & Environment*).

#### 4.5 Recursos utilizados na elaboração desta dissertação

Na elaboração desta dissertação foram utilizados os seguintes softwares: Para apuramento de perdas pela envolvente, na auditoria energética da autoria do perito qualificado, o programa TRACE 700 v6.3.0. Para apuramento de emissões CO<sub>2</sub> nos planos de eletricidade, assim como custos, simulador de preços da ERSE e simulador de rotulagem energética da ERSE. Para os restantes cálculos e processos, Microsoft Project para controlo de prazos e custos, Excel para realização de cálculos, tabelas e gráficos, Word para composição da presente dissertação.

Com o intuito de aprofundar conhecimentos, realizei o curso *Projetista de AVAC*, da AS Formação, reconhecido pela ordem dos Engenheiros. Neste curso tive o gosto de conhecer o Eng<sup>o</sup> João Encarnação, onde tivemos a possibilidade de debater pontos críticos de análise ao desempenho energético do caso de estudo, analisar possíveis melhorias e estabelecer estratégias que possam ser implementadas no futuro.

Em busca de alternativas à metodologia implementada no caso de estudo, de forma a realizar uma comparação do desempenho energético, foi-me indicado a Empresa *Filotipo*, cuja representação esteve a cargo do Arq<sup>o</sup> Miguel Pinto. Com a experiência, disponibilidade e profissionalismo deste técnico foi possível apurar as melhores tecnologias no mercado de forma a realizar uma comparação rigorosa e científica não só na primeira fase de projeto que serviu de comparação a tecnologias alternativas, mas como na segunda fase de projeto que teve como intuito analisar possíveis melhorias ao desempenho energético da metodologia implementada no caso de estudo.

Em consulta ao mercado para apurar as metodologias mais comuns em intervenções de eficiência energética, contactei com o Eng<sup>o</sup> Celestino Pereira, Perito Qualificado para Certificação Energética, PQ1 00594, da Empresa Celestino Martins Pereira Unipessoal Lda. Este colega não só me suscitou dúvidas, como auxiliou no desenvolvimento teórico desta dissertação. Apresento declaração de demonstração de interesse nos resultados obtidos no anexo I.

Com o intuito de aprofundar técnicas de engenharia e compatibilização de metodologias, consultei o Eng<sup>o</sup> Rui Borges, Perito da lista oficial do Ministério da Justiça, da empresa Barros Borges. Graças ao colega Eng<sup>o</sup> Rui Borges solidifiquei conceitos fundamentais da Engenharia, como identifiquei possíveis obstáculos em algumas metodologias ponderadas de aplicação no caso de estudo. Apresento declaração de demonstração de interesse nos resultados obtidos no anexo II.

Por casualidade e questionando novidades a nível profissional, tive a oportunidade de apresentar alguns resultados obtidos deste estudo com o Sr. Miguel Ângelo Ferreira, diretor técnico do Complexo Desportivo Municipal de Arouca, onde se situam as Piscinas Municipais de Arouca. Derivado de exercer cargo administrativo neste tipo de edifícios,

demonstrou interesse nos resultados obtidos nesta dissertação e nos benefícios que estes dados possam significar em estudos vindouros. Apresento declaração de demonstração de interesse nos resultados obtidos no anexo II.

Após acompanhamento da Empreitada, que visou a implementação de medidas de eficiência energética, cálculos comparativos e conclusões sobre o caso de estudo, foram apresentados os dados finais ao Eng<sup>o</sup> Pedro Castel Branco, Diretor da Prospectiva - Projetos, Serviços e Estudos, SA, que demonstrou bastante interesse não só na metodologia utilizada para apuramento de dados, mas também na padronização de indicadores utilizados para suporte das conclusões do presente estudo. Apresento declaração de demonstração de interesse nos resultados obtidos no anexo IV.

