

**Que *mix* de energias renováveis para assegurar  
zero de energia em edifícios de apartamentos**

Casos de Belas Clube de Campo

**João Miguel Gameiro Alves**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia e Gestão da Energia**

Orientadores: Prof. Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

Prof. Nuno Alexandre Soares Domingues

**Júri**

Presidente: Prof. Duarte de Mesquita e Sousa

Orientador: Prof. Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

Vogal: Prof. Carlos Augusto Santos Silva

**Julho 2019**

## Agradecimentos

Quero agradecer aos meus orientadores, o Professor Doutor Manuel Duarte Pinheiro e ao Professor Nuno Domingues pela orientação e aconselhamento que me deram ao longo da redação da dissertação, contribuindo para que a apresentação deste trabalho fosse possível.

Aos elementos do Departamento Técnico do Planbelas, Sociedade Imobiliária, SA, pela disponibilidade demonstrada em fornecer-me toda a documentação que requisitei e pela visita guiada ao caso de estudo em duas ocasiões distintas, e em especial ao Engenheiro Nuno Remédio pela celeridade e disponibilidade no envio da documentação que achei necessária para o estudo aqui apresentado.

Aos meus amigos e companheiros de vida, que sempre me incentivaram ao longo de toda a minha vida académica e que demonstraram uma preocupação e interesse profundo pelo meu bem-estar, motivação e trabalho ao longo deste percurso.

Por último, à minha família e namorada, por sempre acreditarem no meu potencial, pelo incentivo em horas menos positivas, e que de uma forma ou de outra me empurraram avante quando por vezes desistir indicava ser o caminho certo e fácil. Sem eles nada disto seria possível e como tal merecem um carinho especial.

## Resumo

A presente dissertação pretende determinar o *mix* de energias renováveis que permite ao edifício do caso de estudo alcançar o zero de energia. O *mix* deve compreender o aproveitamento de energias renováveis no local e suprir todas as necessidades de consumo elétrico e de conforto térmico de cada um dos apartamentos do caso de estudo. O caso de estudo é um edifício de apartamentos (lote 10) localizado no Belas Clube de Campo

O consumo dos apartamentos foi estimado com base nos equipamentos neles presentes e no estabelecimento de pressupostos para a sua utilização anual, bem como nos valores presentes nos certificados energéticos. Aos equipamentos dedicados à iluminação, a mesma metodologia foi adotada. O cálculo da produção de energia a partir de fontes de renováveis foi baseado em dados recolhidos através do software PVGIS e MERRA-2, de onde foram recolhidos dados de um período de 11 anos e procedeu-se ao tratamento dos mesmos, com vista a construir uma distribuição de valores médios horários de um ano típico.

Construíram-se diversas propostas de *mix*, tendo como objetivo comparar diversas soluções e averiguar a sua viabilidade económica. Concluiu-se que o caso de estudo alcança o zero de energia, apresentando uma dependência residual em combustíveis fósseis de 4% e também considerando a legislação portuguesa publicada em Portaria no dia 2 de abril de 2019. O *mix* compreende a utilização de energia eólica, solar fotovoltaica e solar térmica.

**Palavras-chave:** Zero de Energia, Energia Renovável, Viabilidade Económica, Autossustentabilidade

## Abstract

This document aims to assess which is the renewable energy mix that makes the case study as a zero-energy building. This mix should consider the production of renewable energy on site, allowing each of the apartments to meet its electrical and thermal comfort needs. The case study is a building located in *Belas Clube de Campo*.

The estimation of the energy consumption of the apartments used the list of electrical equipment present in the apartments and in the energy certificates. Assumptions were made regarding the annual estimation of the electrical consumption of equipment. The same process was applied to the lighting equipment. The renewable energy calculations were based on data retrieved from the software PVGIS and MERRA-2, where 11 years of data were retrieved with hourly average values, with the processing of the data allowing the creation of an annual distribution for a typical year.

Several mix proposals were considered, with the objective to compare them and assess their economic viability. This analysis concluded that the case study reaches the zero-energy, having a residual fossil fuel dependency of 4% and considering the Portuguese legislation published in April 2 of 2019. The optimal mix makes use of wind, solar photovoltaic and solar thermal technologies.

**Keywords:** Zero-energy, Renewable Energy, Economic Feasibility, Self-sustainability

## Acrónimos

**PIB** - Produto Interno Bruto

**IEA** - *International Energy Agency* (Agência Internacional da Energia)

**UE** - União Europeia

**Toe** – *Tonne of Oil Equivalent* (Toneladas Equivalente Petróleo)

**GEE** - Gases de Efeito de Estufa

**AE19** - Área Euro 19

**AQS** - Água Quente Sanitária

**Capex** - Custos de Investimento

**Opex** - Custo de Operação e Manutenção

**MPPT** - *Maximum Power Point Tracker* (Regulador de Ponto de Máxima Potência)

**STC** - *Standard Test Conditions* (Condições de referência)

**BoS** - *Balance of Systems* (Balanço dos Sistemas)

**O&M** - Operação e Manutenção

**CDC** - Curva de Duração de Caudais

**AC** - Ar Condicionado

**NOCT** - *Normal Operation Cell Temperature* (Temperatura Normal de Operação da Célula)

**LCOE** – *Levelized Cost of Energy* (Custo Unitário Médio Atualizado)

**nZEB** – *Nearly Zero Energy Building* (Edifício Quase Zero de Energia)

# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	ii
Abstract.....	iii
Acrónimos.....	iv
Índice de Tabelas .....	vii
Índice de Figuras .....	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Contexto .....	1
1.2. Objetivo .....	4
1.3. Metodologia.....	5
1.4. Estrutura da dissertação .....	7
2. Produção de Energias Renováveis .....	9
2.1. Contexto .....	9
2.2. Energia Eólica .....	10
2.2.1. Dimensionamento, eficiência e custos .....	10
2.2.2. Evolução atual e indicadores para o futuro .....	13
2.3. Energia Solar Fotovoltaica .....	14
2.3.1. Dimensionamento, eficiência e custos .....	15
2.3.2. Evolução atual e indicadores para o futuro .....	16
2.4. Energia Solar Térmica .....	17
2.4.1. Dimensionamento, eficiência e custos .....	18
2.4.2. Evolução atual e indicadores para o futuro .....	19
3. Apartamentos Belas Clube de Campo e Necessidades de Consumo.....	21
3.1. Apartamentos.....	21
3.2. Necessidades de consumo .....	22
3.2.1. Necessidades de conforto térmico .....	22
3.2.2. Necessidade de consumo elétrico .....	26
4. Propostas de <i>mix</i> para NZEB .....	31
4.1. Potencialidades no edifício/envolvente.....	31
4.1.1. Condições climáticas.....	31

4.1.2.	Potencialidades de produção de energia renovável .....	34
4.2.	Métricas de cálculo .....	38
4.3.	Propostas de <i>mix</i> .....	40
4.4.	Viabilidade (cenários).....	43
4.5.	Análise de sensibilidade.....	47
5.	Discussão .....	53
5.1.	Abordagem ao problema.....	53
5.2.	Resultados .....	54
5.3.	Limitações .....	57
5.4.	Resultados face à legislação Portuguesa.....	57
6.	Conclusão.....	59
6.1.	Que mix de energias renováveis? .....	59
6.2.	Desenvolvimentos futuro.....	59
	Referências .....	61
	Anexos.....	65
	Anexo 1 – Conceitos Chave .....	66
	Anexo 2 – Metas Europeias 2020 e 2030 .....	68
	Anexo 3 – Condições de irradiância e temperatura .....	70
	Anexo 4 – Dedução das equações do tempo de retorno e do custo unitário médio atualizado.....	73
	Anexo 5 – Planta de iluminação .....	75
	Anexo 6 – Planta equipamentos de climatização.....	77

## Índice de Tabelas

Tabela 1-Características típicas das turbinas mini eólicas (Tummala et al., 2016).....	10
Tabela 2-Custos e fator de carga médios de projetos eólicos (IRENA, 2015a); (IEA, 2015a); (IRENA, 2012b); (Sawin, Seyboth, & Sverrisson, 2016); (IRENA, 2016); (Kaldellis & Zafirakis, 2011).....	12
Tabela 3-Rendimento e fator de carga de módulos fotovoltaicos (Castro, R. 2011); (IRENA, 2015a); (REN, 2016); (IRENA, 2012b). ....	15
Tabela 4-Custos típicos da tecnologia fotovoltaica (IRENA, 2015a); (IEA, 2014). ....	16
Tabela 5-Custos típicos das tecnologias solares térmicas (SHC IEA, 2016); (Tobergte & Curtis, 2013). .....	19
Tabela 6-Características principais dos apartamentos do local de estudo, segundo os certificados energéticos. ....	21
Tabela 7-Conteúdo extraído dos certificados energéticos relativamente às necessidades térmicas de conforto.....	23
Tabela 8-Produção de Energia Solar Térmica por fração de acordo com os certificados energéticos.	24
Tabela 9-Contributo dos coletores solares e caldeira a gás nas necessidades de conforto térmico. ..	24
Tabela 10-Consumo elétrico dos equipamentos A/C para suprir as necessidades de conforto térmico enunciadas nos certificados energéticos. ....	25
Tabela 11-Lista de equipamentos existentes em todas as frações do caso de estudo. ....	26
Tabela 12-Lista de equipamentos elétricos considerados para a determinação do consumo dos apartamentos.....	27
Tabela 13-Lista de pressupostos colocados nos equipamentos relativamente à sua utilização semanal. .....	28
Tabela 14-Número de lâmpadas LED presentes em cada tipologia.....	29
Tabela 15-Consumo elétrico médio anual estimado para os apartamentos do lote 10.....	29
Tabela 16-Propostas de soluções, divididas em 10 cenários/casos. ....	42
Tabela 17-Resultados das métricas para uma taxa de atualização de 3%. ....	46
Tabela 18-Resultados das métricas para uma taxa de atualização de 4%. ....	46
Tabela 19-Resultados da variação das variáveis de input no VAL.....	49
Tabela 20-Resultados discriminados da análise de sensibilidade.....	52
Tabela 21-Resultados de cada apartamento face aos requisitos para nZEB segundo a legislação Portuguesa. ....	58
Tabela A.1- Condições de irradiância e temperatura para o dia 1 de janeiro de 2007, de acordo com o PVGIS (EC, 2018) .....	74
Tabela A.2- Valores médio horários para o dia 1 de janeiro, obtidos através dos valores do PVGIS no período de 2007 a 2016 (EC, 2018) .....	75
Tabela A.3- Valores de irradiância e temperatura para o dia típico do mês de Janeiro (EC, 2018).....	76



# Índice de Figuras

Figura 1-Relação do PIB com as emissões de CO <sub>2</sub> e a procura de energia primária (IEA, 2015b).....	2
Figura 2-Distribuição do consumo de energia final para os vários setores de atividade em Portugal no ano de 2016 (PORDATA, 2016).....	3
Figura 3-Tendência decrescente no consumo de energia final no setor residencial.....	3
Figura 4-Sequência dos principais eventos para a obtenção do mix. ....	6
Figura 5-Fator de utilização anual das tecnologias de produção de eletricidade em Portugal. ....	9
Figura 6-Estimativa da capacidade instalada de energia eólica (EWEA, 2015).....	13
Figura 7-Evolução estimada da dimensão das turbinas eólicas (IEA, 2013).....	14
Figura 8-Um sistema com termostato direto e um sistema com bombas de calor indireto (SHC IEA , 2016).....	17
Figura 9-Evolução estimada da capacidade instalada e respetiva taxa de crescimento (SHC IEA, 2016). .....	19
Figura 10-Fachada principal do edifício, orientada a poente (oeste).....	21
Figura 11-Vista do telhado do edifício, onde se encontram os painéis solares térmicos. ....	22
Figura 12-Diferença nas distribuições de dois anos recolhidos e do ano médio calculado. ....	32
Figura 13-Direção e distribuição dos ventos na zona envolvente do caso de estudo.....	33
Figura 14-Varição da irradiância incidente por dia típico de cada mês. ....	33
Figura 15-Estimação da potência de saída pelos dois modelos face ao resultado experimental para um dia de céu limpo (Crispim et al., 2007).....	34
Figura 16-Erro entre a energia calculada pelos dois modelos face à energia medida experimentalmente (Crispim et al., 2007). ....	35
Figura 17-Curva de potência típica para uma célula fotovoltaica, com referência aos três principais pontos da curva (Jack et al., 2015). ....	35
Figura 18-Eschema equivalente de uma célula fotovoltaica segundo o modelo ideal (Jack et al., 2015). .....	36
Figura 19-Curva de potência típica de um aerogerador (ENAIR, 2019).....	38
Figura 20-Distribuição do LCOE pelas tecnologias aplicadas em cada cenário, para uma taxa de atualização de 3%. ....	46
Figura 21-Distribuição do LCOE pelas tecnologias aplicadas em cada cenário, para uma taxa de atualização de 4%. ....	47
Figura 22-Resultados da análise de sensibilidade conduzida para o 3º cenário.....	50
Figura 23-Resultados da análise de sensibilidade conduzida para o 6º cenário.....	50
Figura 24-Resultados na análise de sensibilidade conduzida para o 7º cenário.....	51
Figura 25-Distribuição do investimento pelos diferentes casos. ....	55
Figura 26-Distribuição dos custos de O&M pelos diferentes casos.....	55
Figura 27-Consumo energético suprido por energia renovável vs não renovável.....	56
Figura 28-Consumo energético de AQS suprido por energia renovável vs não renovável. ....	56

Figura A.1 - Estatísticas das várias metas no projeto EU 20-20-20, com o objetivo a atingir e os dados relativos a anos anteriores a 2017 (EUROSTAT, 2016).....72

# 1. Introdução

## 1.1. Contexto

A energia é uma componente essencial nas sociedades modernas e um fator importante para o desenvolvimento económico de um país. O aumento demográfico e a diversidade de serviços disponibilizados pelos governos/países aos seus cidadãos influenciam diretamente o aumento do consumo de energia final. Existe, assim, a necessidade de aumentar o investimento no sector energético, sob risco de uma falha no mesmo poder significar um impacto enorme no desenvolvimento económico de uma nação além do potencial pânico generalizado dada a extrema dependência das sociedades em energia elétrica.

A obrigatoriedade de fortalecer o sistema elétrico e de garantir um fornecimento energético contínuo e de qualidade, aliado aos baixos custos de investimento e retorno financeiro garantido num curto período de tempo, impulsionou o investimento em tecnologias de aproveitamento energético de origem fóssil (IEA, 2015b).

Contudo, nas últimas décadas tem-se assistido a um agravamento das condições climáticas a nível mundial. Vários estudos apontam para a responsabilidade na utilização de combustíveis fósseis para as mais diversas aplicações, uma vez que são os principais impulsionadores da emissão de gases de efeito de estufa. Este agravamento tem-se tornado mais notório e acentuado num passado recente, contribuindo para o aparecimento de alternativas energéticas aos combustíveis fósseis. Com o agravamento do clima, juntou-se a consciencialização de que a produção de energia com recurso a energias fósseis baratas e acessíveis está a chegar ao fim.

O aumento no investimento e exploração de alternativas energéticas aos combustíveis fósseis tem sido evidente nas últimas décadas, em especial desde o início do século XXI. Embora tenham existido iniciativas na década de 80, em particular no aproveitamento da energia hídrica, só recentemente se tem assistido a reais investimentos por parte de grandes potências económicas mundiais. A dependência energética nos combustíveis fósseis, bem como, o seu valor económico (que é geralmente traduzido no PIB), contribuiu para uma persistência em alterar o paradigma energético atual (IEA, 2015b).

Segundo estimativas da IEA, esta relação entre PIB, emissões de CO<sub>2</sub> e procura de energia endógena já não se verifica, na medida em que existe um evidente e constante aumento do PIB, enquanto que as emissões de CO<sub>2</sub> e a procura de energia primária se mantiveram relativamente constantes, conforme pode ser consultado na figura 1.

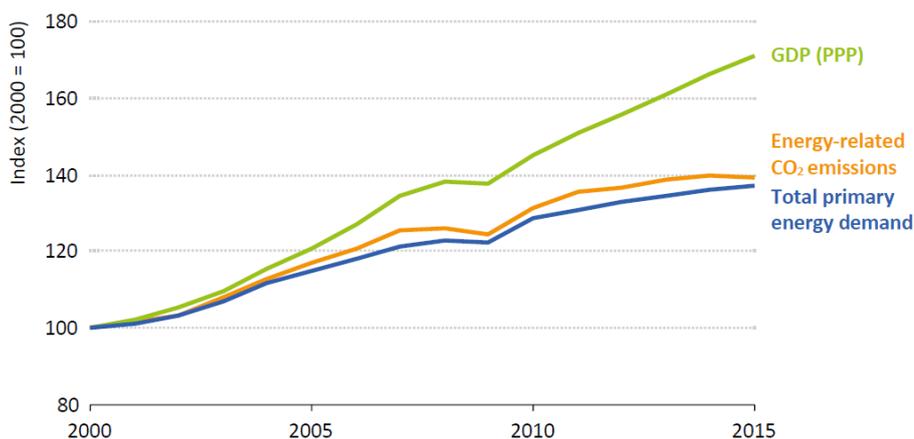


Figura 1-Relação do PIB com as emissões de CO<sub>2</sub> e a procura de energia primária (IEA, 2015b).

Desde cedo que se questionou se as tecnologias renováveis seriam um bom investimento e se a sua contribuição poderia ser significativa para um futuro de produção de energia limpa. Atualmente, o investimento em fontes de produção energética de origem renovável ultrapassa o investimento em fontes de produção energética não renovável, facto que já acontece desde 2012 (IRENA, 2016).

Em 2015, as energias renováveis representaram 70% do investimento total em eletricidade, liderado pela energia eólica (37%), energia solar fotovoltaica (34%) e energia hidroelétrica (20%). A China foi o maior investidor (90 mil milhões de dólares), seguida pela União Europeia (56 mil milhões) e pelos Estados Unidos (39 mil milhões) (IEA, 2015b).

Mais recentemente, em 2017, o investimento em tecnologia de produção de energia renovável situou-se perto dos 300 mil milhões de dólares, embora tenha sofrido um ligeiro declive de 7% face a 2016 (IEA, 2017b).

Estes dados estatísticos permitem concluir que existiu um forte investimento nas energias renováveis nos últimos anos, permitindo uma transição do sector energético em vários países. Esta mudança foi também incentivada pelas alterações climáticas provocadas pela presença excessiva de carbono na atmosfera e pela competitividade crescente que as alternativas renováveis têm apresentado.

Como membro da UE, Portugal faz parte da Estratégia Energética 2020, que estabeleceu metas relativas à redução de emissões de GEE, um aumento na quota de energias renováveis para consumo e um aumento na poupança energética, geralmente referidas como as metas 20-20-20.

Portugal é um dos países com maior participação de energias renováveis no *mix* de produção de energia. No primeiro semestre de 2018, atingiu 61% de produção renovável de eletricidade no continente (APREN, 2018). No que respeita à quota de energia proveniente de fontes renováveis nos estados membros da UE (em % do consumo final bruto de energia), Portugal atingiu pouco mais de 16%, o 6º mais elevado da UE, no ano de 2016, apenas atrás da Suécia, Finlândia, Letónia, Áustria e Dinamarca (EUROSTAT, 2017).

O setor residencial é um dos pontos focais para a eficiência energética que se traduz em meta de poupança de 20% até 2020, uma vez que foi responsável por cerca de 16% do consumo final de energia do país em 2016. Na UE-28 e na AE19, o setor foi responsável por 26% e 24%, respetivamente (PORDATA, 2016).

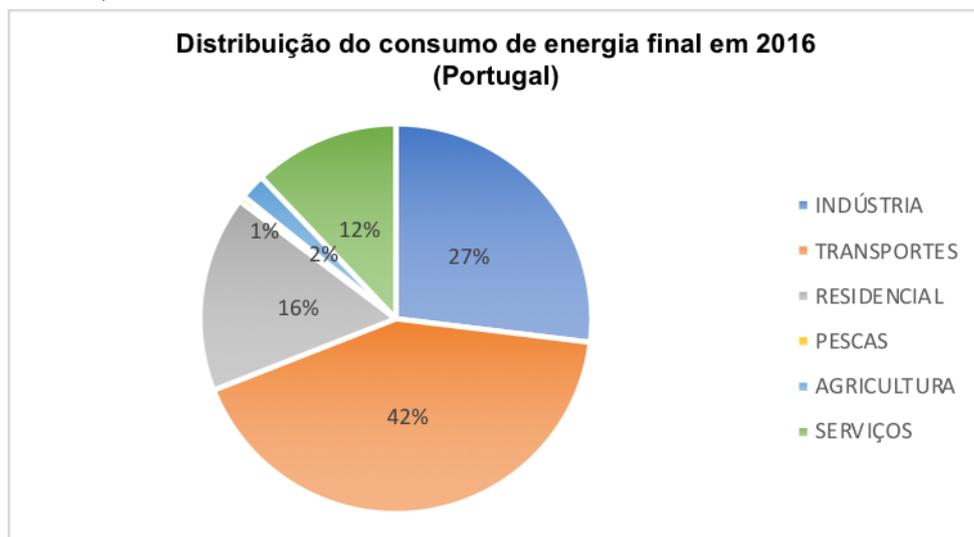


Figura 2-Distribuição do consumo de energia final para os vários setores de atividade em Portugal no ano de 2016 (PORDATA, 2016).