No sentido de quantificar o número de piscinas municipais de Portugal, foi contactada a Associação Portuguesa de Profissionais de Piscinas (APP). Após troca de informações, a APP informou que de momento, não existe nenhum levantamento nacional sobre o número de edifícios munidos de piscinas interiores aquecidas. No entanto, que é um objetivo a médio prazo efetuar esse levantamento. Após uma breve apresentação, foi endereçado um convite para apresentação deste estudo, sendo que existe a possibilidade de perspetivar futuramente o desenvolvimento de um estudo que através da realização de um levantamento nacional sobre a quantidade de piscinas interiores aquecidas em edifícios (complexos municipais, escolas, hotéis , etc...) e o impacto que as metodologias, balanços e indicadores refletiriam não só na redução da fatura energética nestas entidades, mas também na redução da pegada de carbono destes edifícios e, numa visão mais ampla, a percentagem que significaria na redução de GEE a nível nacional.



# CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- 5.1 Conclusões
- 5.2 Sugestões de trabalhos futuros



---

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 Conclusões

Ao longo dos últimos anos, e mais recentemente, muitos municípios implementaram metodologias e tecnologias nos seus complexos com o intuito de racionalizar a energia consumida utilização racional de energia, reduzindo conseqüentemente os encargos suportados na fatura energética, assim como as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, sem comprometer o conforto dos utentes e a qualidade dos serviços prestados pelos seus serviços. As ações desenvolvidas no âmbito da eficiência energética em edifícios e serviços municipais envolvem estudos prévios de forma a apurar as necessidades energéticas, assim como possíveis melhorias. Tais estudos são designados por auditorias energéticas, que no final destas permitem classificar o edifício mediante o seu desempenho energético.

Na auditoria energética das Piscinas Municipais de Viseu, o edifício nas condições iniciais enquadrou-se na classe C. Mediante esta classificação, foram sugeridas seis medidas de forma a mitigar estas necessidades energéticas, com o intuito de aumentar a classificação do edifício para a classe A, a mais alta na escala. Não só estas medidas permitiriam um desempenho mais eficiente do ponto de vista energético, como reduziram as emissões de CO<sub>2</sub>, assim como os custos figurados na fatura energética. A implementação destas medidas tiveram um impacto bastante considerável, representando uma redução energética superior a 50%, uma poupança na fatura energética em 36,4% e a redução de emissões totais de CO<sub>2</sub> em 87,22%. Esta redução energética permitiu que o consumo de energia se situasse dentro dos parâmetros definidos como boas práticas para os edifícios com o mesmo tipo de uso do que as Piscinas Municipais do Fontelo. Apurou-se valores imputados aos utentes, concluindo que estas medidas resultaram numa poupança de 14,7 kWh e redução de 16,61 gCO<sub>2</sub>, a cada entrada de utente. Procedeu-se à análise e comparação de resultados obtidos com outros edifícios com a mesma tipologia de uso, clima e posição geográfica semelhante. Concluiu-se que as Piscinas Municipais de Viseu apresentam o melhor desempenho energético dos cinco casos de estudo, emitindo cerca de 76% menos de emissões de CO<sub>2</sub> do que o segundo melhor edifício. No entanto, apresenta o terceiro custo mais barato de Energia total. Isto deve-se ao facto de as Piscinas Municipais de Viseu recorrerem ao consumo de energia elétrica, e não ao consumo de gás natural. Embora o gás natural seja consideravelmente mais barato, apresenta um fator de emissão de CO<sub>2</sub> cerca de três vezes superior ao fator de emissão do mix energético da eletricidade, até ao mês de setembro de 2021.

Foram consideradas e calculadas alternativas às metodologias implementadas nas Piscinas Municipais do Fontelo, nomeadamente, nos pontos 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3. Embora apresentem indicadores financeiros bastante positivos, nomeadamente, em períodos de retorno financeiro mais reduzidos, os benefícios ambientais agregados às seis metodologias escolhidas e implementadas no âmbito da Empreitada de medidas de eficiência energética nas Piscinas Municipais do Fontelo superam largamente as alternativas estudadas nos pontos referidos. Relativamente à metodologia figurada no ponto 4.2.4, deve ser considerada como complemento das necessidades atuais do edifício, representando uma opção viável de incremento da eficiência energética. Relativamente ao ponto 4.2.5, a energia verde apresenta factos sólidos para se tornar numa aposta na redução de emissões CO<sub>2</sub> imputadas ao consumo de energia elétrica nos edifícios, que no exemplo do presente caso de estudo diminuiria a pegada de carbono a níveis residuais ou até neutros.