Desde que a UE adotou os objetivos da Energia 2020 em 2007 (EC, 2010), os dados recolhidos mostraram uma tendência ligeiramente decrescente no consumo de energia final no setor residencial, o que parece confirmar o esforço feito pelos países parte do UE-28 para cumprir as metas que impuseram para 2020, como pode ser visto na Figura 3. Portugal mostrou uma tendência semelhante, reforçada pela legislação em vigor, relativamente ao Sistema Nacional de Certificação Energética e ao Regulamento para o Desempenho Energético dos Edifícios.

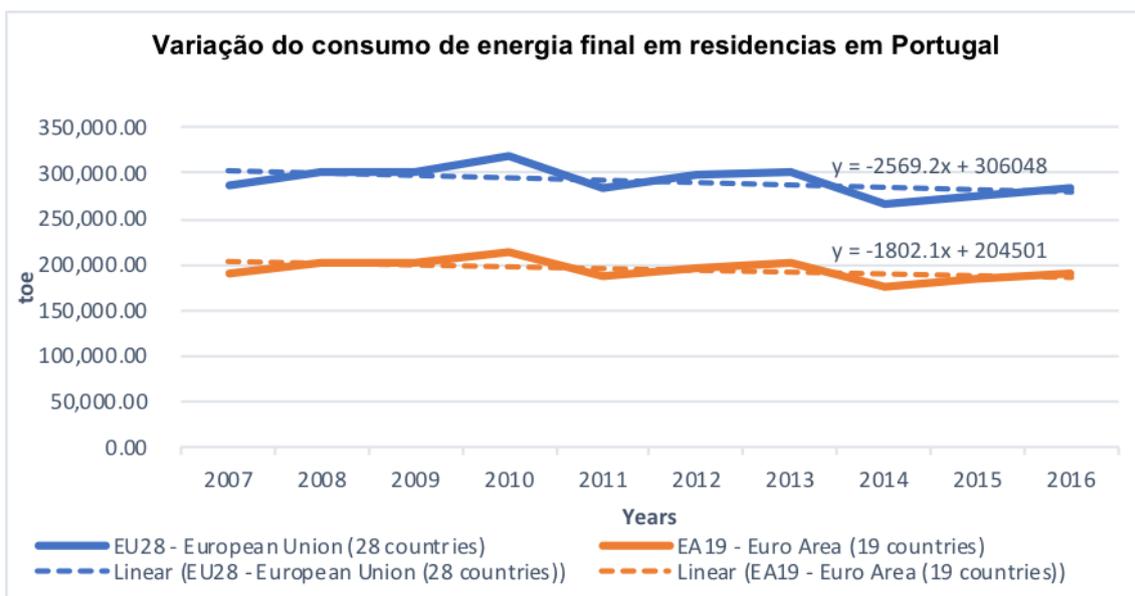


Figura 3-Tendência decrescente no consumo de energia final no setor residencial.

Desde o estabelecimento destas duas normas, todos os edifícios são obrigados a apresentar certificado energético quando os proprietários desejam efetuar negócio com os mesmos, seja arrendamento do

alojamento ou venda do imóvel.

A aprovação do Decreto-Lei nº118/2013, que altera o anterior (Decreto-Lei nº80/2006), estabelece que é obrigatório que um novo edifício tenha sistemas solares térmicos para a AQS. Embora existam algumas exceções que permitem que um edifício se sobreponha a essa lei, a maioria dos edifícios está sujeita a essa legislação.

Em abril de 2019 foi lançado na Portaria n.º 98/2019 (DR, 2019) os valores de referência que permitem classificar um edifício em Portugal como quase zero de energia. Estes valores compreendem os seguintes pontos:

### **1. Necessidades energéticas**

- a. O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 75% do seu valor máximo ( $N_i$ ).
- b. O valor das necessidades energéticas nominais de energia primária ( $N_{tc}$ ) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 50% do seu valor máximo ( $N_t$ ).

### **2. Aproveitamento de fontes de energia renovável**

Os sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável dos edifícios de necessidades energéticas quase nulas devem suprir pelo menos 50% das necessidades anuais de energia primária.

Na discussão final dos resultados do presente estudo irá ser efetuada uma comparação do caso de estudo com estes valores de forma a classificarmos o edifício do quase de estudo.

De acordo com a comissão europeia, um edifício de quase zero energia apresenta um desempenho energético elevado, recorrendo à energia proveniente de fontes de energia renovável quando necessário (PE, 2018a). Uma diretiva da comissão europeia estabelece que todos os novos edifícios sejam quase zero energia até 2020, impulsionando implementações semelhantes ao tema desta dissertação.

Para esse efeito é importante dinamizar a utilização de energias renováveis no edificado de forma viável, tanto do ponto de vista energético, como do ponto de vista económico.

A potencialidade de uma implementação com várias fontes de energia pode tornar-se um fator determinante na definição de futuros projetos urbanos, contribuindo para os objetivos estabelecidos na meta 20-20-20. A implementação de soluções desta natureza contribui para uma poupança no consumo de eletricidade proveniente da rede elétrica, devido sobretudo aos preços de eletricidade atualmente praticados, embora seja necessário um investimento inicial elevado.

## **1.2. Objetivo**

A presente dissertação pretende explorar a viabilidade de fontes de energias renováveis aplicadas a um contexto residencial, concretamente num edifício de apartamentos em Belas Clube de Campo.

O estudo apresentado tem como objetivo a determinação do mix de energias renováveis que permitisse ao edifício em causa atingir o quase zero de energia ou até mesmo o zero de energia, tornando-se autossuficiente ou apresentando um elevado grau de desempenho energético através de fontes renováveis.

A análise ao caso de estudo aqui apresentado procurará responder também às duas hipóteses seguintes:

- Poderá o edifício depender exclusivamente de fontes de energia renovável?
- Será/serão essa(s) solução/soluções de *mix(es)* economicamente viáveis?

### 1.3. Metodologia

Por forma a atingir-se o objetivo estabelecido nesta dissertação é necessário dar a conhecer a sequência de trabalhos desenvolvidos que culminou no modelo de cálculo estabelecido.

Em primeiro lugar é necessário conhecer melhor o tema e os conceitos envolvidos no mesmo, seguido de conhecer as principais tendências e estatísticas que compõem o setor energético. Em segundo, foi necessário conhecer as tecnologias que seriam mais tarde adotadas e o seu potencial de produção nas condições climatéricas do caso de estudo. Para tal, foi também obrigatório ter uma perceção dos consumos típicos do setor residencial em Portugal de modo a extrair-se o potencial máximo das fontes renováveis.

Por último, procedeu-se ao desenvolvimento do modelo de cálculo energético e económico. Os modelos descritos neste documento são aplicáveis a outros casos de estudo, com características distintas. Uma análise de sensibilidade é conduzida por forma a estudar a robustez das soluções de *mix* determinadas.

De seguida apresenta-se a sequência das principais atividades desenvolvidas que culminaram no estabelecimento do *mix*.

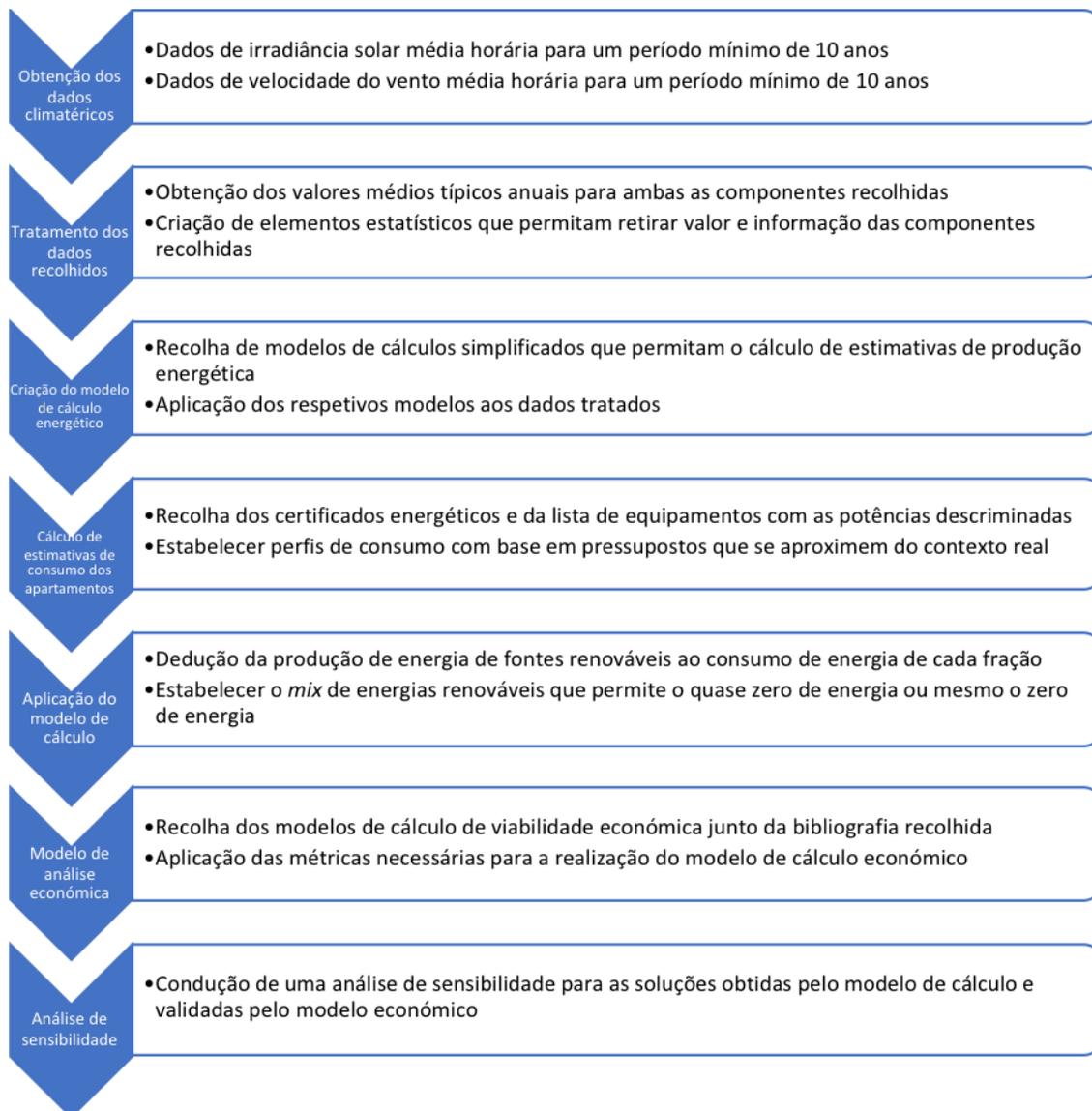


Figura 4-Sequência dos principais eventos para a obtenção do *mix*.

O trabalho aqui apresentado permitiu estudar a viabilidade das diferentes tecnologias nas vertentes tecnológicas, económicas e ambientais.

Para tal, foi desenvolvido um modelo de cálculo de produção energética, assente nas condições atmosféricas do local em estudo, nas potencialidades das tecnologias abordadas e no espaço disponível para a realização de um projeto desta natureza.

## 1.4. Estrutura da dissertação

Este documento encontra-se estruturado da seguinte forma:

### **Capítulo 1 - Introdução**

Apresenta-se o tema da dissertação e o objetivo da mesma. É efetuada uma contextualização do panorama geral do setor energético a nível mundial que contribuiu para a realização deste trabalho. São constituídas as metodologias e demonstrada a sequência de eventos que permitiu alcançar o objetivo proposto neste trabalho.

### **Capítulo 2 – Produção de energias renováveis**

Nesta seção são apresentadas as principais características, dados estatísticos e particularidades das várias tecnologias de aproveitamento de energia renovável, como forma de introduzir o leitor aos vários conceitos relevantes para o trabalho. A informação aqui disponibilizada é sustentada por bibliografia e permite estabelecer a base para o modelo de cálculo desenvolvido.

### **Capítulo 3 – Apartamentos Belas Clube de Campo**

É apresentado ao leitor as características do caso de estudo da dissertação, disponibilizando informações sobre a localização, as necessidades de conforto térmico, de consumo elétrico e as potencialidades do edifício, e da envolvente, para a produção de energia por fontes renováveis. O objetivo é de dar a conhecer um dos pilares do modelo de cálculo desenvolvido, sendo apresentada uma análise ao processo conduzido que permitiu o seu desenvolvimento.

### **Capítulo 4 – Propostas de *mix* para o NZEB**

São apresentadas as métricas de cálculo e o processo do mesmo que conduziu para a determinação do *mix* de energias renováveis. São dados a conhecer ao leitor os contornos que contribuíram para o mesmo e o processo de cálculo da viabilidade económica. Esta seção termina com uma análise de sensibilidade como forma de validação do modelo de cálculo e de análise de robustez ao mesmo.

### **Capítulo 5 – Discussão**

É dado a conhecer ao leitor a abordagem efetuada ao tema, algumas decisões chave, particularidades e limitações do mesmo. Adicionalmente é oferecido ao leitor uma discussão efetuada pelo autor aos resultados obtidos, procedendo-se a uma interpretação dos mesmos. Por último são apresentadas recomendações e propostas de desenvolvimento futuro para quem decida aprofundar o tema, fazendo-se utilizar do trabalho aqui desenvolvido.

### **Capítulo 6 – Conclusões**

Finalmente, são salientadas as principais conclusões retiradas do desenvolvimento da presente dissertação, respondendo às perguntas de investigação colocadas no capítulo introdutório.

### **Anexo 1 – Conceitos Chave**

Aqui encontram-se definidos os conceitos chave mencionados ao longo do documento.

## **Anexo 2 – Metas Europeias 2020 e 2030**

Descrição das metas europeias para 2020 e 2030 acordadas entre a UE e os estados membro, relativamente ao setor energético.

## **Anexo 3 – Condições de irradiância e temperatura**

São apresentadas tabelas referentes às condições de irradiância e temperatura no local de estudo segundo o software PVGIS. É demonstrado o processo que culminou na dedução dos valores típicos diários de cada mês.

## **Anexo 4 – Dedução das equações de tempo de retorno e custo unitário médio atualizado**

Deduções das equações que permitiram o cálculo destas métricas no modelo de viabilidade económico da solução encontrada.

## **Anexo 5 – Planta da iluminação**

Aqui encontra-se anexada a planta de iluminação do edifício de apartamento em estudo, com a localização dos focos luminosos por divisão e piso.

## **Anexo 6 – Planta dos equipamentos de climatização**

Por último é fornecida a planta dos sistemas de climatização instalados nos apartamentos do edifício, com foco para a sua localização e para o código de referência.

## 2. Produção de Energias Renováveis

### 2.1. Contexto

A utilização das fontes renováveis para a obtenção de energia elétrica é um conceito “relativamente recente”, com margem de progressão e desenvolvimento pela frente.

As Energias renováveis aproveitam os recursos naturais para a produção de energia. Esses recursos são inesgotáveis ou apresentam uma capacidade de reposição muito superior comparativamente aos combustíveis fósseis. Sendo, no entanto, um conceito que se associa a um passado recente, há muito que o Homem se faz utilizar do aproveitamento deste tipo de energia para a realização das suas tarefas: energia do vento e da água para moer cereais ou a utilização da biomassa para as suas necessidades térmicas e de alimentação.

Todavia, as tecnologias renováveis e fósseis, em termos de funcionamento e aproveitamento, diferem em certos pontos. Na produção de energia elétrica de origem fóssil, esta é continuada enquanto houver *input* (carvão, petróleo ou gás natural), representando o nível básico de produção energética de qualquer país com um *mix* energético variado. O mesmo não se sucede nas tecnologias renováveis. Estas tecnologias apresentam a característica de dependerem fortemente nas condições climatéricas que podem ou não permitir a extração de energia, sendo que estas nem sempre são favoráveis.

Define-se assim fator de utilização anual,  $h_a$ , que estabelece o número de horas anuais para as quais as centrais funcionam na sua capacidade máxima de potência.

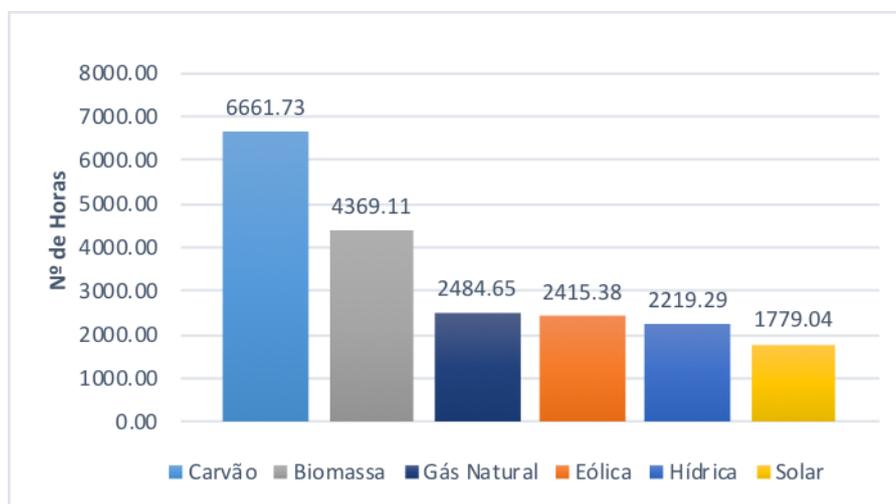


Figura 5-Fator de utilização anual das tecnologias de produção de eletricidade em Portugal.

É importante também definir fator de carga, que representa a percentagem de utilização da tecnologia em relação ao número de horas anuais (8760).

$$FC = \frac{h_a}{h_t} \quad (2.1)$$

Embora a energia de fonte renovável esteja fortemente dependente das condições climatéricas e da disponibilidade dos recursos, representou a principal fonte de energia produzida em Portugal no ano de 2016 com 57% (REN, 2016).

## 2.2. Energia Eólica

A energia eólica aproveita a energia cinética das massas de ar, convertendo-a em energia mecânica através do movimento rotativo das pás das torres eólicas, provocada pela passagem do vento. Embora a energia eólica se apresenta como aquela que mais horas trabalhou para produzir energia, não é a que mais energia produziu, sendo essa distinção atribuída à energia hídrica, dada à sua maior eficiência na conversão energética.

A energia eólica é apontada como uma das fontes de energia renovável mais promissoras, tendo em vista os aspetos de segurança do aprovisionamento energético, de sustentabilidade ambiental e a sua viabilidade económica (Castro, R. 2011).

O aproveitamento de energia do vento pode ser efetuado por três tipologias diferentes:

### 1) Energia eólica *Onshore*

Predominante em grande parte dos países europeus e mundiais, este tipo de energia aproveita a presença do vento em zonas terrestres. Embora não seja dos locais onde a velocidade e presença do vento seja mais predominante - muito devido à presença de desníveis no terreno e de construções humanas – trata-se da tipologia mais adotada e que mais energia converte anualmente. Em Portugal, as turbinas desta categoria apresentam, na sua maioria, uma capacidade de 2MW.

### 2) Energia Mini Eólica

Esta tecnologia difere das convencionais turbinas eólicas *onshore* pela área varrida pelas pás do rotor ou pela própria dimensão das pás. São consideradas turbinas mini eólicas aquelas que, apresentam um diâmetro do rotor compreendido entre os 3 m e os 10 m, podendo existir turbinas com diâmetros mais reduzidos. Estas turbinas apresentam um preço de produção energético mais elevado, podendo ainda assim contribuir como uma energia viável caso sejam dimensionadas corretamente no contexto que se inserem. Localizações longe da rede elétrica podem ser apropriadas para a utilização da tecnologia (Tummala, Velamati, Sinha, Indraja, & Krishna, 2016).

Tabela 1- Características típicas das turbinas mini eólicas (Tummala et al., 2016).

		Diâmetro do rotor (m)		Área varrida pelas pás (m <sup>2</sup> )		Potência Elétrica (kW)	
<b>Pequena Escala</b>	Micro	0.5	1.25	0.2	12	0.004	0.25
	Mini	1.25	3	1.2	7.1	0.25	1.4
	Residencial	3	10	7	79	1.4	16

#### 2.2.1. Dimensionamento, eficiência e custos

Os principais componentes estruturais de uma turbina eólica de eixo horizontal (classificação mais comum) são o rotor, a cabina e a torre (Castro, R. 2011).

O dimensionamento de uma turbina eólica é efetuado através da obtenção dos dados sobre a qualidade do vento à cota correspondente à presença do rotor. No entanto, é necessário também compreender os fenómenos físicos associados à conversão da energia cinética do vento em energia mecânica e como o vento influencia essa mesma conversão e respetivo rendimento. Através das equações fornecidas por (Castro, 2011):

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \rho A u_1^3 \quad (2.2)$$

$$P_r = \frac{1}{2} \rho A \frac{u_1 + u_2}{2} (u_1^2 - u_2^2) \quad (2.3)$$

- $P_{disp}$ : Potência disponível no vento (W)
- $\rho$ : Densidade do ar ( $\text{kg/m}^3$ )
- $A$ : Área varrida pelas pás do rotor ( $\text{m}^2$ )
- $u_1$ : Velocidade do vento antes da turbina (m/s)
- $u_2$ : Velocidade do vento após a turbina (m/s)

Dividindo a equação (2.2) pela equação (2.3), obtemos:

$$C_p = \frac{P_r}{P_{disp}} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{u_2}{u_1} \right) \left[ 1 - \left( \frac{u_2}{u_1} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

A representação da variação de  $P_r/P_{disp}$  em função de  $u_2/u_1$ , representa a variação do rendimento, também designado como Coeficiente de Potência,  $C_p$ .