Relativamente à quantificação de piscinas municipais no país, não foi possível obter informações derivado da inexistência de um levantamento nacional que espelhe esta informação dos 308 municípios Portugueses (278 no Continente, 11 na Madeira e 19 nos Açores). No entanto, realizando cálculos intermédios e considerando que existem em média 3 piscinas aquecidas em cada município Português, e que cada piscina reduzia as suas emissões CO<sub>2</sub> em números idênticos ao presente caso de estudo (685,78 ton/ano), isto significaria uma redução de emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 633 660,72 ton/ano, o que segundo estatísticas da IEA apresentadas neste estudo, equivale a sensivelmente 1,5% das emissões anuais de CO<sub>2</sub> de Portugal comparado com o ano de 2019. Este número apurado é meramente indicativo do impacto significativo que ações de eficiência energética conseguem obter em edifícios da mesma tipologia do caso de estudo, sendo um indicador claro de aposta para cumprir as metas e compromissos nacionais estabelecidos no panorama nacional e internacional.

## 5.2 Sugestões de trabalhos futuros

Para além das propostas estudadas nesta dissertação, nomeadamente, nos pontos 4.2.3 e 4.2.4, é importante notar que existem várias medidas que podem alcançar resultados positivos, aumentando a eficiência energética do edifício e diminuindo as emissões de CO<sub>2</sub> a níveis bastante baixos e expressivos do ponto de vista ambiental.

Realização de um estudo de execução de uma rede de energia integrada agregadora de todos os edifícios Municipais, possibilitando a partilha de energia produzida localmente entre estes edifícios. O desenvolvimento deste tipo de infraestruturas permitiria a criação de um modelo energético cooperativista, reutilizando a energia produzida num edifício para consumo noutra edifício municipal, como escolas ou bibliotecas.

A realização de um estudo de eficiência hídrica permitirá reduzir custos associados ao consumo excessivo e desnecessário de água, assim como perdas de água associadas a equipamentos instalados nas piscinas. Não obstante destas perdas, alguns destes

equipamentos recorrem ao consumo de energia elétrica, o que representa custos desnecessários no consumo de energia do edifício.

A realização de um estudo e análise no consumo de energia reativa, pois caso este consumo não seja reduzido, poderá ter um impacto considerável nas faturas de energia. A energia reativa ou a injeção na rede de valores inadequados são faturados ao consumidor final segundo as regras da ERSE. Estas regras foram criadas com o objetivo de aumentar a eficiência do sistema elétrico e reduzir as perdas nas redes de transporte e distribuição. A redução de consumos de energia reativa é possível através da compensação do fator de potência. De modo a compensar adequadamente o fator de potência e evitar os custos anuais com a energia reativa, a instalação de baterias de condensadores constitui uma medida com um período de retorno muito atrativo, entre 6 meses a 1 ano na generalidade das instalações, evitando assim custos adicionais com a fatura de energia elétrica, permitindo ainda a otimização da eficiência energética da instalação e igualmente melhorar a estabilização dos níveis de tensão e evitar perdas elétricas na distribuição [54].

Realização de estudo de reabilitação ao edifício, reduzindo a diminuição de perdas térmicas pela envolvente do edifício através de isolamento.

Análise da estanquicidade dos tanques de natação, uma vez que a diminuição de perdas evitará um desperdício de água, e um aumento artificial nas necessidades de consumo de energia elétrica.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 6.1 LEGISLAÇÃO



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Plataforma Portuguesa das ONGD, “Portugal e a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável,” 2020.
- [2] H. U. and U. of C. Joint Center for History and Economics, “Energy History,” 2021.
- [3] Eurostat, “Sustainable development in the European Union — Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context (2021 edition),” 2021, doi: 10.2785/636600.
- [4] B. Cardoso, A. R. Gaspar, J. C. Góis, and E. Rodrigues, “Energy and Water Consumption Characterization of Portuguese Indoor Swimming Pools,” *CYTEF 2018 VII Congr. Ibérico, Ciencias y técnicas del frío. 19-21 June 2018, Val. Spain*, pp. 19–21, 2018, doi: 10.31224/osf.io/e8awk.
- [5] B. R. Keeble, “The Brundtland Report: ‘Our Common Future,’” *Med. War*, vol. 4, no. 1, pp. 17–25, 1988, doi: 10.1080/07488008808408783.
- [6] BP, “Statistical Review of World Energy,” *Stat. Rev. World Energy*, vol. 67, pp. 1–56, 2014, [Online]. Available: [bp.com/statisticalreview](http://bp.com/statisticalreview).
- [7] International Energy Agency, “Selected fossil fuel prices in 2019-2020,” 2020.
- [8] International Energy Agency, “Electricity,” 2020.
- [9] C. da U. Europeia, “Acordo de Paris sobre alterações climáticas,” 2014.
- [10] Eurostat, “Energy data,” 2020.
- [11] TSF, “Frans Timmermans vê Portugal na ‘pole position da transição energética”, [Online]. Available: <https://www.tsf.pt/portugal/economia/frans-timmermans-ve-portugal-na-pole-position-da-transicao-energetica-13099417.html>.
- [12] D.-D.-G. de E. e Geologia, *Energia em números*. 2021.
- [13] DGEG, “Direção-Geral de Energia e Geologia.” <https://www.dgeg.gov.pt/>.
- [14] International Energy Agency (IEA), “Portugal 2021 - Energy Policy Review,” *Int. Energy Agency*, 2021, [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/japan-2021>.
- [15] S. Camelo, C. Pina dos Santos, Á. Ramalho, C. Horta, H. Gonçalves, and E. Maldonado, “Regulamento das características do comportamento térmico dos edifícios manual de apoio à aplicação do RCCTE,” p. 215, 2006.
- [16] “[www.certificacaoenergetica.com](http://www.certificacaoenergetica.com),” 2013.
- [17] ADENE, “Guia SCE – Introdução ao REH,” 2020, [Online]. Available: [https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/4.0-Guias-SCE-Introdução-ao-REH\\_V1-1.pdf](https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/4.0-Guias-SCE-Introdução-ao-REH_V1-1.pdf).
- [18] ADENE, “Guia SCE – Introdução ao RECS,” 2020, [Online]. Available: [https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/4.0-Guias-SCE-Introdução-ao-REH\\_V1-1.pdf](https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/4.0-Guias-SCE-Introdução-ao-REH_V1-1.pdf).
- [19] ADENE, “Pacote legislativo DL 2013-118,” 2021.
- [20] D.-D.-G. de E. e Geologia, “Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios.”