Para turbinas de eixo horizontal, o rendimento máximo teórico previsto é de cerca de 60%. Este máximo teórico é chamado de *Betz Limit* e representa o valor máximo de rendimento que uma turbina ideal consegue retirar da passagem do vento pelas pás do rotor.

Na prática, as turbinas atuais conseguem apresentar rendimentos não muito inferiores do previsto teoricamente, situando-se nos 48% a 50%, correspondendo a mais de 80% do máximo teórico. Esta redução no rendimento deve-se sobretudo a imperfeições mecânicas (Castro, R. 2011).

Os custos da tecnologia eólica dependem fundamentalmente dos custos de instalação e do tipo de tecnologia aplicada, sendo assim, fortemente dependentes do tipo de fundações, acessos, transporte, ligação à rede, número de turbinas do parque eólico, características do rotor (altura e diâmetro), tipo de gerador, etc. (Castro, R. 2011).

Todavia, é possível efetuar-se uma desagregação dos custos em 2 categorias, 1) custos de instalação e/ou investimento, *Capex*, que compreendem despesas de estudos e despesas com o equipamento e respetiva instalação, e 2) custos de operação e manutenção, *Opex*, que compreendem as despesas administrativas, de operação e de manutenção. Esta desagregação é extensível às outras tecnologias de aproveitamento de energia renovável.

As parcelas correspondentes aos custos de investimento de capital da energia eólica dependem da localização e da tecnologia. Para a energia eólica *Onshore* os custos da turbina eólica representam entre 65% a 84%, seguido dos custos de ligação à rede compreendidos entre 9% a 14%, os custos de construção em cerca de 4% a 16%, e outros custos (licenças, custos de engenharia e desenvolvimento, consultoria e sistemas de monitorização), que correspondem a valores entre os 4% e os 10%. Na energia eólica *Offshore*, o mesmo tipo de custos corresponde a parcelas com valores percentuais diferentes. Os custos da turbina correspondem a uma parcela de 30% a 50%, enquanto que os restantes custos apresentam parcelas superiores comparativamente com a *Onshore*. Os custos de ligação à rede estão compreendidos entre os 15% a 30%, enquanto que os custos de construção e os outros custos estão compreendidos entre os 15% a 25% e os 8% a 30%, respetivamente (IRENA, 2015a).

Este aumento de custos e das parcelas é provocado pelo superior grau tecnológico necessário para a viabilidade do projeto, uma vez que o design e escolha das fundações dependem da profundidade do local e das características geológicas do fundo do mar e das correntes marítimas (Estanqueiro, A., 2009).

Os custos de investimento dependem do fabricante e da empresa de construção encarregue pelo projeto, de modo que, os preços variam consoante o contrato estabelecido e o local.

Tabela 2-Custos e fator de carga médios de projetos eólicos (IRENA, 2015a); (IEA, 2015a); (IRENA, 2012b); (Sawin, Seyboth, & Sverrisson, 2016); (IRENA, 2016); (Kaldellis & Zafirakis, 2011).

Tipologia	Fator de Carga (%)	Custos de Investimento (€/kW)	O&M (€/kWh)	LCOE (€/kWh)
<i>Onshore</i>	25-40	1100-2300	0,01-0,03	0,05-0,14

Relativamente à mini eólica, os custos associados são mais difíceis de prever, uma vez que dependem substancialmente do fabricante do equipamento. Contudo, apresentam a tendência de possuírem custos de investimento mais elevados e fatores de carga mais reduzidos, comparativamente às convencionais instalações eólicas (IRENA, 2012b).

Em média o preço de uma turbina mini eólica bem localizada situa-se entre os 3000\$/kW (~2600€/kW)\* e os 6000\$/kW (~5300€/kW)\*, perfazendo o preço um preço médio de 4500\$/kW (~3840€/kW)\*. Contudo, os preços variam (também) consoante o mercado em si. Nos Estados Unidos o preço médio situa-se perto dos 4000€/kW, no Canadá perto dos 4800€/kW, enquanto que na China os preços podem variar entre os 1300€/kW e os 2600€/kW, dependendo fortemente na sua qualidade de construção e segurança (IRENA, 2012a).

Valores típicos de fator de carga de uma instalação mini eólica situam-se entre os 10% a 20%, dependendo fortemente da localização e do espaço envolvente (McDermott, 2008); (Mithraratne, 2009).

\* No momento de aplicação do modelo de cálculo um dólar estava avaliado em sensivelmente 0.85€.

### 2.2.2. Evolução atual e indicadores para o futuro

A energia eólica apresenta-se como sendo a tecnologia renovável com maior capacidade de crescimento, tendo havido constantemente um aumento do investimento em parques eólicos em anos sucessivos, sendo inclusive, a tecnologia que obteve maior investimento no ano de 2016. A maioria deste investimento foi alcançada pela elevada contribuição de financiamento em tecnologia *Offshore*, como aliás, já se tinha verificado no ano anterior. Países como Alemanha, Reino-Unido, Bélgica e Noruega contribuíram com 80% do investimento efetuado (WindEurope, 2016b). No ano de 2016, na UE, a capacidade instalada de energia eólica ultrapassou a das centrais térmicas a carvão, estando apenas atrás das instalações de gás natural.

Verificou-se um aumento da capacidade instalada, tendência verificada em anos anteriores, com a adição de 13,9 GW, correspondendo a 51% da nova capacidade instalada em tecnologia de produção energética (WindEurope, 2016a).

Em Portugal a mesma tendência foi verificada, com a promoção da instalação de 279 MW de capacidade, correspondendo a uma produção energética de 12,5 TWh. Este valor equivale a 24% da procura interna de energia elétrica. Atualmente a energia eólica é responsável por 40% da capacidade renovável do país, correspondendo a 5,313 MW (Report, 2016).

Muitos cenários foram considerados de modo a se conseguir efetuar previsões em relação ao futuro da energia eólica. Considerando o cenário central – no qual as metas europeias para 2020 e 2030 são cumpridas sem a realização de esforço extra para as exceder – é possível verificar que o crescimento em capacidade instalada, tanto em tecnologia *Onshore* como *Offshore* irá manter a tendência de aumento verificado em 2015 e 2016. Em conjunto com o aumento da capacidade instalada, verificamos igualmente o aumento do investimento na tecnologia, uma vez que, a tendência dos custos de produção da energia é de diminuição gradual (EWEA, 2015).

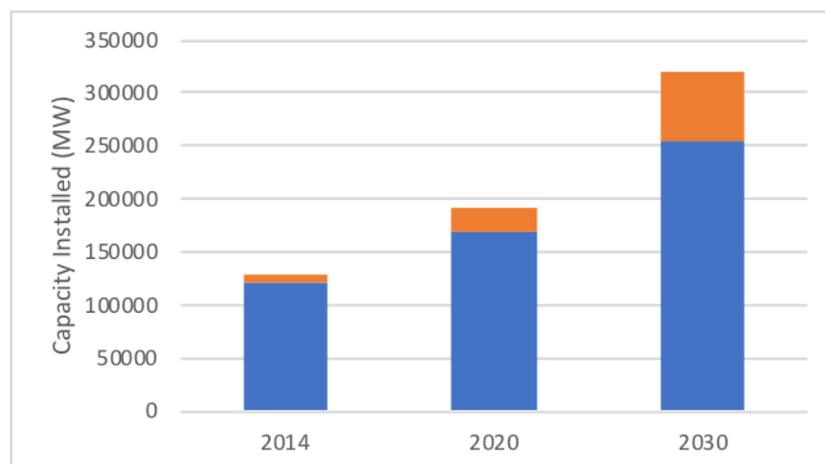


Figura 6-Estimativa da capacidade instalada de energia eólica (EWEA, 2015).

As principais evoluções tecnológicas verificadas para energia eólica assentam no design do sistema – adaptação da tecnologia a vários climas, otimização do *ratio* potência-área de varrimento, aumento da escala das turbinas de 10 MW para 20 MW de modo a obter-se referências para um estudo mais

aprofundado da aplicação em *Offshore* – e nos avanços tecnológicos – rotores mais avançados, aumentando a área de varrimento, atingindo maior alcance, aumentando a produção energética e contribuindo para uma redução do custo de produção da energia (IEA, 2013).

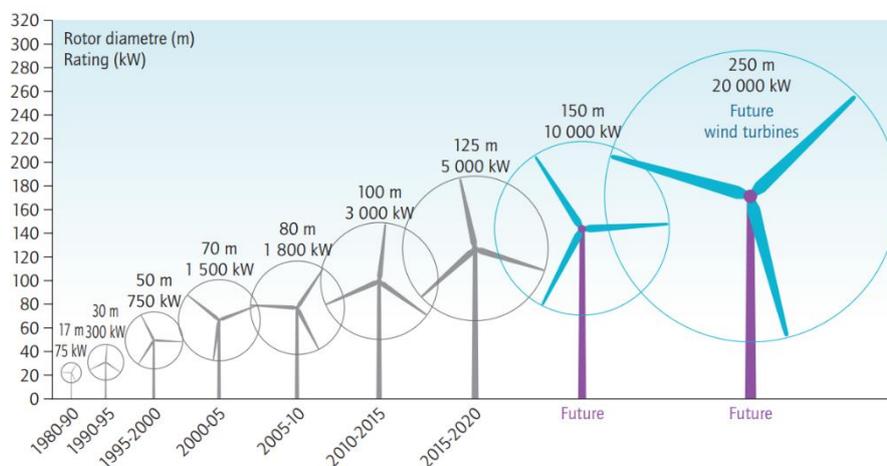


Figura 7-Evolução estimada da dimensão das turbinas eólicas (IEA, 2013).

No caso das turbinas *offshore* é de destacar o recente desenvolvimento de fundações flutuantes, que permitem a aplicação da tecnologia em zonas marítimas com maior profundidade, permitindo ao mesmo tempo uma redução do material de fundação necessário.

### 2.3. Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica aproveita a incidência de fotões (luz solar), direta ou difusa, para criar um movimento de eletrões, dando origem a uma corrente elétrica.

Apesar de ser a forma de energia que menos contribui para o *mix* energético, é uma tecnologia com potencialidades enormes, dada a sua versatilidade de aplicações, tanto em pequena e grande escala.

A tecnologia fotovoltaica pode ser constituída por 3 tipos diferentes de módulos: 1) Silício monocristalino, que representa cerca de 35% do mercado, 2) Silício multicristalino (ou policristalino), que representa 49% do mercado e 3) Fitas de silício, representando 3% do mercado. As células multicristalinas apresentam custos de produção mais baixos, relativamente às principais alternativas, contudo, o rendimento é também mais reduzido face às células monocristalinas (Castro, R. 2011).

Ainda que as tecnologias acima mencionadas sejam as que apresentem maior *share* de mercado (cerca de 87%), são apenas uma das três gerações existentes atualmente. A segunda geração (tecnologia de filmes finos) compreende o restante *share* do mercado e embora ainda esteja em início de desenvolvimento de mercado, já existem investimentos feitos, dos quais se destacam: Células de Silício Amorfo (*share*: 5%); Células de Telureto de Cádmio (*share*: 8%) e Células de Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio (*share*: menos de 1%). A terceira geração encontra-se ainda em fase de desenvolvimento e investigação, compreendendo duas tecnologias principais, as células sensibilizadas por corante e as células orgânicas (IRENA, 2015a); (Castro, R. 2011).

### 2.3.1. Dimensionamento, eficiência e custos

Além do essencial (módulo fotovoltaico), é importante ainda referir que um gerador fotovoltaico, apresenta equipamentos como MPPT e um inversor. Contudo, o principal cálculo a efetuar é o do dimensionamento da potência do módulo.

A potência gerada por um módulo fotovoltaico varia consoante as condições de operação e os fatores ambientais (posição geométrica do sol, níveis de irradiação e temperatura ambiente (que influencia a temperatura da célula) (Singh, 2013).

O rendimento máximo de uma célula fotovoltaica depende da sua potência-pico (potência máxima debitada pelo painel) e da potência incidente. Esta potência-pico é obtida experimentalmente em laboratório, através de testes realizados em condições de referência *STC*, que compreendem uma irradiância incidente ( $G^r$ ) de  $1000 \text{ W/m}^2$  e uma temperatura da célula ( $\Theta^r$ ) de  $25^\circ\text{C}$  (Castro, R. 2011).

$$\eta^r = \frac{P_p}{AG^r} \quad (2.5)$$

A potência gerada por um módulo fotovoltaico, por norma, não chega ao valor da potência-pico, uma vez que obter irradiâncias da ordem dos  $1000 \text{ W/m}^2$  é um acontecimento escasso e manter a temperatura da célula nos  $25^\circ\text{C}$  durante essa incidência é impossível na prática sem refrigeração laboratorial. Assim, os rendimentos obtidos na prática são sempre mais baixos do que os valores retirados experimentalmente.

Tabela 3-Rendimento e fator de carga de módulos fotovoltaicos (Castro, R. 2011); (IRENA, 2015a); (REN, 2016); (IRENA, 2012b).

	<b>Tecnologias</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Fator de carga (%)*</b>
<b>1ª Geração</b>	<b>Silício Cristalino</b>	15 a 21	1770h (20%)
	<b>Fitas de Silício</b>	7 a 10	1770h (20%)
	<b>Células de Silício Amorfo</b>	11 a 12	1770h (20%)
<b>2ª Geração</b>	<b>Células de Telureto de Cádmio</b>	10 a 12	1770h (20%)
	<b>Células de Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio</b>	11 a 15	1770h (20%)

\* valores típicos anuais

O valor do fator de carga é fortemente influenciado pela qualidade do recurso solar e pelo tipo de suporte utilizado, uma vez que existem suportes de seguimento solar que contribuem para um aumento do fator de carga do módulo fotovoltaico.

Tal como na tecnologia de aproveitamento de energia eólica, os custos associados à energia fotovoltaica podem desagregar-se nas categorias de Custos de Investimento, *Capex* e custos de operação e manutenção, *Opex*.

Na categoria de *Capex*, podemos separar os custos em 2 categorias: 1) Custo do módulo e 2) Custo de BoS. Este último compreende os custos do inversor, instalação, sistema de suporte dos módulos, ligações à rede, entre outros.

Nos últimos anos tem-se observado uma descida no custo de investimento da tecnologia fotovoltaica mais concretamente no custo associado aos módulos. Desde o fim de 2009, até ao fim de 2015, verificou-se uma descida de cerca de 80% no preço dos módulos (IRENA, 2016).

Tabela 4-Custos típicos da tecnologia fotovoltaica (IRENA, 2015a); (IEA, 2014).

Tipologia	Custos de Investimento (€/kW)	LCOE (€/kWh)
Grande Escala	<1000	0,02
Residencial	1200 a 1300	0,02

Os custos da tecnologia fotovoltaica são habitualmente mais dispendiosos quando aplicadas a uma escala residencial, contudo, o preço por unidade de potência instalada depende fortemente do tipo de material do qual o painel é constituído e do fabricante (IRENA, 2015a).

Os custos de O&M estimam-se não exceder, em média, 1% dos custos de investimento. São, contudo, bastante variáveis, uma vez que, dependem dos contratos celebrados entre o fabricante e o cliente (Castro, R. 2011), podendo situar-se acima destes valores.

### 2.3.2. Evolução atual e indicadores para o futuro

A nível de capacidade instalada, no ano de 2015, a tecnologia fotovoltaica contava com cerca de 220 GW, correspondendo a uma produção energética de 247 TWh IEA (2017a). Para Portugal, no ano de 2015, a capacidade instalada era de 429 MW, correspondendo a 760 GWh (REN, 2016).

A energia solar, em conjunto com a energia eólica, apresenta elevados níveis de crescimento desde 2007 até ao ano de 2016, com aumentos significativos quer a nível de capacidade instalada, quer a nível de produção elétrica (IEA, 2017a); (REN21, 2015).

Em Portugal, a tendência de aumento foi semelhante, aumentando a sua capacidade instalada para 460 MW em 2016, face aos 24 MW de 2007. Esta tendência de aumento da capacidade instalada verifica-se no aumento de produção elétrica, o qual se fixou em 796 GWh em 2015, face aos 24 GWh registados em 2007 (IEA, 2017a).

Os dados recolhidos até 2014, demonstram uma redução significativa no preço da tecnologia, quer a nível de custos com o módulo fotovoltaico, como com o custo de produção de energia (Jäger-waldau, 2016); (IRENA, 2012b).

As perspetivas de futuro apontam para a continuação do aumento verificado na capacidade instalada e conseqüentemente na produção de energia, dado a tendência demonstrada nos últimos anos e o aumento da disponibilidade da tecnologia (IRENA, 2015a).

Os custos devem, também, demonstrar reduções ao nível do módulo e da energia gerada, dado que, a maior penetração no *share* mundial de equipamentos de baixo custo compele o mercado a orientar-se numa direção de redução de preços (IRENA, 2015a).

## 2.4. Energia Solar Térmica

A energia solar térmica utiliza a radiação solar e converte-a em calor, aumentando a temperatura do fluido de trabalho que circula num sistema fechado. O fluido de trabalho pode ser diretamente utilizado para as necessidades de AQS, de aquecimento/arrefecimento de espaços ou ainda para a transferência de calor, com recurso a permutadores de calor que permitem a utilização da energia para outros fins (SHC IEA, 2016).

No final de 2014, cerca de 410,2 GW de capacidade instalada estavam em operação a nível mundial, com a China a tomar a dianteira com cerca de 70% do *share* mundial, enquanto que a Europa se apresentava apenas com 11,6%. Em Portugal, estimativas do mesmo ano apontavam para 662 MW instalados, correspondendo a cerca de 945 m<sup>2</sup> de área de coletor solar (Tobergte & Curtis, 2013).

Existem vários tipos de coletores para o aproveitamento da radiação solar. Os dois tipos de coletores que dominam o mercado atualmente são: 1) Coletores solares planos (*Flat-Plate Solar Collectors – FPC*), correspondendo a 22.1% e 83.8% do *share* a nível mundial e europeu, respetivamente, e 2) Coletores Solares de Tubos em Vácuo (*Evacuated Tube Solar Collectors – ETC*), correspondente a 71.1% e 11.4% do *share* a nível mundial e europeu, respetivamente (Tobergte & Curtis, 2013). Integrados com os coletores estão os restantes componentes que compõem o circuito solar térmico. Dois tipos de configurações habituais são através da utilização de um termosifão (sistema passivo) ou de sistemas de bombagem (sistema ativo) (SHC IEA, 2016).

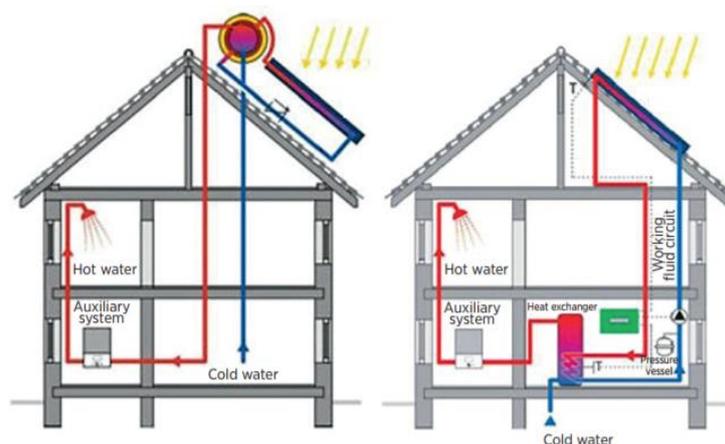


Figura 8-Um sistema com termosifão direto e um sistema com bombas de calor indireto (SHC IEA, 2016).

O sistema de termosifão utiliza a convecção natural como meio de transportar a água quente do coletor para a unidade de armazenamento (termosifão). A água mais fria, presente no fundo da unidade de armazenamento, é circulada de volta para o coletor solar. Este tipo de sistema é o mais utilizado em

climas mais quentes, como é o caso do sul da Europa, com mais 75% do *share* de sistemas solares térmicos. O sistema de bombagem é utilizado em climas onde a convecção natural é mais complicada de se efetuar, recorrendo-se assim a sistemas com bombas, que transportam a água pelo circuito hidráulico até ao tanque de armazenamento. No final de 2012 esta configuração apresentava um *share* de 11% no mercado global, sendo sobretudo utilizadas no mercado norte americano. Os sistemas de energia solar térmica podem ainda ser classificados como diretos, se o fluido aquecido for utilizado diretamente para a sua aplicação final, ou indiretos, se o fluido tiver de passar por um permutador de calor para aquecer outro fluido antes da sua aplicação final (SHC IEA, 2016).

#### 2.4.1. Dimensionamento, eficiência e custos

Tal como na energia solar fotovoltaica a principal componente que permite a verificação das potencialidades de aproveitamento da energia solar para fins térmicos é a radiação solar incidente. Contudo, a avaliação do consumo diário é essencial no dimensionamento do volume de acumulação, de forma a garantir-se o constante fornecimento de água quente. A área dos coletores e a temperatura de referência à qual se pretende que a água atinja (que se encontra à temperatura ambiente), são também fatores de interesse no dimensionamento de sistemas solares térmicos.