- [21] P. do C. de Ministros, “Decreto-Lei n.º 101-D/2020,” 2020.
- [22] Comissão Europeia, “Plano Nacional Energia E,” *Plano Nac. Energ. E Clima 2021-2030 (Pnec 2030)*, vol. 2030, no. Pnec 2030, pp. 1–200, 2019.
- [23] F. da Silveira, F. M. Machado, J. E. Ruppenthal, L. N. Romano, M. A. B. Costa, and R. de F. Doeler, “Eficiência energética: programas estratégicos e tecnologias inovadoras em países selecionados,” *Rev. Produção Online*, vol. 18, no. 3, pp. 875–900, 2018, doi: 10.14488/1676-1901.v18i3.2980.
- [24] DGEG, “Estratégias e Política Energética”.
- [25] Seresco, “Natatorium Design Guide”, 2013.
- [26] M. Dongellini, S. Falcioni, A. Martelli, and G. L. Morini, “Dynamic simulation of outdoor swimming pool solar heating,” in *Energy Procedia*, Dec. 2015, vol. 81, pp. 1–10, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.053.
- [27] D. Suszanowicz, “Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems,” in *E3S Web of Conferences*, Oct. 2017, vol. 19, doi: 10.1051/e3sconf/20171901024.
- [28] Varming, “The Difference Between Passive and Active Design,” 2018, [Online]. Available: <http://www.varming.ie/blog/the-difference-between-passive-and-active-design>.
- [29] A. Sharifi and Y. Yamagata, “Roof ponds as passive heating and cooling systems: A systematic review,” *Appl. Energy*, vol. 160, no. March 2018, pp. 336–357, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.09.061.
- [30] Y. Li, N. Nord, G. Huang, and X. Li, “Swimming pool heating technology: A state-of-the-art review,” *Building Simulation*, vol. 14, no. 3. Tsinghua University, pp. 421–440, Jun. 01, 2021, doi: 10.1007/s12273-020-0669-3.
- [31] Carbon Trust, “Sports and leisure opportunities for business,” p. 28, 2006.
- [32] H.-H. A. R. Planning, “Caldeira a biomassa.”
- [33] O. Instalador, “Solar Térmico: sistemas e sua constituição”, [Online]. Available: <https://www.oinstalador.com/Artigos/265418-Solar-Termico-sistemas-e-sua-constituicao.html>.
- [34] ENAT, “Águas Quentes Sanitárias.” [www.enat.pt/artigo/circulacao-forcada](http://www.enat.pt/artigo/circulacao-forcada).
- [35] EDP, “COMO FUNCIONA UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO?”, [Online]. Available: <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/como-funciona-um-painel-fotovoltaico/>.
- [36] C. M. Trudinger *et al.*, “Modeling air movement and bubble trapping in firn,” *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 102, no. D6, pp. 6747–6763, 1997, doi: 10.1029/96JD03382.
- [37] B. Pr, “Guia de Eficiência Energética Manual de Boas Práticas,” pp. 1–29.
- [38] ADENE, “Eficiência Energética nos Edifícios.” [www.adene.pt/edificios](http://www.adene.pt/edificios).
- [39] DECO PROTESTE, “Eletrodomésticos têm nova etiqueta energética.” , [Online]. Available: <https://www.deco.proteste.pt/casa-energia/eletricidade-gas/noticias/eletrodomesticos-tem-nova-etiqueta-energetica>.
- [40] International Energy Agency, “Achievements of Energy Efficiency Appliance and Equipment Standards and Labelling Programmes,” 2021. [Online]. Available: [www.iea.org/t&c/](http://www.iea.org/t&c/).
- [41] Nações Unidas, “Ipcc afirma que aquecimento global é causado pela atividade humana” 2013, [Online]. Available: <https://news.un.org/pt/story/2013/09/1451091-ipcc-afirma-que-aquecimento->

- global-e-causado-pela-atividade-humana.
- [42] International Energy Agency (IEA), “Global Energy Review: CO2 Emissions in 2020,” 2020.
- [43] A. Natali, M. Bottarelli, and P. Fausti, “A Methodology of Energy Optimization in Indoor Swimming Pool,” *Tec. Ital. J. Eng. Sci.*, vol. 64, no. 2–4, pp. 135–142, Jun. 2020, doi: 10.18280/ti-ijes.642-402.
- [44] “The Future of Hydrogen,” *Futur. Hydrog.*, no. June, 2019, doi: 10.1787/1e0514c4-en.
- [45] IRENA Renewable Cost Database, *Renewable Power Generation Costs in 2020*. 2020.
- [46] J. Economico, “Green Pipeline Project. Hidrogénio verde vai ser injetado na rede de gás natural em Portugal,” 2020.
- [47] ERSE, “ESTUDO Regime de ISP no setor do Gás Natural Avaliação de impactes,” 2020.
- [48] APREN, “Boletim setembro 2021,” 2021, doi: 10.1787/243e0ba1-pt.
- [49] André Amorim Fontes, “Eficiência energética em complexos de piscinas interiores: caso da Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição,” 2016, [Online]. Available: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/38998?locale=pt>.
- [50] P. Manuel and P. Sampaio, “Eficiência Energética em Complexos Interiores: Piscina Municipal de Celas,” 2016, [Online]. Available: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/39034>.
- [51] J. Apolinário, “Eficiência energética em complexos de piscinas interiores: Complexo de Piscinas Rui Abreu,” 2015, [Online]. Available: <https://eg.uc.pt/handle/10316/38773>.
- [52] G. Cogeneration, “2G. Product range.”, [Online]. Available: [https://www.2-g.com/module/designvorlagen/downloads/2g\\_product\\_range.pdf](https://www.2-g.com/module/designvorlagen/downloads/2g_product_range.pdf)
- [53] “Hidrogenio prepare-se para ser surpreendido,” *Observador*, 2019, [Online]. Available: <https://observador.pt/2019/10/10/hidrogenio-prepare-se-para-ser-surpreendido/>.
- [54] P. Energia, “ENERGIA REATIVA.” [Online]. Available: <https://poupaenergia.pt/energia-reativa/>.

## 6.1 Legislação

Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de abril

diretiva comunitária nº 2002/91/CE

Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)

Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)

Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)

DL 118/2013 de 13 de novembro

Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)

Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)

- Lei n.º 58/2013. D.R. n.º 159, Série I de 2013-08-20
- Decreto-Lei n.º 118/2013. D.R. n.º 159, Série I de 2013-08-20
- Decreto-Lei n.º 68-A/2015. D.R. n.º 84, Série I de 2015-04-30
- Decreto-Lei n.º 194/2015. D.R. n.º 179, Série I de 2015-09-14
- Decreto-Lei n.º 251/2015. D.R.n.º 231, Série I de 2015-11-25
- Decreto-Lei n.º 28/2016. D.R. n.º 119, Série I de 2016-06-23
- Lei n.º 52/2018. D.R. n.º 159, Série I de 2018-08-20
- Decreto-Lei n.º 95/2019. DR n.º 136, Série I de 18-06-2019
- Decreto Legislativo Regional n.º 1/2016/M, D.R. n.º 9, Série I de 2016-01-14
- Decreto Legislativo Regional n.º 4/2016/A, D.R. n.º 22, Série I de 2016-02-02
- Portaria n.º 349-A/2013. D.R. n.º 232, Suplemento, Série I de 2013-11-29
- Portaria n.º 115/2015. D.R. n.º 80, Série I de 2015-04-24
- Portaria n.º 39/2016, D.R. n.º 46, Série I de 2016-03-07
- Portaria n.º 349-B/2013. D.R. n.º 232, Suplemento, Série I de 2013-11-29
- Portaria n.º 379-A/2015. D.R. n.º 207, Série I de 2015-10-22
- Portaria n.º 319/2016 D.R. n.º 239, Série I DE 2016-12-15
- Portaria n.º 98 D.R. n.º 65, Série I de 2019-04-02
- Portaria n.º 297/2019 D.R. n.º 172, Série I de 2019-09-09
- Portaria n.º 349-C/2013. D.R. n.º 233, 2.º Suplemento, Série I de 2013-12-02
- Declaração de Retificação n.º 4/2014. D.R. n.º 22, Série I de 2014-01-31
- Portaria n.º 405/2015. D.R. n.º 228, Série I de 2015-11-20
- Portaria n.º 349-D/2013. D.R. n.º 233, 2.º Suplemento, Série I de 2013-12-02
- Declaração de Retificação n.º 3/2014. D.R. n.º 22, Série I de 2014-01-31
- Portaria n.º 42/2019, D.R. n.º 21, Série I de 2019-01-30
- Portaria n.º 353-A/2013. D.R. n.º 235, Suplemento, Série I de 2013-12-04
- Declaração de Retificação n.º 2/2014. D.R. n.º 22, Série I de 2014-01-31
- Portaria n.º 66/2014. D.R. n.º 50, Série I de 2014-03-12
- Portaria n.º 303/2019 D.R. n.º 175, Série I de 2019-09-12
- Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03
- Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03

Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03

Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03

Despacho (extrato) n.º 15793-G/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03

Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03

Despacho n.º 3156/2016, D.R. n.º 42, Série II de 2016-03-01

Despacho n.º 10346/2018, D.R. n.º 215, Série II de 2018-11-08

Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03

Despacho n.º 3777/2017 D.R. n.º 87, SÉRIE II DE 2017-05-05

Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03

Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03

Declaração de Retificação n.º 127/2014. D.R. n.º 29, Série II de 2014-02-11

Despacho (extrato) n.º 15793-L/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03

Despacho n.º 7113/2015. D.R. n.º 124, Série II de 2015-06-29

Declaração de Retificação n.º 769/2015. D.R. n.º 174, Série II de 2015-09-07 -

Despacho n.º 8892/2015. D.R. n.º 155, Série II de 2015-08-11

Despacho n.º 14985/2015. D.R. n.º 246, Série II de 2015-12-17

Despacho (extrato) n.º 6469/2016. D.R. n.º 95, Série II de 2016-05-17

Despacho (extrato) n.º 6470/2016. D.R. n.º 95, Série II de 2016-05-17.