O rendimento de um coletor solar térmico depende sobretudo da temperatura média do painel, da temperatura ambiente e da irradiância incidente. Rendimentos típicos dos coletores solar, tanto planos, como de tubos em vácuo, situam-se entre os 40% e os 50%, sendo o seu valor de fator de carga, também, semelhante aos painéis fotovoltaicos, situando-se nos 20%, valor que depende da irradiância incidente do local. A rendimento máximo é obtido quando ambas as temperaturas são iguais, obtendo-se rendimentos de 75% para painéis planos e de 50% para tubos em vácuo, embora estes valores raramente sejam obtidos, uma vez que ambas as temperaturas raramente convergem nesse sentido (Chen, Furbo, Perers, Fan, & Andersen, 2012); (Mehalic, 2009).

A decomposição dos custos associados a sistemas deste tipo é efetuada da seguinte forma: 50% pertencente ao coletor solar e à instalação do suporte do coletor, 16% para a tubagem e isolamento, 11% para o tanque de armazenamento, sendo a restante parcela atribuída a outros componentes, como válvulas, sensores, medidores, permutadores de calor e bombas (SHC IEA, 2016).

Tabela 5-Custos típicos das tecnologias solares térmicas (SHC IEA, 2016); (Tobergte & Curtis, 2013).

Tecnologia	Tipologia	Custo de Investimento (€/kW <sub>t</sub> )	O&M Anual (% do investimento)	LCOH (€/kWh)
Termosifão	Direto	374	0,25	0,06
	Indireto	1245,25		
Bombagem	Direto	1058,25	0,5	0,12
	Indireto	1607,92		

## 2.4.2. Evolução atual e indicadores para o futuro

Energia solar térmica utilizada em AQS é já uma aplicação comum em vários países, tratando-se de uma tecnologia já madura, sendo comercialmente disponível há cerca de 30 anos. A potencialidade na redução do consumo de combustível para AQS e aquecimento do ambiente dentro de casa tornam esta aplicação atrativa. As reduções no consumo de combustível podem ser na ordem dos 50%-70% para AQS e 30%-60% para aquecimento do espaço (SHC IEA, 2016).

Os avanços tecnológicos mais relevantes nas tecnologias solares térmicas são no desenvolvimento de arrefecimento por energia solar térmica integrado no sistema de aquecimento solar e sistemas híbridos, que integram o aproveitamento da energia térmica solar com painéis fotovoltaicos. Contudo, ambas as tecnologias ainda se encontram nas suas fases iniciais, uma vez que, no caso do sistema integrado de aquecimento e arrefecimento, melhorias no rendimento térmico só recentemente foram alcançados com os coletores avançados planos e de tubos em vácuo. Relativamente aos sistemas solares híbridos, apesar de ambas as tecnologias individualmente serem maduras, ainda é necessária mais investigação de forma a perceber-se qual a configuração ótima em diferentes condições ambientais (SHC IEA, 2016).

É esperado que o aumento verificado, nos últimos anos, na capacidade instalada seja mantido até 2020. Contudo, a taxa de crescimento irá baixar, fixando-se em cerca de 15% (SHC IEA, 2016).

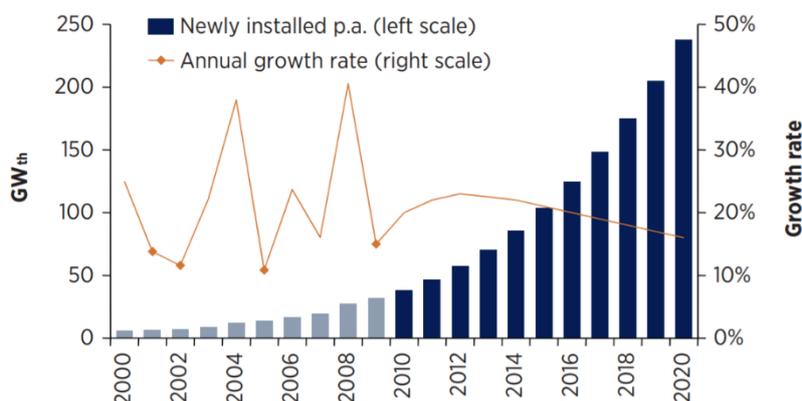


Figura 9-Evolução estimada da capacidade instalada e respetiva taxa de crescimento (SHC IEA, 2016).



### 3. Apartamentos Belas Clube de Campo e Necessidades de Consumo

#### 3.1. Apartamentos

O caso de estudo é um edifício de apartamentos, situado em Belas Clube de Campo. A zona envolvente do edificado denomina-se *Lisbon Green Valley*, pertencente ao município de Belas no concelho de Sintra. O edifício de apartamentos é o lote 10, construído recentemente e possui 16 apartamentos, contendo tipologias T1, T2 e T3, distribuídos por 4 pisos.



Figura 10-Fachada principal do edifício, orientada a poente (oeste).

Tabela 6-Características principais dos apartamentos do local de estudo, segundo os certificados energéticos.

Tipologia	Apartamento	Área útil (m <sup>2</sup> )	Equipamento AQS (Contributo renovável)	Equipamento Arrefecimento e Aquecimento Ambiente	Orientação	C. Energética
T1	R/C FR.B	77,15	- 1 Coletor solar Vulcano FKC-2S - Caldeira a gás Vulcano Lifestar Green			
	R/C FR.I					
T2	1º FR.D	104	- 1 Coletor solar Vulcano FKC-2S - Caldeira a gás Vulcano Lifestar Green	- Caldeira a gás Vulcano Lifestar Green (Piso radiante)	Oeste e Este	A
	1º FR.K					
	2º FR.F					
	2º FR.M					
	3º FR.H					
3º FR.O						
T3	R/C FR.A	143,6	- 2 Coletores solares Vulcano FKC-2S - Caldeira a gás Vulcano Lifestar Green	- A/C Daikin FXAQ 63P (Sala) e Daikin FXAQ 20P (Quarto(s))	Norte ou Sul, Oeste e Este	
	R/C FR.J					
	1º FR.C					
	1º FR.L					
	2º FR.E					
	2º FR.N					
	3º FR.G					
3º FR.P						

A localização específica dos equipamentos de climatização presente nos apartamentos está presente na planta no Anexo 6.



Figura 11-Vista do telhado do edifício, onde se encontram os painéis solares térmicos.

## 3.2. Necessidades de consumo

Relativamente às necessidades de consumo, estas podem dividir-se em duas categorias, as necessidades térmicas, que compreendem as necessidades de AQS, de aquecimento e arrefecimento ambiente, e uma segunda categoria que compreende o consumo elétrico dos equipamentos presentes nos apartamentos.

### 3.2.1. Necessidades de conforto térmico

As necessidades térmicas foram obtidas recorrendo ao certificado energético de cada apartamento (facultados pela agência imobiliária), enquanto que as necessidades elétricas dos equipamentos foram alvo de pressupostos que serão descritos posteriormente.

O certificado energético apresenta aos compradores (ou inquilinos) informações sobre as necessidades de consumo do imóvel. As informações disponibilizadas no certificado energético são referentes apenas às necessidades de conforto térmico e dos equipamentos presentes para o efeito, não sendo contabilizados outros equipamentos que consomem energia elétrica. Os certificados apresentam também informações sobre aspetos construtivos dos imóveis, ações de melhoria nesse âmbito, entre outras, sendo, contudo, irrelevantes no âmbito do presente trabalho.

As informações essenciais extraídas dos certificados energéticos dos apartamentos estão presentes na tabela 7.

Relativamente às necessidades de arrefecimento ambiente, algumas frações não apresentam indicações no certificado energético, contudo, os valores existentes estão compreendidos entre 1,2 e 1,6 kWh/m<sup>2</sup> anuais, não sendo especificado nenhum equipamento para o efeito.

Tabela 7-Conteúdo extraído dos certificados energéticos relativamente às necessidades térmicas de conforto.

Tipologia	Apartamento	AQS	Aquecimento Ambiente
T1	R/C FR.B	- 15 kWh/m <sup>2</sup> anuais, dos quais 85% têm origem renovável	- 31 kWh/m <sup>2</sup> anuais, dos quais 0% têm origem renovável
	R/C FR.I		
T2	1º FR.D	- 17 kWh/m <sup>2</sup> anuais, dos quais 78% têm origem renovável	- Frações com necessidades entre 13 e 30 kWh/m <sup>2</sup> anuais, dos quais 0% têm origem renovável
	1º FR.K		
	2º FR.F		
	2º FR.M		
	3º FR.H		
	3º FR.O		
T3	R/C FR.A	- 17 kWh/m <sup>2</sup> anuais, dos quais 88% têm origem renovável	- Frações com necessidades entre 22 e 39 kWh/m <sup>2</sup> anuais, dos quais 0% têm origem renovável
	R/C FR.J		
	1º FR.C		
	1º FR.L		
	2º FR.E		
	2º FR.N		
	3º FR.G		
3º FR.P			

Em alguns apartamentos as necessidades de arrefecimento ambiente não se encontram discriminadas, pelo que a sua presença na tabela 7 foi retirada. Não obstante, na tabela 9, as necessidades de arrefecimento ambiente encontram-se contabilizadas por apartamento, ao invés da apresentação dos valores médios presentes na tabela 7.

Embora não esteja contabilizado no certificado energético, foi possível, através de contacto estabelecido com a agência imobiliária, obter uma lista dos equipamentos elétricos presentes em cada apartamento. Nesta lista, encontram-se equipamentos de AC, que podem contribuir para a supressão das necessidades de conforto térmico, conforme foi indicado no fim da seção 3.1.

Na tabela 9. encontra-se as necessidades de conforto térmico das frações. As colunas que correspondem às parcelas restantes, resultam da subtração da produção de energia dos coletores solares, caldeiras para AQS e Aquecimento Ambiente, às necessidades em kWh/ano estimadas pelos certificados. A subtração das necessidades pelo consumo de energia das caldeiras considerou os valores especificados nos certificados energéticos. Numa abordagem mais realista, uma caldeira a funcionar o ano inteiro apresenta capacidade para suprir a totalidade das necessidades de AQS e aquecimento ambiente. Estes cálculos permitem estimar os valores de consumos esperados pelos

equipamentos de A/C, que serão posteriormente adicionados ao consumo de equipamentos elétricos presentes nas frações.

Tabela 8-Produção de Energia Solar Térmica por fração de acordo com os certificados energéticos.

<b>Apartamento (Tipologia)</b>	<b>Produção de Energia Solar Térmica (kWh/ano)</b>	<b>Área Total do Coletor (m2)</b>	<b>Produtividade (kWh/m2.coletor)</b>
R/C FR.A (T3)	2087	4.5	463.78
R/C FR.B (T1)	1016	2.25	451.56
R/C FR.I (T1)	1016	2.25	451.56
R/C FR.J (T3)	2087	4.5	463.78
1º FR.C (T3)	2087	4.5	463.78
1º FR.D (T2)	1393	2.25	619.11
1º FR.K (T2)	2087	4.5	463.78
1º FR.L (T3)	1393	2.25	619.11
2º FR.E (T3)	2087	4.5	463.78
2º FR.F (T2)	1393	2.25	619.11
2º FR.M (T2)	2087	4.5	463.78
2º FR.N (T3)	1393	2.25	619.11
3º FR.G (T3)	2087	4.5	463.78
3º FR.H (T2)	1393	2.25	619.11
3º FR.O (T2)	2087	4.5	463.78
3º FR.P (T3)	1393	2.25	619.11

Tabela 9-Contributo dos coletores solares e caldeira a gás nas necessidades de conforto térmico.

<b>Apartamento (Tipologia)</b>	<b>Necessidades AQS (kWh/ano)</b>	<b>Necessidades Aquecimento Ambiente (kWh/ano)</b>	<b>Necessidades Arrefecimento Ambiente (kWh/ano)</b>	<b>AQS – parcela restante (kWh/ano)</b>	<b>Aquecimento Ambiente – parcela restante (kWh/ano)</b>
R/C FR.A (T3)	2441	4308	172	57	8
R/C FR.B (T1)	1157	2392	-	-36	453
R/C FR.I (T1)	1157	2392	-	-36	-11
R/C FR.J (T3)	2441	3877	-	57	-48
1º FR.C (T3)	2441	3303	187	57	-138
1º FR.D (T2)	1768	1664	135	-25	38
1º FR.K (T2)	1768	1664	135	-25	-36
1º FR.L (T3)	2441	3303	-	57	85
2º FR.E (T3)	2441	3446	201	57	5
2º FR.F (T2)	1768	1352	166	-25	-5
2º FR.M (T2)	1768	1456	166	-25	25
2º FR.N (T3)	2441	3159	172	57	-59
3º FR.G (T3)	2441	5600	-	57	-28
3º FR.H (T2)	1768	3016	146	-25	-51
3º FR.O (T2)	1768	3120	146	-25	-35
3º FR.P (T3)	2441	5457	-	57	32

Na tabela 9, assume-se que não existem picos de necessidades, sendo consideradas constantes. Num contexto real esta situação não se verifica.

A dedução efetuada neste momento assenta na consideração das parcelas restantes (Tabela 9) como consumo energético necessário para o conforto térmico e que serão satisfeitos recorrendo à utilização dos equipamentos de AC presentes em todos os apartamentos (no caso da parcela restante correspondente ao aquecimento ambiente). Relativamente à parcela restante de AQS, uma vez que os apartamentos já se encontram apoiados por equipamentos para o efeito, optou-se por não se assumir qualquer instalação ou utilização de equipamento extra.

Na secção 3.1, abordou-se a existência de aparelhos de climatização espalhados pelas divisões das frações do lote. Segundo as plantas das instalações dos sistemas de climatização (presentes no Anexo 6), todas as assoalhadas e salas de qualquer apartamento encontram-se fornecidas de equipamentos individuais de AC, apoiados por um unidade exterior colocada na cobertura.

Tabela 10-Consumo elétrico dos equipamentos A/C para suprir as necessidades de conforto térmico enunciadas nos certificados energéticos.

Tipologia	Apartamento	Equipamentos A/C	A/C para Aquecimento Ambiente (kWh/ano)	A/C para Arrefecimento Ambiente (kWh/ano)
T1	R/C FR.B	- 1x Daikin FXAQ 20P	453	Não especificado
	R/C FR.I	- 1x Daikin FXAQ 63P	Necessidades cobertas	Não especificado
T2	1º FR.D		38	135
	1º FR.K	- 2x Daikin FXAQ 20P	Necessidades cobertas	135
	2º FR.F		Necessidades cobertas	166
	2º FR.M	- 1x Daikin FXAQ 63P	25	166
	3º FR.H		Necessidades cobertas	146
	3º FR.O		Necessidades cobertas	146
T3	R/C FR.A		8	172
	R/C FR.J		Necessidades cobertas	Não especificado
	1º FR.C	- 3x Daikin FXAQ 20P	Necessidades cobertas	187
	1º FR.L		85	Não especificado
	2º FR.E	- 1x Daikin FXAQ 63P	5	201
	2º FR.N		Necessidades cobertas	172
	3º FR.G		Necessidades cobertas	Não especificado
	3º FR.P		32	Não especificado

Os aparelhos instalados nos quartos e sala das frações são unidades murais de montagem na parede. Os equipamentos posicionados nos quartos apresentam uma capacidade nominal para arrefecimento e aquecimento de 2,2 kW e 2,5 kW, respetivamente. No que diz respeito às unidades colocadas nas salas das frações, estas apresentam uma capacidade nominal para arrefecimento e aquecimento de 7,1 kW e 8,0 kW, respetivamente.

Esta abordagem permite obter uma estimativa simplificada do consumo elétrico de equipamentos de contribuem para o conforto térmico (quer em termos da parcela restante de aquecimento ambiente, como no caso do arrefecimento ambiente), que posteriormente será adicionada ao consumo elétrico dos restantes equipamentos.

Na tabela 13 constam os consumos de energia elétrica para os equipamentos de AC para cada fração.

Em metade dos apartamentos de cada tipologia, a utilização dos equipamentos referidos no certificado energético (exceto para a tipologia T2) é suficiente para cobrir as necessidades de Aquecimento Ambiente.

### 3.2.2. Necessidade de consumo elétrico

Conforme foi apurado junto da agência imobiliária, os apartamentos encontram-se equipados com equipamentos elétricos necessários e comuns a qualquer habitação. Foi possível obter uma lista dos referidos equipamentos que são comuns a todas as frações e posteriormente uma segunda lista de equipamentos foi considerada.

Esta segunda lista consiste em equipamentos consumidores de energia elétrica que variam consoante a habitação (exemplo: máquina de café, computadores, etc).

Ambas as listas foram fornecidas pela agência imobiliária, nas quais testes de consumo elétrico foram conduzidos a cada equipamento, como forma de medir o consumo elétrico (esperado) das frações do edifício. Estes testes (que no fundo são cálculos de consumo) foram conduzidos em duas moradias que se apresentam equipadas com os mesmos equipamentos elétricos que o objeto de estudo deste documento.

A tabela 11 apresenta uma descrição dos equipamentos que constam na primeira lista fornecida.

Tabela 11-Lista de equipamentos existentes em todas as frações do caso de estudo.

<b>Equipamentos elétricos comuns a todas as frações</b>	<b>Potência (W)</b>
Exaustor – DWB09W651 (Bosch)	250
Placa de indução – PIT851F17E (Bosch)	6000
Forno elétrico – HBA43S452E (Bosch)	3380
Micro-ondas – HMT75M654 (Bosch)	1270
Congelador – GIN38P60 (Bosch)	120
Frigorífico – KIR81AF30 (Bosch)	90
Máquina de lavar loiça – IQ500-SN66M039U (Siemens)	800
Máquina de lavar roupa – IQ500-WM10T408ES (Siemens)	500
Máquina de secar roupa – WTG86260EE (Siemens)	2800
Toalheiros elétricos – SG800E (Foursteel)	300

Relativamente à segunda lista mencionada anteriormente, esta contém equipamentos que variam consoante a habitação. Uma vez que a agência imobiliária utilizou estes equipamentos para testar o consumo elétrico das moradias, ficou decidido que os mesmos equipamentos seriam utilizados de forma a se estimar o consumo elétrico das frações. Esta lista pode ser consultada na tabela 12.

Tabela 12-Lista de equipamentos elétricos considerados para a determinação do consumo dos apartamentos.

<b>Equipamentos elétricos considerados</b>	<b>Potência (W)</b>
Televisão 60UH (LG)	79
Aspirador – SJ WWR6 011 (Hoover)	75
Aspirador – Illuminate (Rainbow)	1800
Secador de cabelo – 3200 compact (Parlux)	1900
Torradeira – 242026 (Morphy Richards)	1000
Máquina de café – Inissia Black De’Longhi EN80	1260
PC – Macbook Pro 13” (Apple)	200
Telemóveis/Tablets	12,4
Ferro de engomar – GC 4516/20 (Philips)	2400

Dos equipamentos descritos na tabela 11 e tabela 12, existem 3 que merecem especial atenção. A quantidade de toalheiros elétricos presentes em cada habitação depende do número de casas de banho do imóvel, pelo que, durante a análise do consumo elétrico, o número de toalheiros foi considerado igual ao número de casas de banho existentes.

Na tabela 12, o número de computadores pessoais e telemóveis/tablets foi considerado como diretamente proporcional ao número de habitantes da fração. Para tal, foi assumido que para uma tipologia T1 existem dois moradores, para a tipologia T2 existem três moradores e para a tipologia T3 existem quatro moradores, pelo que, durante a análise ao consumo elétrico, a quantidade destes equipamentos presente na habitação varia consoante a tipologia, conduzindo a diferentes quantidades de consumo elétrico.

Para estimar os consumos dos apartamentos é imperativo estimar o perfil de consumo dos equipamentos neles presentes. Para tal, é necessário colocar pressupostos e estabelecer algumas assunções, uma vez que as frações não se encontram ainda habitadas.

A tabela 13 sintetiza os pressupostos definidos para cada equipamento, conduzindo desta forma ao estabelecimento dos números de horas diárias e/ou semanais de consumo elétrico.

Tabela 13-Lista de pressupostos colocados nos equipamentos relativamente à sua utilização semanal.

<b>Equipamento Elétrico</b>	<b>Assunções/Pressupostos</b>	<b>Utilização semanal (h)</b>
Exaustor	Utilização diária de 1 hora para culinária	7
Placa de Indução		7
Forno Elétrico	Utilização semanal de 2 horas para culinária	2
Micro-ondas	Utilização semanal de 30 minutos para culinária	0,5
Congelador	Utilização contínua e igual a 24 horas por dia	168
Frigorífico		168
Máquina de lavar loiça	Utilização em regime dia sim, dia não (4 vezes por semana), recorrendo ao programa de lavagem de 1 hora (assumindo que existe)	4
Máquina de lavar roupa	Utilização semanal de 3 horas (considerando o tempo de duração médio dos programas de lavagem)	3
Máquina de secar roupa		3
Toalheiros elétricos	Utilização diária de 30 minutos, sendo apenas utilizado durante estações frias (metade do ano)	3,5
Televisão	Utilização diária de 4 horas (considerando apenas a existência do equipamento na sala)	28
Aspirador de mão	Utilização semanal de 30 minutos (pequenas limpezas)	0,5
Aspirador	Utilização semanal de 2 horas	2
Secador de cabelo	Utilização diária de 15 minutos	1,75
Torradeira	Utilização diária de 10 minutos	1,17
Máquina de café		1,17
Computador pessoal	Uma unidade por pessoa, com utilização diária de 3 horas	27
Telemóveis/Tablets	Uma unidade por pessoa, com utilização diária de hora e meia (1 telemóvel ou tablet por pessoa)	10,5
Ferro de engomar	Utilização semanal de 2 horas	2

As assunções estabelecidas permitem obter uma estimação simplificada dos consumos a esperar dos apartamentos do caso de estudo.