Despacho (extrato) n.º 4343/2019 D.R. n.º 81, Série II de 2019-04-26



# ANEXOS

- 7.1 ANEXO I- Declarações de validação de resultados - Engº Celestino Pereira
- 7.2 ANEXO II - Declarações de validação de resultados - Engº Rui Borges
- 7.3 ANEXO III - Declarações de validação de resultado - Sr. Miguel Ângelo Ferreira
- 7.4 ANEXO IV - Declarações de validação de resultado - Engº Pedro Castel-Branco
- 7.5 ANEXO V - Simulação plano eletricidade ERSE



## 7 ANEXOS

### 7.1 Anexo I – Validação por parte de entidade externa – Eng<sup>o</sup> Celestino Pereira

Declaração de validação – Eng<sup>o</sup> Celestino Pereira



### Reconhecimento de valor em dados apurados no âmbito de partilha de indicadores obtidos e metodologias adotadas

Celestino Manuel Martins Pereira, Eng<sup>o</sup> Civil, membro Sênior da Ordem dos Engenheiros com o N<sup>o</sup> 39751, Perito Qualificado para Certificação Energética, PQ1 00594, tendo tomado conhecimento dos indicadores apurados na dissertação com a designação “*Parametrização e implementação de medidas de eficiência energética em Piscinas Municipais – Piscina Municipal do Fontelo, em Viseu*”, cujo autor é o Eng.<sup>o</sup> Paulo Jorge Sousa Silva, no âmbito de obtenção de grau de Mestre, considero que a publicação/divulgação destes resultados revelem dados importantes na tomada de decisão relativamente a metodologias a implementar quer em fase de projeto, quer no âmbito de reabilitação energética na edificação. A partilha desta informação poderá representar um papel fulcral na mudança de paradigma, estimulando soluções construtivas que aliam o fator económico, sem descuidar o fator ambiental, demonstrando claramente qual o impacto e benefícios que advirão da tomada de decisão.

Santa Maria da Feira, 05 de novembro de 2021

CELESTINO  
MANUEL  
MARTINS  
PEREIRA

Digitally signed by  
CELESTINO MANUEL  
MARTINS PEREIRA  
Date: 2021.11.05  
09:16:00 Z

Celestino Manuel Martins Pereira, Eng<sup>o</sup> Civil

## 7.2 Anexo II - Validação por parte de entidade externa – Engº Rui Borges

Declaração de validação – Engº Rui Borges



BARROS BORGES

ACTIVIDADES DE ENGENHARIA E TÉCNICAS AFINS

Rua João de Deus Nº100, 1º sala G, 3700-149 S. João da Madeira

**Reconhecimento de valor em dados apurados no âmbito de partilha de indicadores obtidos e metodologias adotadas**

Tomando conhecimento dos indicadores apurados na dissertação com a designação “*Parametrização e implementação de medidas de eficiência energética em Piscinas Municipais – Piscina Municipal do Fontelo, em Viseu*”, cujo autor é o Eng.º Paulo Jorge Sousa Silva, no âmbito de obtenção de grau de Mestre, considero que a publicação/divulgação destes resultados possam revelar a capacidade de estimular a adoção de metodologias e políticas por parte de várias entidades que desempenham um papel fundamental nos serviços à comunidade, auxiliando não só na redução de gastos energéticos anuais e dependência energética, mas também sensibilizando para a importância da quantificação de emissões de gases poluentes que estas metodologias possam representar anualmente.

S. João da Madeira, 5 de Novembro de 2021

Rui Borges, Eng.º Civil

(Perito da lista oficial do Ministério da justiça)

### 7.3 Anexo III - Validação por parte de entidade externa – Sr. Miguel Ângelo Ferreira

Declaração de validação – Sr. Miguel Ângelo Ferreira



MUNICÍPIO DE AROUCA  
CÂMARA MUNICIPAL

**Reconhecimento de valor em dados apurados no âmbito de partilha de indicadores obtidos e metodologias adotadas**

Tomando conhecimento dos indicadores apurados na dissertação com a designação "*Parametrização e implementação de medidas de eficiência energética em Piscinas Municipais - Piscina Municipal do Fontelo, em Viseu*", cujo autor é o Eng.º Paulo Jorge Sousa Silva, no âmbito de obtenção de grau de Mestre, considero que a publicação/divulgação destes resultados revelem dados importantes na tomada de decisão relativamente a metodologias a implementar em edifícios de carácter público e que desempenham um papel fundamental nos serviços à comunidade. Esta partilha de conhecimento poderá ter um impacto significativo em vários objetivos e metas traçadas do âmbito ambiental e energético, no que concerne ao desempenho energético deste tipo de edifícios.