A utilização semanal nas máquinas de lavar roupa, loiça e de secar foi efetuada em horas e não em ciclos de forma a simplificar-se a metodologia de cálculo. Os valores de utilização semanal dos equipamentos seguem a experiência pessoal do autor, contudo inquéritos ao consumo seriam uma abordagem mais correta. No entanto, os últimos inquéritos realizados em Portugal encontram-se já obsoletos.

A obtenção dos valores de utilização semanal permite determinar o consumo dos equipamentos no mesmo período de tempo, permitindo posteriormente a extrapolação destas grandezas para um período de tempo anual. Cada ano tem em média 52 semanas, não sendo contabilizadas qualquer período de férias por parte dos moradores.

A juntar ao consumo elétrico dos equipamentos é necessário juntar os consumos relativos à iluminação dos apartamentos. Cada tipologia de apartamento possui o mesmo número de lâmpadas LED de 7W que são pré-instalados no apartamento (focos de luz e luzes de iluminação no teto, por exemplo).

Contudo, os apartamentos T3 situados no piso R/C possuem mais iluminação LED, devido à existência de um espaço exterior mais amplo (jardim).

O número de equipamentos de iluminação presentes em cada tipo de tipologia pode ser consultado na tabela 14 e a sua localização pode ser consultada na planta presente no Anexo 5, providenciada pela agência imobiliária.

Tabela 14-Número de lâmpadas LED presentes em cada tipologia.

Tipologia	Cozinha	Quarto	Sala	Casas de banho	Exterior	Corredores
T1	4	1	6	3	5	2
T2	6	4	3	6	2	2
T3	7	4	7	6	7	3
T3 (R/C)	7	6	7	6	16	3

Tal como foi aplicado no caso dos equipamentos elétricos presentes nos apartamentos, o número de horas diárias de utilização da iluminação foi alvo pressupostos, podendo não representar da forma mais fiel o consumo de um apartamento do género.

Em resumo, foi assumido que a cozinha teria uma utilização diária de duas horas, o quarto de uma hora, a sala de cinco horas (assumida como sendo a divisão mais utilizada), as casas de banho de duas horas, o exterior (jardim para o R/C e varandas nos restantes pisos) de uma hora e os corredores de uma hora.

Sabendo o consumo elétrico de todos os equipamentos, sejam de iluminação, de entretenimento, de necessidades térmicas, etc., é possível estimar o consumo elétrico anual para cada um dos 16 apartamentos presentes no lote 10. Estes valores podem ser consultados na tabela 15.

Tabela 15-Consumo elétrico médio anual estimado para os apartamentos do lote 10.

Tipologia	Apartamento	Consumo elétrico final (kWh/ano)
T1	R/C FR.B	7150,351
	R/C FR.I	6697,701
T2	1º FR.D	7083,915
	1º FR.K	7045,915
	2º FR.F	7077,115
	2º FR.M	7102,115
	3º FR.H	7056,315
	3º FR.O	7056,315
	R/C FR.A	7416,469
T3	R/C FR.J	7236,149
	1º FR.C	7422,829
	1º FR.L	7320,949
	2º FR.E	7442,589
	2º FR.N	7408,469
	3º FR.G	7236,149
	3º FR.P	7267,949

Dos dados presentes na tabela 15, podemos deduzir os seguintes resultados:

1. Consumo per capita: 1,10 kWh/m<sup>2</sup>
2. Consumo médio por apartamento: 3,73 kWh/m<sup>2</sup>
3. Consumo total edifício: 59,69 kWh/m<sup>2</sup>

## 4. Propostas de *mix* para NZEB

### 4.1. Potencialidades no edifício/envolvente

#### 4.1.1. Condições climáticas

Tendo estimado o consumo elétrico em cada uma das frações do lote 10, é necessário obter as potencialidades de produção de eletricidade de origem renovável, de modo a que ambas as parcelas de anulem e se obtenha o zero de energia (consumo = produção).

As potencialidades do edifício consistem na presença de equipamento(s) de produção de energia renovável no telhado do mesmo, uma vez que não é possível integrar tecnologias renováveis na sua fachada. Para tal, o edifício já se encontra equipado com equipamentos de energia solar térmica para AQS (conforme mencionado na secção 3.1), dado que é obrigatório por lei, conforme é indicado no decreto-lei nº118/2013 (Ministério da Economia e do Emprego, 2013), que revoga o anterior (decreto-lei nº80/2006).

Conforme informações recolhidas junto da agência imobiliária, o edifício (no seu telhado) não apresenta espaço disponível para a inclusão de outros equipamentos de aproveitamento de energia renovável (painéis fotovoltaicos, turbinas mini eólicas, etc), considerando o espaço disponível necessário para a realização de operações de manutenção.

Como tal, as potencialidades do edifício são constituídas apenas pela utilização de painéis solares térmicos, cujos valores médios de produção de energia anual são fornecidos pelos certificados energéticos e podem ser deduzidos da tabela 10, presente na secção 3.2.1 (subtraindo os valores da coluna Necessidades AQS (kWh/ano) pelos valores da coluna AQS – parcela restante (kWh/ano)).

Relativamente às potencialidades da envolvente, o edifício encontra-se colocado numa zona de vento moderado, presente durante a grande maioria do ano e com exposição solar frequente, com a fachada principal direcionada para sul (*azimuth* = 0°).

De modo a se poder estudar a produção de energia renovável num local, é necessário um estudo sobre as condições do vento e da exposição solar. A determinação destas condições passa por avaliar a velocidade do vento e a irradiância solar presentes no local, em intervalos de tempo regulares, que permitam a criação de uma distribuição.

Uma vez que não existem estações meteorológicas no complexo onde se insere o objeto de estudo, nem seria possível conduzir uma operação dessa grandeza sem perturbar a execução desta dissertação, recorreu-se a software gratuito e disponível na internet.

Os dados da velocidade do vento e da irradiância solar foram obtidos recorrendo ao MERRA-2 (MERRA-2, 2017) e ao sistema PVGIS da comissão europeia (EC, 2018). Estas duas bases de dados possibilitam a obtenção de séries temporais horárias destas grandezas, para uma dada localização, fazendo-se utilizar de modelos numéricos atualizados através das estações meteorológicas mais próximas.

Foram obtidos dados relativos a 11 anos, durante o período de 2007 a 2016, obtendo-se 8760 valores (8784 em anos bissextos) para cada uma das variáveis em questão. Durante este período foram contabilizados 3 anos bissextos, cujos valores para 29 de fevereiro foram negligenciados nesta análise.

Tendo um conjunto de dados correspondente a um período de 11 anos foi possível obter valores médios destas grandezas mais fiáveis. Recorrendo à utilização de valores médios foi possível comprimir os limites máximos e mínimos, existindo um intervalo de valores mais reduzido, eliminando, contudo, a alta variabilidade (intermitência) destas variáveis chave, algo que é característico nas aplicações eólicas e solares.

Obteve-se assim uma distribuição correspondente ao ano médio para o local de estudo, na qual o processo de cálculo da energia produzível assenta. Na figura 15 é possível comparar as diferenças na distribuição de valores entre o ano médio calculado e o primeiro e último ano recolhidos do sistema MERRA-2.

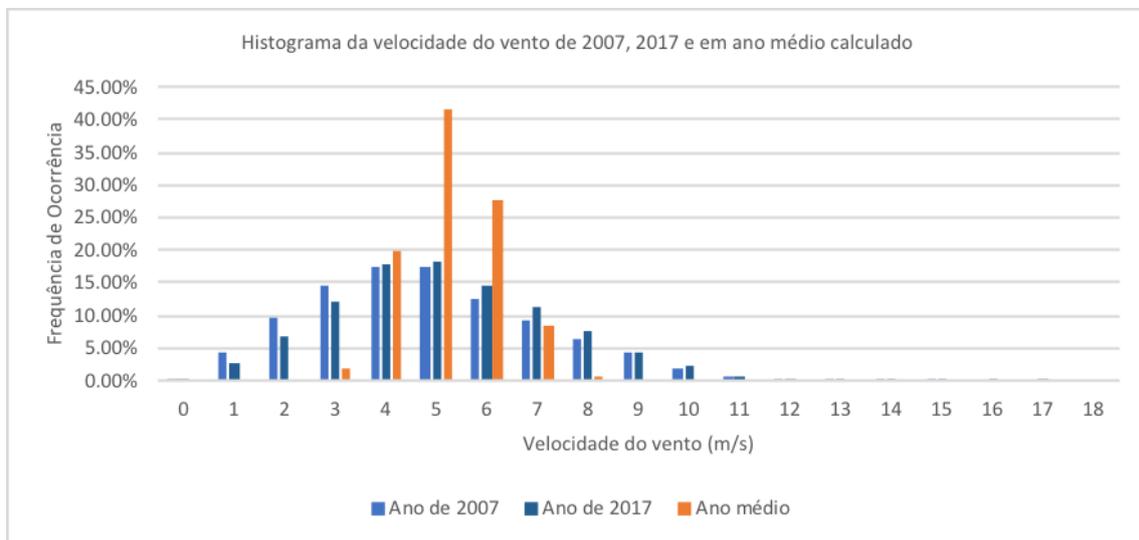


Figura 12-Diferença nas distribuições de dois anos recolhidos e do ano médio calculado.

A velocidade média do vento registada no local, nos dados correspondentes aos 11 anos obtidos situou-se em valores próximos de 5 m/s.

A orientação do vento é uma grandeza importante, pois permite determinar a orientação das turbinas eólicas no local. Através dos dados recolhidos, foi possível construir uma rosa dos ventos que demonstra a predominância de ventos na direção Sul/Sudoeste, conforme é ilustrado na figura 13.

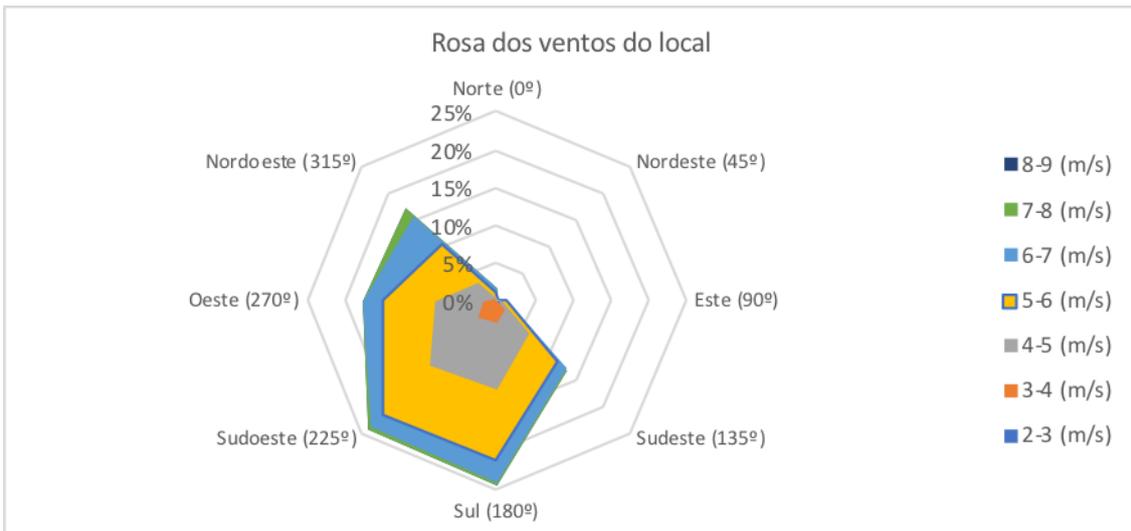


Figura 13-Direção e distribuição dos ventos na zona envolvente do caso de estudo.

Para a irradiância solar optou-se por uma abordagem ligeiramente diferente. Optou-se pela determinação de um dia típico de cada mês, dadas as características do processo de cálculo adotado e da variação da própria irradiância. Para tal, foi efetuada uma média horária para cada mês, perfazendo o dia típico referido.

Na figura 14, é possível observar a variação da irradiância incidente ao longo dos meses do ano. Embora só tenha sido demonstrada a irradiância direta, a parcela correspondente à irradiância difusa foi também considerada para a análise das potencialidades de produção de energia solar fotovoltaica.

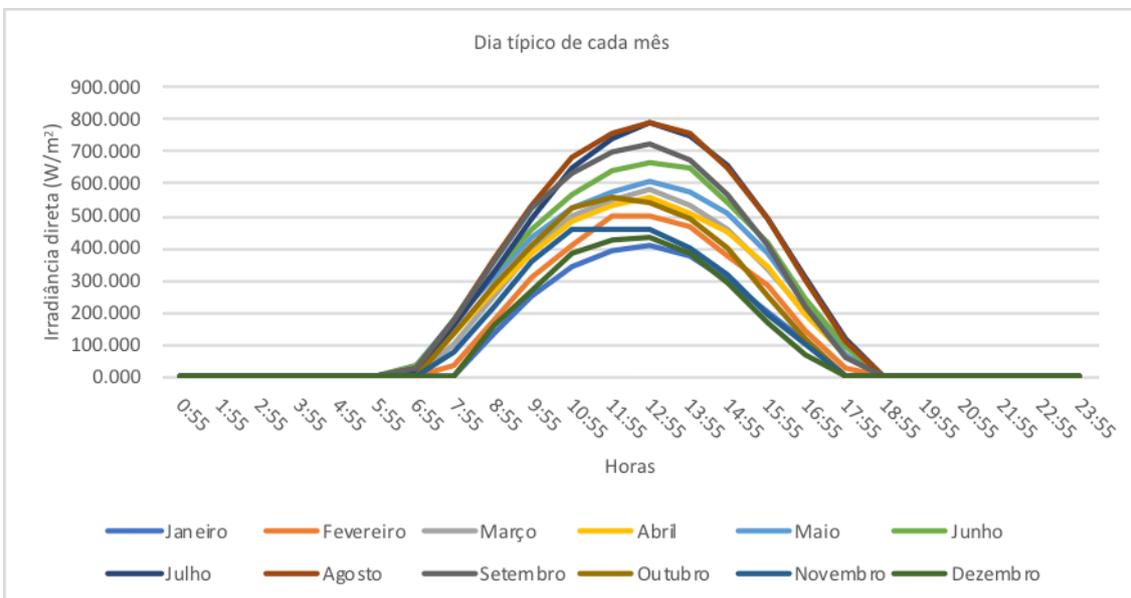


Figura 14-Variação da irradiância incidente por dia típico de cada mês.

Nos meses de Inverno a irradiância solar é bastante mais baixa (em termos médios) que nos meses de verão devido à maior predominância de dias sem sol.

#### 4.1.2. Potencialidades de produção de energia renovável

Havendo disponíveis os dados cruciais para o cálculo da energia elétrica produzível no local, e tendo em consideração o tratamento efetuado aos dados na secção anterior (ano médio de séries temporais horárias para a velocidade do vento e dia do mês típico para a irradiância solar), é possível recorrer-se a modelos de cálculo simplificados, apropriados a uma fase anteprojecto.

- Energia Solar Fotovoltaica

O processo de cálculo da energia produzível através de painéis fotovoltaicos, baseou-se num método simplificado de cálculo, conhecido por modelo ideal ou modelo de um díodo e três parâmetros.

Embora se tenha recorrido a um modelo simplificado de cálculo, este apresenta um erro face a resultados experimentais bastante reduzido, assim como, quando comparado com o modelo mais detalhado de um díodo e cinco parâmetros.

Embora o modelo de cinco parâmetros seja mais certo no cálculo da potência do painel em função da tensão, de forma geral, o modelo simplificado não apresenta um erro muito acentuado, sendo aliás, mais certo que o modelo de cinco parâmetros para baixas irradiâncias (Crispim, Carreira, & Rui, 2007).

Num estudo desenvolvido por (Crispim et al., 2007), é demonstrado que o erro do modelo simplificado na determinação da curva I-V de um painel fotovoltaico não excede os 3,21% quando a temperatura é mantida em 25°C (mantendo a irradiância constante), assim como, não excede os 5,26% quando a irradiância é mantida constante e a temperatura se torna o fator variável.

Na determinação da potência, os autores concluem que ambos os modelos apresentam erros de aproximação bastante semelhantes, face aos resultados experimentais nos quais se baseia o estudo de validação conduzido, sendo interessante verificar que de uma forma mais generalista, o modelo simplificado apresenta erros inferiores ao modelo mais detalhado, situados entre os 8% e os 16% para o mês de estudo, fevereiro.

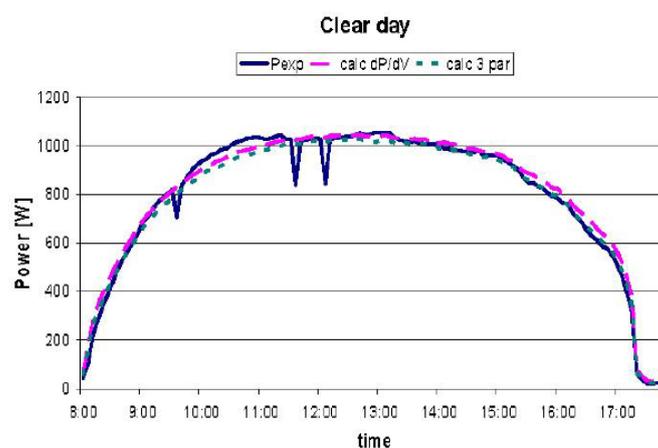


Figura 15-Estimação da potência de saída pelos dois modelos face ao resultado experimental para um dia de céu limpo (Crispim et al., 2007).

Numa última comparação efetuada e que se verificou ser o real objetivo do estudo conduzido por (Crispim et al., 2007), os resultados da estimativa de produção energética face aos resultados obtidos

experimentalmente concluem que o erro da aplicação do modelo simplificado em pouco excede os 2%, face ao 1% do modelo mais detalhado, demonstrando a precisão de ambos os modelos face à situação real e medida experimentalmente.

	dP/dV	3 Par
Measured energy [kWh]	205,35	205,35
Calculated energy [kWh]	207,36	201,18
Error [%]	0,98	2,03

Figura 16-Erro entre a energia calculada pelos dois modelos face à energia medida experimentalmente (Crispim et al., 2007).

O modelo, pelas suas características simplistas, apresenta um método de cálculo assente na ausência de perdas no circuito fotovoltaico, representadas no modelo mais detalhado de um díodo e cinco parâmetros pela presença de resistências no circuito equivalente.

Embora o modelo mais detalhado permita a apresentação de resultados e conclusões mais fiáveis e próximas da realidade, introduz complexidades que fogem ao âmbito do presente trabalho e que não interferem de forma significativa com o resultado pretendido, dado o objetivo de avaliar o potencial de zero energia no caso de estudo aqui trabalhado numa fase anteprojecto.

O modelo assenta na determinação dos três parâmetros ( $m$ ,  $V_{OC}$ ,  $I_{SC}$ ), em condições de irradiância solar e temperatura no momento, que permitem descrever uma célula fotovoltaica e obter a sua curva característica I-V (Jack, Salam, & Ishaque, 2015):

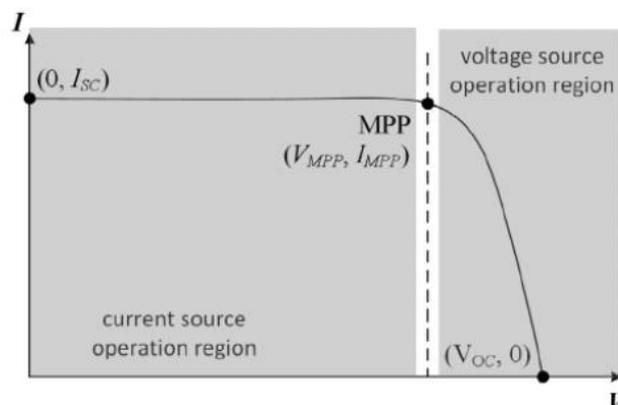


Figura 17-Curva de potência típica para uma célula fotovoltaica, com referência aos três principais pontos da curva (Jack et al., 2015).

Segundo o modelo ideal, uma célula fotovoltaica pode ser representada pelo circuito equivalente presente na figura 18.

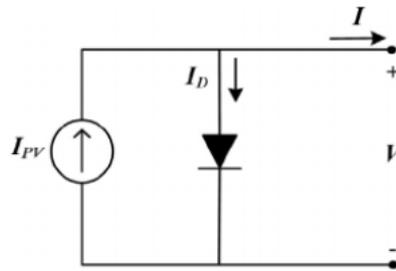


Figura 18-Esquema equivalente de uma célula fotovoltaica segundo o modelo ideal (Jack et al., 2015).

A fonte de corrente  $I_{PV}$ , representa a corrente elétrica que é gerada pelo feixe de radiação que atinge a célula fotovoltaica, sendo o seu valor constante para uma dada irradiância,  $G$ , incidente. A junção p-n, característica das células fotovoltaicas, funciona como um diodo, sendo atravessada por uma corrente unidirecional  $I_D$ , dependente da tensão  $V$  aos terminais da célula, representada pela seguinte formulação matemática:

$$I_D = I_0 \left( e^{\frac{V}{mV_t}} - 1 \right) \quad (4.1)$$

Em que:

- $I_0$  – Corrente inversa de saturação do diodo
- $V$  – Tensão aos terminais da célula
- $m$  – Fator de idealidade do diodo

$V_t$  – Potencial térmico

$$V_t = \frac{KT}{q} \quad (4.2)$$

Sendo:

- $K$  – Constante de Boltzmann ( $K=1,38 \times 10^{-23}$  J/K)
- $T$  – Temperatura da célula em K
- $q$  – Carga elétrica do eletrão ( $q=1,6 \times 10^{-19}$  C)

A temperatura da célula ou do módulo é obtida através da aplicação de um modelo simplificado, em que é admitido que a variação da temperatura é diretamente proporcional à irradiância incidente. O *datasheet* disponibiliza a temperatura normal de funcionamento da célula (NOCT), que representa a temperatura atingida pela célula ou módulo, em condições normalizadas de funcionamento ( $\theta = 20^\circ\text{C}$  (temperatura ambiente) e  $G = 800 \text{ W/m}^2$ ), que é dada por:

$$\theta_c = \theta_{amb} + \frac{G(NOCT - 20)}{800} \quad (4.3)$$

O valor típico do NOCT situa-se entre os  $45^\circ\text{C}$  e os  $47^\circ\text{C}$ .

A equação 3.1 também conhecida como equação mãe ou equação fundamental é o ponto de partida para a determinação de todas as equações necessária para o cálculo da potência no ponto máximo. Através da análise dos pontos de curto circuito e circuito aberto é possível deduzirmos as equações necessárias para a determinação dos três parâmetros do modelo simplificado para a irradiância solar e temperatura ambiente presentes no momento.

As equações que descrevem os três parâmetros do modelo, cuja dedução pode ser consultada em (Castro, R. 2011), são:

$$V_{oc} = mVt \ln \left( 1 + \frac{I_s}{I_0} \right) \quad (4.4)$$

$$I_{sc} = I_{sc}^r \frac{G}{G^r} \quad (4.5)$$

$$m = \frac{V_{MP}^r - V_{oc}^r}{Vt^r \ln \left( 1 - \frac{I_{MP}^r}{I_{sc}^r} \right)} \quad (4.6)$$

Através da determinação destes três parâmetros é possível então obter as equações que descrevem o ponto de máxima potência:

$$V_{MP} = mVt \ln \left( \frac{\frac{I_{sc}}{I_0} + 1}{\frac{V_{MP}}{mVt} + 1} \right) \quad (4.7)$$

$$I_{MP} = I_{sc} - \left[ I_0 \left( e^{\frac{V_{MP}}{mVt}} - 1 \right) \right] \quad (4.8)$$

Como tal, o ponto de máxima potência é descrito como:

$$P_{MP} = V_{MP} \times I_{MP} \quad (4.9)$$

- Energia Eólica

O processo de cálculo para a energia eólica é bastante mais simples e intuitivo do que o processo descrito anteriormente para a energia solar fotovoltaica.

Este método consiste na obtenção das curvas de potência das turbinas eólicas, que contém informação sobre a potência debitada pela turbina para uma dada velocidade do vento.

Uma característica comum em todas as turbinas é a existência de três pontos na referida curva. O primeiro, conhecido como velocidade de arranque, trata-se do valor mínimo de velocidade do vento que permite o início de rotação do eixo da turbina. A existência de vento de baixa velocidade pode não ser suficiente para possibilitar a rotação do eixo da turbina, que se mantém parada.

O segundo ponto é caracterizado pelo ponto de velocidade nominal, momento no qual a turbina atinge a velocidade do vento necessária para debitar a sua potência nominal, não excedendo (ou excedendo em pouca quantidade) este valor com o aumento da velocidade do vento.

último ponto, denominado por velocidade de corte, é atingido quando a velocidade do vento excede um valor, fixado pelo fabricante, de segurança de funcionamento. Velocidades muito elevadas não aumentam a potência debitada pela turbina, podendo simultaneamente danificar o equipamento.

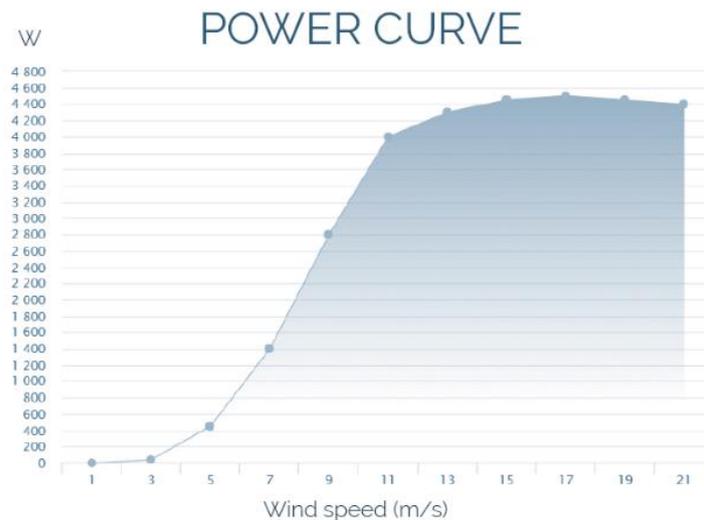


Figura 19-Curva de potência típica de um aerogerador (ENAIR, 2019).

A determinação da potência da turbina para cada velocidade do vento é efetuada multiplicando a velocidade do vento registada, em cada instante, pelo número de horas em que o valor se observou.

$$E = \sum_{i=1}^N P(v)_i \times nh_i \quad (4.10)$$

Sendo:

- $v$  – Velocidade do vento (m/s)
- $nh$  – Número de horas anuais em que verifica a velocidade do vento acima

As formulações relativas à energia produzida nas condições consideradas formam a base para a determinação de um *mix* de energias renováveis que assegure o zero de energia.

## 4.2. Métricas de cálculo

Para se estabelecer um *mix* de energias renováveis, é necessário avaliar a capacidade de produção no local, por unidade de equipamento renovável. Desta forma, é possível aferir o número de equipamentos necessários para que a produção de energia seja da mesma ordem de grandeza que o consumo de energia dos apartamentos.

No caso da energia solar fotovoltaica, a aplicação do modelo ideal iniciou-se recorrendo aos catálogos dos painéis recolhidos junto do site [www.geradordeprecos.info](http://www.geradordeprecos.info) e dos painéis fotovoltaicos instalados nas moradias do *Lisbon Green Valley*. O catálogo ou ficha de dados (*datasheet*) de um painel fotovoltaico apresenta informações sobre várias grandezas em condições de referência, nomeadamente  $V_{MP}^r$ ,  $I_{MP}^r$ ,  $I_{sc}^r$  e  $V_{oc}^r$ , que são os alicerces para a aplicação do modelo adotado.

Recorrendo às equações que descrevem o modelo ideal, podemos então recorrer às equações (4.7) e (4.8) e obter o valor de (4.9).

Posteriormente, existe a necessidade de converter esta grandeza para as condições de receção impostas pela rede, que funciona em corrente alternada. Esta operação é efetuada através da utilização de um inversor.

Anterior à existência do referido inversor, os painéis fotovoltaicos possuem um equipamento que permite, em cada instante de tempo, ajustar a potência de saída para esta ser a máxima possível, dado a curva de potência típica (figura 17) de um painel ou módulo fotovoltaico. Este equipamento é designado por MPPT.

A potência que é entregue à rede elétrica depende dos rendimentos destes dois equipamentos (MPPT e inversor). Tipicamente, os rendimentos dos vários inversores disponíveis no mercado são facultados no *datasheet* dos equipamentos, contudo, o rendimento do MPPT é um processo mais complexo de se avaliar, exigindo capacidades laboratoriais específicas.

Este valor é costuma ser muito elevado, normalmente superior a 99,5%. Neste trabalho é assumido que este valor é igual à unidade, negligenciando a existência de perdas neste equipamento, algo inerente do modelo simplificado.

O valor do rendimento do inversor foi retirado da mesma base de dados que os painéis estudados aqui, [www.geradordeprecos.info](http://www.geradordeprecos.info), dos quais se considerou a utilização do inversor monofásico, uma vez que são a utilização mais comum em habitações. O valor obtido corresponde a 97%.

É importante salientar que este valor é uma grandeza máxima, sendo mais uma simplificação deste trabalho, uma vez que é assumido como constante. O cálculo da energia elétrica produzível dadas as condições de irradiância e temperatura de cada respetivo mês (exemplo no Anexo 2) compreendem à aplicação da seguinte formulação matemática:

$$E = \eta_{total} \sum_{i=1}^N P_{DC}(G, T)_i \Delta t_i \quad (4.11)$$

Em que:

- $\Delta t_i$  – Número de horas do mês  $i$
- $N$  – Número correspondente ao mês em questão (Janeiro:  $n=1$ , Fevereiro:  $n=2$ , etc)

$$\eta_{total} = \eta_{MPPT}\eta_{inversor} \quad (4.12)$$

Uma vez que o rendimento do MPPT é assumido como unitário, o rendimento total é igual ao rendimento do inversor.

A equação (4.1) é posteriormente dividida por  $10^3$ , de forma a ser possível a obtenção do valor em kWh.

No caso da energia eólica, recorre-se à equação 4.10.

Uma vez que o repositório utilizado para recolher vários modelos de painéis solares, não apresenta equipamentos de aproveitamento de energia eólica, optou-se por encontrar as marcas mais comercializadas em Portugal.

Os principais fabricantes de turbinas mini eólicas recolhidos foram: Bornay, Aeolos e Enair.

### 4.3. Propostas de *mix*

A forma encontrada para determinar a base através da qual se determinaria os diferentes *mixes*, consistiu, em primeiro lugar, por alocar um número mínimo de turbinas por apartamento (foram analisados casos com uma e duas turbinas a fornecer energia a cada apartamento) e posteriormente preencher a restante parcela de consumo elétrico recorrendo a painéis fotovoltaicos.

No local em estudo não existe qualquer possibilidade de aproveitamento de energia hidroelétrica e de biomassa.

Conhecendo a capacidade de produção de cada painel fotovoltaico e considerando as condições climáticas do local, é possível determinar a quantidade de painéis necessários para alimentar o consumo elétrico. Subtraindo ao consumo elétrico total, a capacidade de produção de energia das turbinas alocadas a cada apartamento, e dividindo posteriormente a parcela restante dessa operação pela produção de energia do painel fotovoltaico, é devolvido o número de painéis necessários. A formulação desse processo de cálculo é descrita como:

$$PR = CE_f - E_t \quad (4.13)$$

$$N_p = \frac{PR}{E_f} \quad (4.14)$$

Em que:

- PR – Parcela restante (kWh)
- $CE_f$  – Consumo elétrico final do apartamento por ano (kWh)
- $E_t$  – Energia produzida pela(s) turbina(s) escolhida(s) por ano (kWh)
- $N_p$  – Número de painéis necessários
- $E_f$  – Energia produzida pelo painel fotovoltaico escolhido por ano (kWh)

Este processo de cálculo foi aplicado a várias combinações de turbinas eólicas e painéis fotovoltaicos, obtendo-se um total de 10 *mixes* diferentes. A determinação dos 10 casos estabelecem uma base de comparação que permitiu determinar a quantidade e potência dos equipamentos garantem o balanço nulo de energia e a viabilidade económica do projeto.

Inicialmente recorreu-se aos mesmos painéis fotovoltaicos que a agência imobiliária adotou para as moradias que os possuem (MPrime G Series 4BB 250/265). Desta forma, é possível considerar o investimento em equipamentos já familiares e com um fabricante com o qual já estabeleceram contacto.

Em casos posteriores foram considerados painéis fotovoltaicos com maior potência pico (300W), como forma de comparar se o investimento em maior capacidade de produção seria economicamente viável.

O mesmo princípio foi aplicado nas turbinas eólicas, tendo-se considerado a aplicação de turbinas com capacidade de 5000W e posteriormente com turbinas de capacidade menor e de outros fabricantes. Foi assim possível comparar o desempenho de ambas as turbinas, embora seja sabido que as turbinas de 5000W são de tamanho elevado e podem introduzir problemas de ruído.

Apesar das turbinas de fabricantes distintos possuírem a mesma capacidade (3000W ou 5000W), a quantidade de energia produzida em ano médio pode ser diferente, considerando a variação das curvas de potência consoante o equipamento e o fabricante.

Na tabela 16, encontra-se sintetizada a informação (para cada caso) relativa ao número de equipamentos que asseguram o zero de energia, mediante o processo de cálculo descrito anteriormente

Tabela 16-Propostas de soluções, divididas em 10 cenários/casos.

<b>Caso</b>	<b>Turbina eólica</b>	<b>Nº de turbinas eólicas</b>	<b>Painel fotovoltaico</b>	<b>Nº de painéis fotovoltaicos</b>	<b>Área total dos painéis (m<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	ENAIR 70 PRO (5000W)	16	MPrime G Series 4BB 250 (250W)	70	114,10
<b>2</b>	ENAIR 70 PRO (5000W)	16	MPrime G Series 4BB 265 (265W)	67	109,21
<b>3</b>	ENAIR 30 PRO (3000W)	16	MPrime G Series 4BB 250 (250W)	127	207,01
<b>4</b>	ENAIR 30 PRO (3000W)	32	MPrime G Series 4BB 250 (250W)	16	26,08
<b>5</b>	ENAIR 30 PRO (3000W)	32	MPrime G Series 4BB 265 (265W)	16	26,08
<b>6</b>	ENAIR 30 PRO (3000W)	16	MPrime G Series 4BB 265 (265W)	118	192,34
<b>7</b>	Bornay PLUS 25,2+ (3000W)	16	AXITEC AC- 300T/156-60S (300W)	116	189,08
<b>8</b>	Bornay PLUS 25,2+ (3000W)	32	AXITEC AC- 300T/156-60S (300W)	21	34,23
<b>9</b>	Bornay PLUS 25,3+ (5000W)	16	AXITEC AC- 300T/156-60S (300W)	76	123,88
<b>10</b>	Aeolos V5KW (5000W)	16	AXITEC AC- 300T/156-60S (300W)	47	76,61

A localização destes equipamentos, dada a indisponibilidade de uma montagem no edifício, consistiria na criação de uma comunidade de produção renovável, nas proximidades do edifício, permitindo uma redução de custos relativamente ao transporte e distribuição da energia produzida.

Esta implementação depende da disponibilidade dos promotores imobiliários em ceder o espaço e consequente disponibilidade financeira do(s) investidor(es).

#### 4.4. Viabilidade (cenários)

Tendo obtido os dados sobre a quantidade de equipamentos a instalar, é possível estimar os custos de investimento necessários.

Para tal, recorreu-se aos dados descritos no capítulo 2 (Custo(€/kW)) para estimar os custos totais de investimento em €. A seguinte formulação foi aplicada para as turbinas eólicas e os painéis fotovoltaicos:

$$Investimento(€) = Custo(€/kW) \times P(kW) \times NE \quad (4.15)$$

Em que:

- P(kW) – potência ou capacidade máxima (nominal) do equipamento
- NE – Número de equipamentos segundo a tabela 18

Os custos relativos a O&M foram também adotados do capítulo 2 e permitiram estimar a despesa anual com os equipamentos em manutenção e avarias pontuais. Utilizou-se como valor de referência para os custos de O&M o valor de 1% face aos custos de investimento.

De forma a avaliar a viabilidade de um projeto desta natureza, considerando os 10 cenários, é necessário formular algumas métricas.

A primeira métrica a considerar (e a mais importante) é o Valor Atual Líquido (VAL). Esta métrica permite avaliar a rentabilidade de um projeto, tendo em consideração o investimento total, os custos de O&M, o tempo de vida dos equipamentos e a taxa de atualização.

O tempo de vida de aproveitamentos energéticos desta natureza situa-se entre os 20 e os 30 anos, tendo sido adotado o valor intermédio de 25 anos.

A taxa de atualização corresponde à percentagem do investimento inicial que o investidor deseja receber de volta como lucro. Isto significa que se o projeto for viável, o investidor recupera todo o investimento efetuado, com a adição do valor correspondente à percentagem da taxa de atualização.

A seguinte equação foi adotada e descreve o processo de cálculo:

$$VAL = \sum_{j=1}^n \frac{RL_j}{(1+a)^j} - It \quad (4.16)$$

Em que:

- RL<sub>j</sub> – Receita líquida no ano j
- a – Taxa de atualização
- It – Investimento total

Esta equação precisa de determinados pressupostos para poder se aplicada:

- Investimento totalmente realizado em  $t=0$  (não existe necessidade de atualização);
- Despesa ou custos de O&M constantes ao longo do tempo de vida;
- Utilização anual (fator de carga) constante durante o tempo de vida do projeto.

A receita líquida no ano  $j$ , é simplesmente a subtração entre a poupança (€) na fatura da eletricidade (o preço da energia que se produz e que não é paga à rede) e as despesas de O&M, para o ano  $j$ . A formulação é descrita da forma:

$$R_{Lj} = R_j - dom \times I_t \quad (4.17)$$

A variável  $dom$  é o valor percentual dos custos de O&M face aos custos de investimento. Uma vez que se considerou as despesas de O&M constantes ao longo dos 25 anos de projeto, a equação (4.8) pode ser descrita da forma:

$$VAL = R_L \times ka - I_t \quad (4.18)$$

Em que:

$$ka = \sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+a)^j} = \frac{(1+a)^n - 1}{a(1+a)^n} \quad (4.19)$$

Uma vez que todos os valores de receita são constantes durante o tempo de vida do projeto, podemos atualizar todas estas receitas como um único valor, utilizando-se para tal a variável  $ka$ .

A formulação 4.19 assume o valor constante do preço da eletricidade ao longo da vida útil do projeto e não o aumento do preço, conforme é comprovado pelo histórico de preços.

O VAL pode assumir três estados distintos, que determinam a sua rentabilidade:

1.  $VAL = 0$ : Neste estado o projeto é considerado como sendo rentável, embora o investidor apenas receba o investimento de volta e o valor correspondente à taxa de atualização estabelecida. Nenhum outro lucro é recebido, podendo colocar em causa a decisão de investir no projeto.
2.  $VAL < 0$ : Neste estado o projeto não é rentável, pois o investidor não recebe a taxa de atualização (em lucro) e pode nem recuperar o investimento realizado.
3.  $VAL > 0$ : Neste último estado o projeto é altamente interessante e rentável, sendo possível ao investidor recuperar todo o investido e ainda lucrar acima do valor da taxa de atualização estabelecida.

Torna-se evidente a importância de determinar o VAL, uma vez que é a principal métrica que permite determinar a natureza de um investimento e influenciar a decisão nesse sentido.

A segunda métrica de avaliação de rentabilidade é a Taxa Interna de Retorno (TIR). Em resumo, esta métrica determina o valor da taxa de atualização que permite que um projeto se torne potencialmente interessante ( $VAL = 0$ ). É útil para determinar qual deveria de ser a percentagem de lucro obrigatório

do investidor quando o VAL calculado é negativo. O processo de cálculo passa por utilizar a equação (VAL), igualando o VAL a zero e resolvendo a equação em função da taxa de atualização,  $a$ .

Trata-se de uma métrica que permite avaliar a partir de que ponto o projeto se torna interessante do ponto de vista económico, mesmo que inicialmente não o tenha sido e pode ser expressa como:

$$TIR^{(k+1)} = \frac{R_L (1 + TIR^{(k)})^n - 1}{I_t (1 + TIR^{(k)})^n} \quad (4.20)$$

Ambas as métricas até este ponto mencionadas foram calculadas recorrendo às funções NPV (*Net Present Value*) e IRR (*Internal Rate of Return*) do *Excel*.

A terceira métrica é o período de retorno ( $T_r$ ), que permite determinar o tempo que um projeto necessita até começar a lucrar (ponto a partir do qual  $VAL > 0$ ).

A equação (4.21) descreve o processo de cálculo aplicado:

$$T_r = \frac{\ln\left(\frac{R_L}{R_L - aI_t}\right)}{\ln(1 + a)} \quad (4.21)$$

Estas duas últimas métricas descritas fornecem informações extra sobre o projeto, que podem influenciar o processo de decisão relativamente ao investimento, numa fase posterior à determinação do VAL.

A última métrica considerada foi o LCOE, que determina o custo de produção de uma unidade de energia. A equação (4.22) descreve o processo de cálculo do LCOE:

$$LCOE(\text{€/kWh}) = \frac{I_{01}(i + dom)}{ha} \quad (4.22)$$

Em que:

- $I_{01}$  – Investimento unitário (€/kW)
- $dom$  – Despesas de operação e manutenção em percentagem do investimento total
- $i$  – É o inverso de  $ka$  ( $i = 1/ka$ )

A dedução das equações 4.12 e 4.13 estão disponíveis para consulta no Anexo 4.

As quatro métricas foram aplicadas aos 10 casos/cenários, permitindo distinguir quais deles são realizáveis, tendo em consideração os pressupostos estabelecidos anteriormente.

Como base de cálculo para o VAL começou-se por considerar que a taxa de atualização era de 3% e procedeu-se a um aumento de 1%, até um máximo de 10%. O mesmo processo foi efetuado para o  $T_r$ , uma vez que depende diretamente do valor da taxa de atualização estipulada.

Na tabela 17 encontram-se os resultados obtidos para as 4 métricas, considerando uma taxa de atualização de 3% e um tempo de vida útil de 25 anos.

Tabela 17-Resultados das métricas para uma taxa de atualização de 3%.