Complexo Desportivo Municipal, 05 de novembro de 2021.

O Diretor Técnico

Miguel Ângelo Ferreira

#### 7.4 Anexo IV - Validação contra objetivos institucional – Engº Pedro Castel-Branco

Declaração de validação – Engº Pedro Castel-Branco



**Reconhecimento de valor em dados apurados no âmbito de partilha de indicadores obtidos e metodologias adotadas**

Tomando conhecimento dos indicadores apurados na dissertação com a designação “*Parametrização e implementação de medidas de eficiência energética em Piscinas Municipais – Piscina Municipal do Fontelo, em Viseu*”, cujo autor é o Eng.º Paulo Jorge Sousa Silva, colaborador na Prospectiva S.A - Projectos, Serviços e Estudos, SA, a realizar estágio no âmbito de obtenção de grau de Mestre em Energias Sustentáveis, considero que as conclusões alcançadas no desenvolvimento desta dissertação possam desempenhar um papel de auxílio à tomada de decisão na implementação de metodologias e políticas.

Também creio que os indicadores obtidos neste estudo possam otimizar os diversos projetos de cariz de eficiência energética, promovendo um equilíbrio entre o fator económico e o fator ambiental, visando as metas delineadas a nível nacional no que concerne à necessidade de otimização e racionalização de energia, assim como tornar mais eficiente a sua obtenção do ponto de vista energético.

Reconheço igualmente que a publicação e difusão das considerações figuradas neste estudo possam futuramente configurar um modelo inovador, padronizando indicadores importantes no âmbito da realização de projetos de eficiência energética em edifícios.

Face ao exposto anteriormente, atesto que o Eng.º Paulo Jorge Sousa Silva, na elaboração desta dissertação atingiu resultados excecionais, alcançando e superando inclusive os objetivos a que se propôs no início deste projeto.

Lisboa, 05 de Novembro de 2021

The image shows the signature of Pedro Castel-branco in black ink, written over a white background. The signature is cursive and appears to read 'Pedro Castel-branco'.

Pedro Castel-branco (Diretor)

Rua Major Neutel de Abreu,  
n.º 16 A/B/C  
1500 - 411 Lisboa  
Portugal  
MD.69.05

T: +351 217 711 970  
F: +351 217 742 322  
E: sede@prospectiva.pt  
www.prospectiva.pt



Página 1 de 1





## 7.5 Anexo V – Simulação de plano de eletricidade verde

Simulação de plano de eletricidade verde



Tipo de simulação **Fatura de consumidor residencial**  
 Período de consumo **12 Meses**  
 Potência contratada **13,8 kVA**

Opção horária **Bi-Horária**  
 Consumo **6540 kWh - Fora de Vazio, 4360 kWh - Vazio**  
 Preços (sem IVA) -

		Valor Anual
 COMERCIAL	<b>Eletricidade NOS (DD+FE) - Novos Clientes Oferta Energia Solar (Bairro Solar)</b> 100% Energia renovável Débito Direto Oferta novos clientes Oferta condicionada	2082,86€
	<b>Monoelétrico ACP 2021</b> 100% Energia renovável Oferta condicionada	2111,24€
	<b>Tarifa e-luz&amp;gás</b> Débito Direto Oferta condicionada Reembolsos/descontos	2209,86€
	<b>Galp &amp; Continente Eletricidade Verde (FE+DD)</b> 100% Energia renovável Débito Direto Oferta condicionada Reembolsos/descontos	2213,05€

PDF gerado a 19 nov 2021

Para mais informações consulte [www.erse.pt](http://www.erse.pt)