Taxa de atualização, a = 3%				
	VAL	Tr (anos)	TIR	LCOE (€/kWh)
Caso 1	-63 749,85 €	34,77	1,23%	0,285
Caso 2	-63 026,99 €	34,58	1,26%	0,285
<b>Caso 3</b>	<b>29 507,84 €</b>	<b>21,40</b>	<b>4,00%</b>	<b>0,255</b>
Caso 4	-72 786,54 €	35,64	1,12%	0,255
Caso 5	-72 217,18 €	35,49	1,14%	0,254
<b>Caso 6</b>	<b>28 722,82 €</b>	<b>21,47</b>	<b>3,98%</b>	<b>0,254</b>
<b>Caso 7</b>	<b>22 131,64 €</b>	<b>22,27</b>	<b>3,73%</b>	<b>0,276</b>
Caso 8	-99 058,40 €	41,98	0,42%	0,276
Caso 9	-70 913,55 €	35,78	1,10%	0,308
Caso 10	-52 256,59 €	32,69	1,53%	0,267

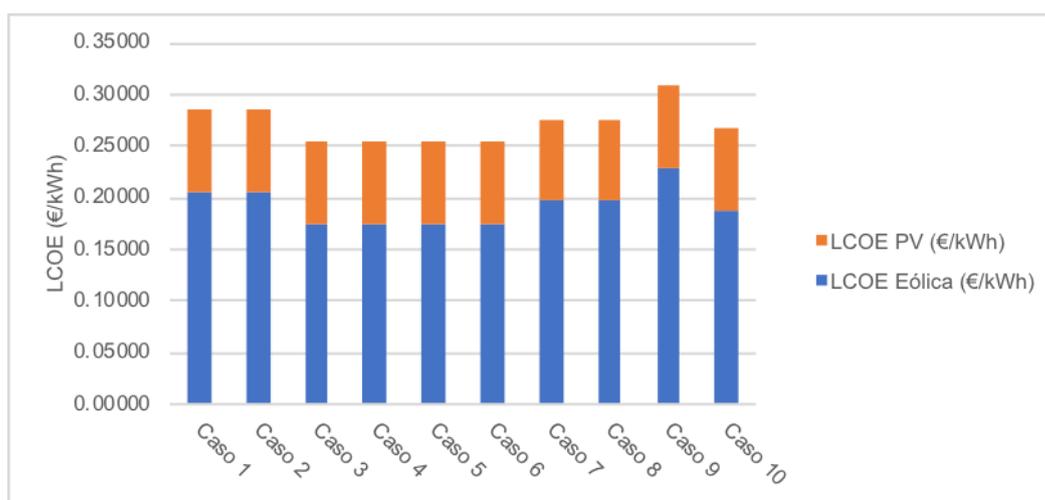


Figura 20-Distribuição do LCOE pelas tecnologias aplicadas em cada cenário, para uma taxa de atualização de 3%.

É possível verificar que apenas no terceiro cenário seria possível obter um projeto economicamente viável para uma taxa de atualização de 4%, conforme indicado pela variável TIR. Assim, é interessante analisar os resultados para essa taxa de atualização, de modo a obter-se uma ideia da variação dos resultados. Destaque-se, no entanto, que os períodos de retorno são muito elevados, aproximando-se do tempo de vida das soluções.

Tabela 18-Resultados das métricas para uma taxa de atualização de 4%.

Taxa de atualização, a = 4%			
	VAL	Tr (anos)	LCOE (€/kWh)
Caso 1	- 91 456,00 €	49,46	0,318
Caso 2	-90 888,89 €	48,99	0,318
<b>Caso 3</b>	<b>-49,95 €</b>	<b>25,01</b>	<b>0,284</b>
Caso 4	-102 143,71 €	51,70	0,284
Caso 5	-101 701,11 €	51,31	0,284
Caso 6	-644,59 €	25,11	0,284
Caso 7	-7 398,99 €	26,26	0,308
Caso 8	-126 073,17 €	75,30	0,308
Caso 9	-99 177,98 €	52,09	0,343
Caso 10	-80 392,51 €	44,59	0,298

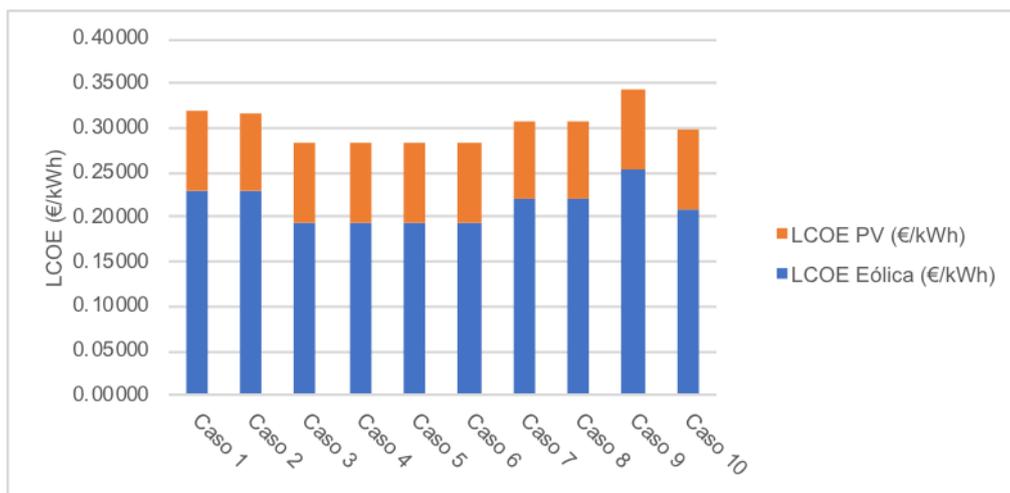


Figura 21-Distribuição do LCOE pelas tecnologias aplicadas em cada cenário, para uma taxa de atualização de 4%.

Conforme foi mencionado anteriormente, apenas um dos cenários se apresenta economicamente viável para uma taxa de atualização de 4%, contudo, é possível verificar que existiria uma perda monetária de cerca de 50€. O terceiro cenário torna-se assim a melhor opção para o projeto, dadas as condições no local que foram discutidas anteriormente. Relembrando que o terceiro cenário compreende a instalação de 16 turbinas eólicas ENAIR 30 PRO de 3000 W de potência nominal e 127 painéis fotovoltaicos MPrime G Series 4BB 250 de 250 W de potência nominal.

No entanto, é necessário estabelecer-se uma análise de sensibilidade de forma a averiguar a variação do potencial económico com a flutuação de algumas variáveis chave. A próxima secção é focada nessa métrica.

#### 4.5. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi conduzida para os três casos em que se obteve uma avaliação económica (por intermédio do VAL) positiva, para uma taxa de atualização de 3%. Nesta análise fez-se variar algumas variáveis (uma de cada vez) que influenciam diretamente o VAL e verificou-se o seu impacto na viabilidade económica do projeto. Estas variáveis (apeladas de variáveis chave de input) contribuem diretamente para o resultado da avaliação económica anteprojecto e foram definidas como sendo:

- Produção solar – considerou-se uma flutuação na energia eléctrica de produção solar de -10% e +10%. A análise conduzida aos dados demonstrou que em termos de flutuação anual o valor da irradiância solar nunca superou o intervalo de valores considerados (-5% e 10%).
- Produção vento – a mesma razão mencionada anteriormente é aplicável para a produção eólica. A mesma análise foi conduzida para a velocidade do vento, comprovando-se que os intervalos de valores nunca oscilaram além dos -6% e 11%.
- Preço da eletricidade – o preço da eletricidade é uma variável suscetível de sofrer mudanças anuais podendo interferir com a poupança na fatura da eletricidade. É de extrema importância avaliar a influência destas flutuações na poupança anual, visto influenciar o sucesso económico do projeto. Nesta variável considerou-se a flutuação entre os -5% e os +5% uma vez que os

preços de eletricidade não costumam variar além destes valores, podendo até ser uma estimativa sobrevalorizada;

- O&M – o custo de operação e manutenção é altamente dependente do contrato estabelecido com o fabricante ou com a empresa de manutenção contratada. Foi considerada uma oscilação de -10% e +10%
- Preço unitário PV – assume-se uma oscilação de -10% e +10% devido à flutuação do preço de mercado por módulo. Embora o preço tenha mostrado uma tendência descendente, assume-se igualmente uma oscilação positiva como forma de comparação;
- Preço unitário Eólica – a mesma razão mencionada anteriormente é aplicável para o preço unitário eólico;
- Avaria em equipamento solar – Paragens para manutenção ou devido a avaria é comum em equipamentos fotovoltaicos. Para tal, considerou-se avarias em 10 % dos equipamentos durante o 12º ano de operação. Uma vez que 10% dos equipamentos pode não corresponder a um número inteiro, foram considerados arredondamentos por excesso;
- Avaria em equipamento eólico – a mesma razão mencionada anteriormente é aplicável para o equipamento eólico.

Através da variação percentual das variáveis definidas anteriormente, foi possível obter a tabela 19 presente de seguida:

Tabela 19-Resultados da variação das variáveis de input no VAL.

	<b>Variáveis</b>	<b>Redução</b>	<b>Aumento</b>
<b>Case 3</b>	Produção Solar	-55%	55%
	Produção Vento	-57%	57%
	Preço Eletricidade	-56%	56%
	O&M	-15%	15%
	Preço PV Unitário	-31%	31%
	Preço Eólica Unitário	-61%	61%
	Avaria Eólica	-3%	-
	Avaria Solar	-2%	-
<b>Case 6</b>	Produção Solar	-56%	56%
	Produção Vento	-59%	59%
	Preço Eletricidade	-57%	57%
	O&M	-15%	15%
	Preço PV Unitário	-32%	32%
	Preço Eólica Unitário	-62%	62%
	Avaria Eólica	-3%	-
	Avaria Solar	-2%	-
<b>Case 7</b>	Produção Solar	-82%	82%
	Produção Vento	-68%	68%
	Preço Eletricidade	-75%	75%
	O&M	-19%	19%
	Preço PV Unitário	-46%	46%
	Preço Eólica Unitário	-81%	81%
	Avaria Eólica	-3%	-
	Avaria Solar	-3%	-

Através dos resultados presentes na tabela 19, foi possível construir os gráficos presentes nas próximas três figuras, permitindo a visualização gráfica dos resultados obtidos na análise de sensibilidade conduzida.

É importante mencionar que existem variáveis que quando aumentadas em 10% contribuem para a redução do valor esperado do VAL (O&M, Preço PV Unitário e Preço Eólica Unitário) e que existem variáveis em que o oposto acontece (Produção Solar, Produção Vento e Preço Eletricidade)

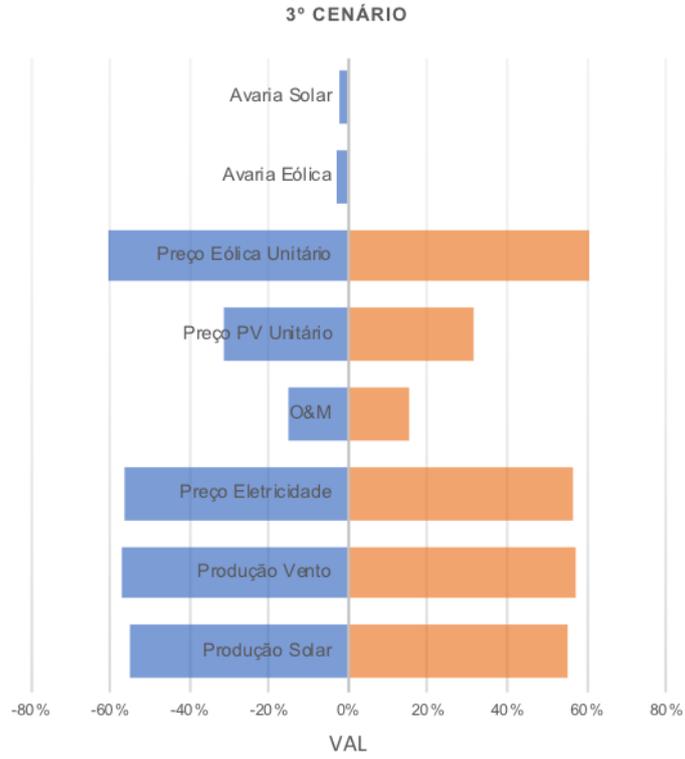


Figura 22-Resultados da análise de sensibilidade conduzida para o 3º cenário.

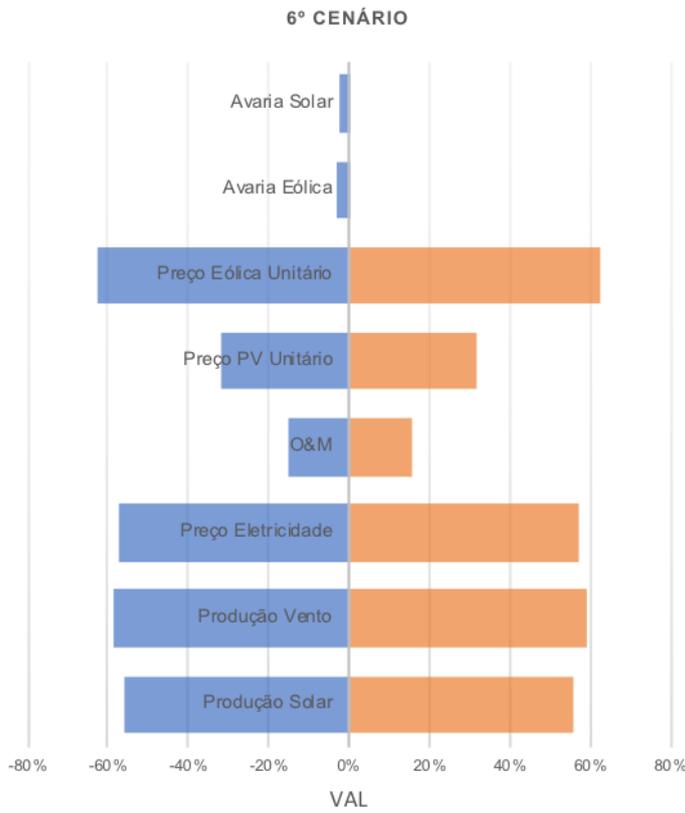


Figura 23-Resultados da análise de sensibilidade conduzida para o 6º cenário.

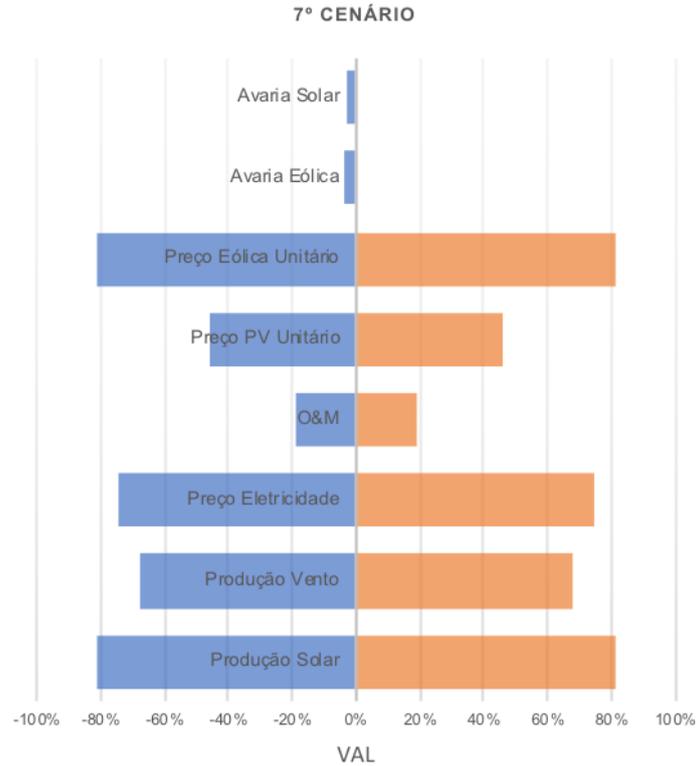


Figura 22-Resultados na análise de sensibilidade conduzida para o 7º cenário.

Estas relações precisam de ser tidas em consideração aquando a visualização e análise das anteriores figuras. Um exemplo de ocorrência do anteriormente mencionado, é aquando o aumento de 10% dos custos de O&M, o VAL diminui e aquando o aumento de 10% da produção de energia eólica, o VAL aumenta. Na visualização das figuras é necessário ter estas particularidades em consideração de forma a evitar-se más interpretações.

Analisando as figuras anteriores é possível verificar que as avarias de equipamento eólico e fotovoltaico constituem uma redução da produção de energia, refletindo-se no VAL.

No entanto, as variáveis que apresentam maior influência no VAL são as que têm uma relação direta com a poupança anual na fatura da eletricidade (Preço da Eletricidade, Produção Vento e Produção Solar).

Além destas variáveis, a variação do preço unitário das turbinas eólicas apresenta uma grande influência na rentabilidade do projeto, muito devido ao elevado preço destes equipamentos, por unidade, quando comparado com o valor do equipamento fotovoltaico.

Os custos de O&M apresentam a menor influência de todas as variáveis avaliadas, excetuando as avarias nos equipamentos. Esta relação pode ser justificada pelo reduzido custo quando comparado com o investimento direto em equipamento. Para ambas as tecnologias, a percentagem de O&M relativamente ao custo de investimento situa-se no 1%.

Embora as figuras possam indicar que para determinadas variáveis de input, o VAL possa retornar um valor negativo, este facto é não é comprovado com os dados da tabela 20 que discriminam os resultados finais da análise de sensibilidade.

Tabela 20-Resultados discriminados da análise de sensibilidade.

		Caso 3		Caso 6		Caso 7	
		Redução	Aumento	Redução	Aumento	Redução	Aumento
Produção Solar	VAL	13209,32	45806,36	12621,35	44824,29	4070,46	40192,82
	TR	23,24	19,83	23,31	19,91	24,45	20,46
	TIR	3,45%	4,53%	3,44%	4,50%	3,14%	4,31%
Produção Vento	VAL	12616,43	46399,26	11831,41	45614,24	7176,99	37086,29
	TR	23,32	19,78	23,41	19,83	24,04	20,75
	TIR	3,43%	4,55%	3,41%	4,53%	3,24%	4,21%
Preço Eletricidade	VAL	12912,87	46102,81	12226,38	45219,26	5623,72	38639,55
	TR	23,28	19,81	23,36	19,87	24,24	20,60
	TIR	3,44%	4,54%	3,42%	4,51%	3,19%	4,26%
O&M	VAL	33960,59	25055,09	33157,99	24287,66	26367,32	17895,96
	TR	20,95	21,87	21,01	21,95	21,81	22,74
	TIR	4,14%	3,85%	4,12%	3,83%	3,87%	3,59%
Preço PV Unitário	VAL	38773,22	20242,46	37869,65	19576,00	32313,53	11949,75
	TR	20,36	22,48	20,44	22,54	21,10	23,49
	TIR	4,34%	3,67%	4,31%	3,65%	4,09%	3,39%
Preço Eólica Unitário	VAL	47402,99	11612,70	46617,97	10827,68	40026,79	4236,49
	TR	19,39	23,54	19,44	23,63	20,21	24,46
	TIR	4,69%	3,37%	4,67%	3,35%	4,39%	3,13%
Avaria Eólica	VAL	28657,39	-	27872,37	-	21378,70	-
	TR	21,40	-	21,47	-	22,27	-
	TIR	3,97%	-	3,95%	-	3,71%	-
Avaria Solar	VAL	28851,36	-	28074,28	-	21404,16	-
	TR	21,40	-	21,47	-	22,27	-
	TIR	3,98%	-	3,95%	-	3,71%	-

## 5. Discussão

### 5.1. Abordagem ao problema

A abordagem tomada neste projeto teve como objetivo a avaliação da viabilidade de fontes de energias renováveis que permitem uma redução do consumo de energia fortemente dependente da rede elétrica. A independência da energia elétrica da rede constituiu o ponto central do estudo aqui descrito, recorrendo a soluções renováveis como meio de se atingir o (potencial) zero de energia.

Para tal, recorreu-se a software suportado em modelos matemáticos, permitindo a obtenção de uma estimativa do potencial de produção de energia renovável, concretamente de energia solar e eólica. Esta abordagem permite, numa fase preliminar, determinar o quão interessante e rentável poderá uma solução desta natureza tornar-se. Contudo, por se ter recorrido a modelos matemáticos, introduziu-se um grau de incerteza que poderá refletir a menor exatidão destes modelos comparativamente a medições efetuadas no local.

Outra particularidade foi a determinação de uma estimativa do consumo elétrico dos apartamentos recorrendo à lista de equipamentos elétricos presentes nas frações. Esta abordagem permitiu determinar o consumo esperado dos equipamentos com base na sua potência e em estimativas de tempo de utilização. No entanto, as estimativas de consumo podem apresentar erros, nomeadamente porque não se conhecem os comportamentos dos consumidores nas suas utilizações. Uma abordagem alternativa a este aspeto poderia partir pela utilização de indicadores disponibilizados pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG, 2016), que apresenta dados relativamente ao consumo de eletricidade (Agricultura, Doméstico, Indústria, etc) e ao número de consumidores de Eletricidade por tipo de consumo. Através destes dois indicadores é possível obter o consumo per capita, e considerando a simplificação discutida na seção 3.2.2 (T1 com duas pessoas, T2 com três e T3 com quatro), consegue-se obter uma estimativa de consumo por apartamento.

Contudo, é sempre difícil estabelecer-se perfis de consumo quando ainda não existem moradores nas frações, pelo que, qualquer das metodologias para estimação do consumo introduziria erros no processo de cálculo.

Relativamente ao método de cálculo adotado, existiram decisões pontuais que foram tomadas e que merecem discussão. Foi mencionado na seção 3.3.1 que foi adotado o método de cálculo simplificado (modelo de um díodo e três parâmetros) preferindo-se modelos mais complexos e mais realistas na representação do funcionamento de células ou módulos fotovoltaicos. Esta foi, possivelmente, a decisão mais complicada e que mais consideração mereceu. Por um lado, modelos mais complexos, como é o caso do modelo de um díodo e cinco parâmetros (ou de modelos com dois díodos), apresentam resultados que mais se assemelham ao contexto real, por outro temos modelos simplificados, ideais para a realização de estudos preliminares de produção de energia. Procurando justificar a aposta na utilização de um modelo simplificado, preferindo a aplicação de modelos mais fiáveis, recorreu-se a um estudo efetuado em 2007 (Crispim et al., 2007) e cujas conclusões foram mencionadas e exploradas na seção 3.3.1.

No caso da energia eólica, a metodologia aplicada é simples, de fácil compreensão e permite estabelecer uma estimativa de produção dadas as condições climáticas habituais no local de estudo.

A abordagem adotada para a determinação do *mix* que potencia o zero de energia no edifício em estudo foi subjetiva. Tendo em conta que a disponibilidade de espaço no telhado do edifício é um fator determinante limitador da quantidade de equipamento a instalar, é de ponderar a criação de uma comunidade de produção energética no local. Contudo, a sua implementação é decisão do promotor imobiliário visto que concorre em utilização de espaço com outros usos. Para o estudo, adotaram-se várias alternativas na determinação do *mix*, variando-se a quantidade de equipamento a instalar por tecnologia (utilizou-se sempre a energia eólica como referência, na medida em que se considerou a instalação de uma turbina por apartamento, e posteriormente de duas, preenchendo-se a parcela de consumo elétrico restante com recurso a módulos fotovoltaicos) e a sua potência.

A determinação da quota de renováveis no *mix* energético carece de uma avaliação económica, para avaliar a viabilidade de um projeto desta natureza. Para tal, recorreu-se a três métricas usuais e frequentemente calculadas, o Valor Atual Líquido, o Período de Retorno e a Taxa Interna de Retorno. A formulação das três métricas mencionadas foi baseada no livro de Rui Castro da disciplina de Energias Renováveis e Produção Descentralizada (Castro, R. 2011), que estabelece métodos de cálculo na ótica de anteprojeto, ideais para o presente trabalho.

Por último, a aplicação de uma análise de sensibilidade é um processo *standard* quando se avaliam investimentos. A análise de sensibilidade aqui adotada consistiu em avaliar a influência individual da variação de variáveis de input chave na viabilidade económica do projeto. Usualmente, as análises de sensibilidades são efetuadas variando conjuntamente duas variáveis simultaneamente, observando-se a influência das respetivas na variável que se pretende avaliar, sendo neste caso o Valor Atual Líquido. Por uma questão de simplicidade optou-se pela utilização de uma análise de sensibilidade na qual apenas se observava a influência de uma variável de input no Valor Atual Líquido. Embora não seja a prática mais correta e adotada, permitiu avaliar a flexibilidade na implementação de uma solução de *mix* renovável.

## 5.2. Resultados

Os resultados evidenciam uma oportunidade de implementação de energias renováveis que garantam o zero de energia no edifício de apartamentos em estudo. Contudo, existem 6 pontos chave que devem ter particular atenção:

1. A potência nominal das turbinas é o principal fator de influência para a viabilidade económica do projeto, considerando uma taxa de atualização de 3%. Segundo a análise de viabilidade conduzida para os 10 cenários considerados, foi possível constatar a predominante influência do preço unitário da potência eólica.
2. O valor da taxa de atualização de 3% é um valor aceitável para projetos desta natureza, embora num passado recente, projetos renováveis fossem expectáveis que obtivessem um retorno financeiro superior.

3. Nos três cenários economicamente viáveis os custos de investimento e O&M revelaram-se como sendo os mais reduzidos, dado o custo de investimento em tecnologia eólica ser mais reduzido, conforme é sustentado pelas figuras abaixo.

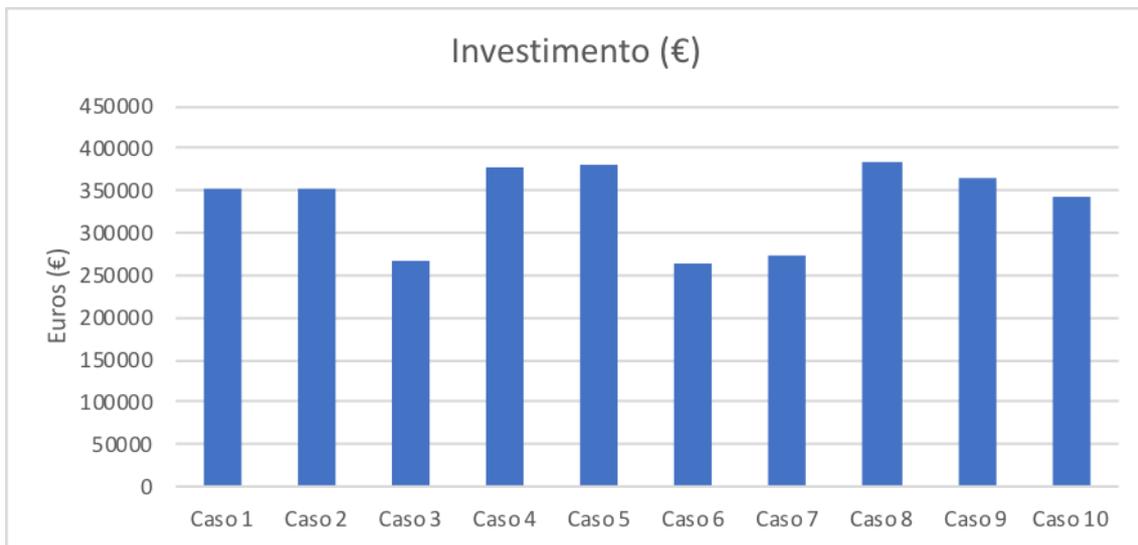


Figura 2524-Distribuição do investimento pelos diferentes casos.

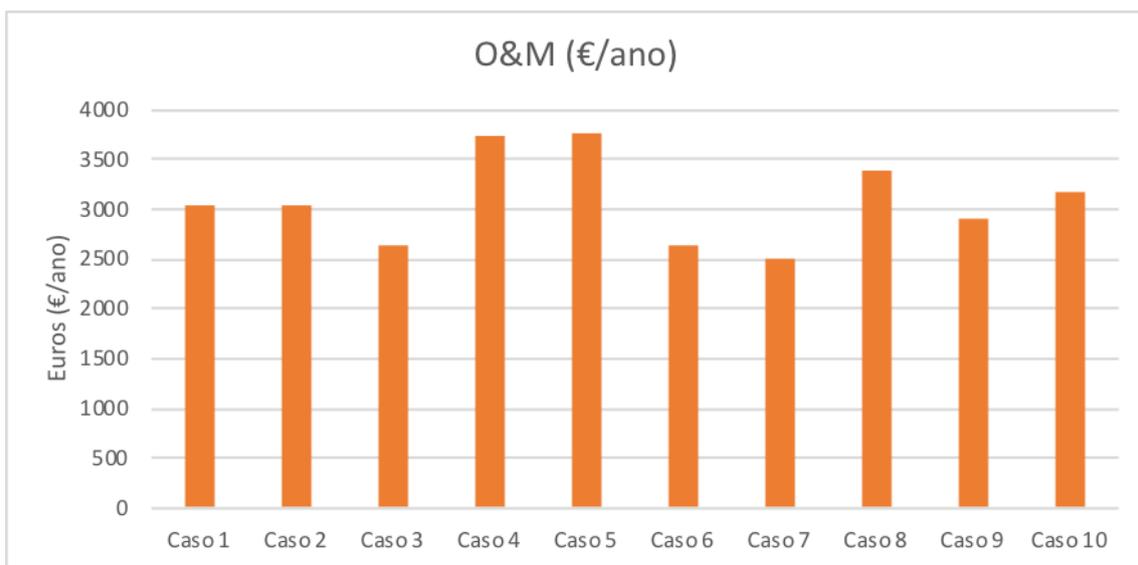


Figura 236-Distribuição dos custos de O&M pelos diferentes casos.

4. Evidenciou-se uma maior flexibilidade na tecnologia solar fotovoltaica para se atingir a viabilidade económica. Dos três cenários comprovados como economicamente viáveis, a potência nominal dos painéis fotovoltaicos foi diferente, com valores de 250W, 265W e 300W.
5. As avarias em ambos o tipo de equipamento não constitui uma quebra na viabilidade económica do projeto. Contudo, contribui para uma redução na produção de eletricidade.
6. Constatou-se que para o edifício atingir o zero de energia, é necessária uma elevada quantidade de tecnologia renovável, impedindo a sua montagem na cobertura do edifício.

7. A metodologia desenvolvida evidenciou que o edifício apresenta, em termos médios, uma dependência das energias de origem fóssil em cerca de 4%.

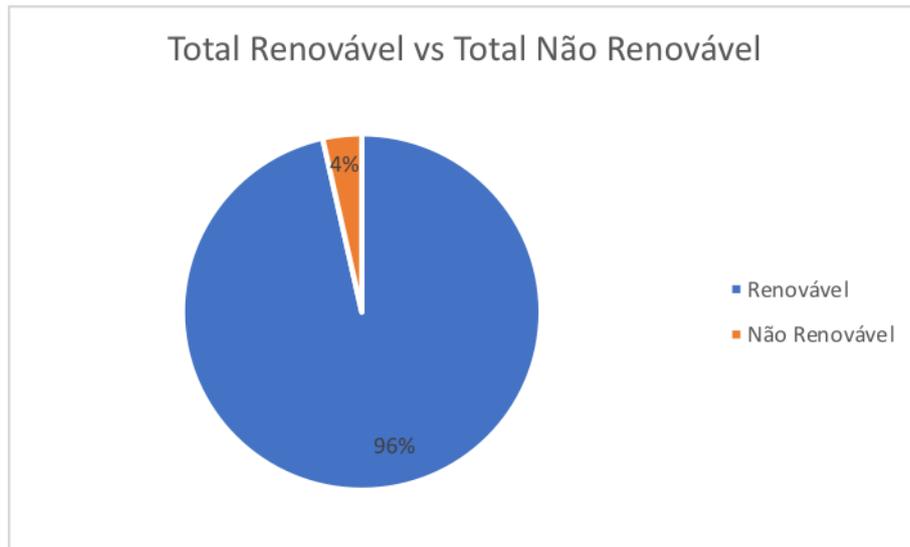


Figura 25-Consumo energético suprido por energia renovável vs não renovável.

Embora se tenha realizado o estudo num caso de estudo particular, algumas noções podem ser transpostas e aplicadas em outros locais. O aumento da eficiência energética dos equipamentos apresenta-se como principal influência para um edifício atingir o zero de energia e que a utilização de fontes renováveis para a produção de eletricidade contribui nesse sentido.

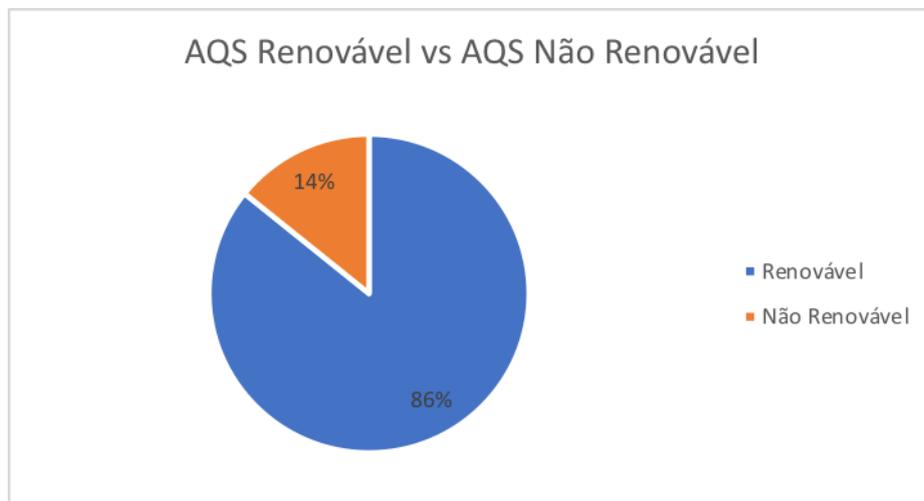


Figura 26-Consumo energético de AQS suprido por energia renovável vs não renovável.

### 5.3. Limitações

A metodologia e o caso de estudo em si apresentam limitações que merecem ser alvo de análise mais detalhada:

1. Dado que o estudo da utilização de baterias foi descartado, poderá existir a necessidade de recorrer à rede elétrica para suprir necessidades de consumo elétrico. A alta variabilidade dos recursos renováveis, aliado ao método de cálculo simplificado podem contribuir para essa necessidade.
2. A poupança na fatura de eletricidade traduziu-se nas receitas de uma suposta venda da energia à rede, que foi descartada. A somar a esse ponto, não tendo sido considerada o aumento do preço da eletricidade ao longo dos anos, traduz-se num modelo de viabilidade económica que não considera a influência da inflação.
3. Embora o edifício seja considerado zero de energia, segundo o modelo de cálculo, este ainda apresenta uma dependência aos combustíveis fósseis de 4%, dada a utilização das caldeiras a gás para suprir as necessidades de AQS.
4. A elevada área necessária para a aplicação da tecnologia renovável é impeditiva de uma instalação na cobertura do edifício.
5. A utilização de valores de dias típicos de cada mês relativamente à irradiância incidente e temperatura ambiente não é o método de cálculo mais correto, podendo contribuir para uma avaliação da produção de eletricidade desfasada da realidade.
6. Não se procedeu ao estudo de aplicação de energia solar térmica, além da que já se encontra instalada no edifício.

### 5.4. Resultados face à legislação Portuguesa

No capítulo introdutório expuseram-se os critérios que segundo a legislação portuguesa classificam um edifício como sendo quase zero de energia. Os certificados energéticos apresentam a resposta a estes critérios que se encontram sintetizados na tabela seguinte.

É possível concluir que face aos requisitos presentes na Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril o edifício é considerado como sendo nZEB (quase zero de energia).

Tabela 21-Resultados de cada apartamento face aos requisitos para nZEB segundo a legislação Portuguesa.

Tipologia	Apartamento	Ponto 1	Ponto 2	Energias Renováveis
		Nic/Referência	Ntc/Referência	
T1	R/C FR.B	60%	43%	O mix determinado assume a supressão total das necessidades de energia primária
	R/C FR.I	60%	43%	
T2	1º FR.D	40%	34%	
	1º FR.K	42%	35%	
	2º FR.F	37%	33%	
	2º FR.M	39%	34%	
	3º FR.H	60%	48%	
	3º FR.O	62%	49%	
	R/C FR.A	59%	45%	
T3	R/C FR.J	54%	38%	
	1º FR.C	52%	40%	
	1º FR.L	51%	35%	
	2º FR.E	53%	41%	
	2º FR.N	50%	38%	
	3º FR.G	68%	48%	
	3º FR.P	65%	47%	

## 6. Conclusão

### 6.1. Produção de energia renovável e as necessidades de consumo

A dissertação tem como avaliar se é possível e que do mix de energias renováveis que permitisse ao edifício em causa atingir o quase zero de energia ou até mesmo o zero de energia, tornando-se autossuficiente ou apresentando um elevado grau de desempenho energético através de fontes renováveis. Os resultados dos trabalhos efetuados no caso de estudo (edifícios de apartamentos) permitiram responder às duas hipóteses colocadas na dissertação, nomeadamente:

- **Poderá o edifício depender exclusivamente de fontes de energia renovável?** Os resultados obtidos indicam que se pode caminhar para depender de fontes de energia renovável, embora desafiem a ponderar a necessidade de redução de consumos (se possível significativa) para ter uma margem de segurança e poder;
- **Será/serão essa(s) solução/soluções de mix(es) economicamente viáveis?** Dos cenários considerados três comprovaram-se como sendo economicamente viáveis. Os *mixes* comprovados como economicamente viáveis são representados pela utilização de energia solar térmica (já existente no caso de estudo), energia solar fotovoltaica e energia eólica.

Destaque-se, no entanto, que os períodos de retorno são muito elevados, aproximando-se do tempo de vida das soluções, pelo que a viabilidade se justifica por consideração conjunta de razões ambientais, sociais e económicas. Sendo essencial considerar um adequado mix e otimizar para tornar mais viável e procurar ter períodos de retornos mais reduzidos.

Segundo a legislação portuguesa em vigor o edifício com as soluções viáveis propostas pode atingir a classificação de quase zero de energia, dependendo exclusivamente de fontes de energia renovável presentes na zona envolvente.

Assim, pode-se concluir que nos edifícios desta tipologia (com múltiplos apartamentos) poderá ser possível atingir valores de quase zero de energia (e no limite zero), embora seja essencial a consideração de soluções na envolvente.

Este edifício já dispõe de um conjunto de soluções construtivas e equipamentos muito eficientes, o que destaca a importância de considerar medidas estruturais de redução dos consumos (por exemplo eficiência energética), bem como modos de otimização da energia equilibrando produção e consumo.

O modelo aqui representado apresenta limitações inerentes à metodologia adotada, sendo, contudo, alvo de recomendações futuras que poderão contribuir para a extrapolação dos resultados aqui obtidos para outros casos de aplicação.

### 6.2. Desenvolvimentos futuro

A aplicabilidade de uma solução desta natureza deve ser estudada e analisada, tanto do ponto de vista dos recursos necessários, como do ponto de vista económico. É necessário a existência de boa

exposição solar, bem como, a existência de vento considerável para que se possa considerar a utilização de várias tecnologias no combate à dependência energética, à redução de energia proveniente de combustíveis fósseis e consequentemente na redução dos gases de efeito de estufa.

Embora a proposta seja interessante, é preciso considerar a dificuldade de implementação em zonas urbanas já desenvolvidas e a intermitência na produção energética por fontes de origem renovável, especialmente em zonas urbanas. A aceitação social em tecnologias renováveis aumenta anualmente com melhorias no rendimento, e consequente produção de energia, bem como, no investimento unitário de potência instalada, tornando cada vez mais projetos (no âmbito residencial) mais apelativos e adotados.

As zonas urbanas necessitam de ligação à rede elétrica como forma de complementar potenciais descidas na produção energética, alienando a necessidade de utilização de baterias que fariam aumentar o investimento necessário, podendo comprometer (ou alongar) o retorno financeiro num prazo máximo de 30 anos. Contudo, o modelo de cálculo aqui apresentado apenas considera o contributo direto de fontes renováveis, descartando a utilização de bancos de baterias.

O recurso a modelos mais detalhados pode representar uma melhoria nas estimativas de produção energética, contribuindo simultaneamente para uma redução do número de equipamentos necessários para um potencial de zero de energia.

Consequentemente, uma diminuição do número de equipamentos contribuirá para uma redução do investimento necessário, contribuindo para um retorno financeiro mais breve ou superior ao estimado se for considerado o tempo de vida útil aqui aplicado (30 anos).

Os valores de investimento unitário por unidade de potência instalada podem tornar-se mais precisos, caso se contacte diretamente os principais fabricantes ao invés da utilização de valores de referência. Os preços dos equipamentos apresentam uma descida considerável nos últimos anos, podendo contribuir para um projeto mais interessante economicamente, caso a mesma tendência se mantenha.

O estudo da utilização de baterias deve ser prioritário no futuro, dado a sua preponderante influência para se atingir o quase zero de energia em edifícios de apartamentos. Para tal, é necessário estabelecer-se um perfil de consumos o mais detalhado possível.

A inclusão de veículos elétricos pode ser interessante do ponto de vista de consumo, assim como uma análise às máquinas de lavar loiça, roupa e de secar roupa por ciclos e não por utilização horária ou semanal, dado que a potência máxima desses equipamentos apenas é utilizada numa quantidade reduzida do ciclo de funcionamento.

## Referências

- APREN. (2018). Renewable Energies Production. Retrieved from <http://www.apren.pt/en/renewable-energies/production/>
- Castro, R. (2011). *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica* (1ª Edição). Instituto Superior Técnico, Lisboa: IST Press.
- Chen, Z., Furbo, S., Perers, B., Fan, J., & Andersen, E. (2012). Efficiencies of flat plate solar collectors at different flow rates. *Energy Procedia*, 30, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.009>
- Crispim, J., Carreira, M., & Rui, C. (2007). Validation of photovoltaic electrical models against manufacturers data and experimental results. *POWERENG 2007 - International Conference on Power Engineering - Energy and Electrical Drives Proceedings*, 556–561. <https://doi.org/10.1109/POWERENG.2007.4380161>
- ENAIR. (2019). SMALL WIND TURBINE ENAIR 70PRO. Retrieved from <https://www.enair.es/en/small-wind-turbines/e70pro>
- ENS (2017) - European Nuclear Society. (2017). Final Energy. Retrieved from <https://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/f/finalenergy.htm>
- Estanqueiro, Ana (2009). Eólica offshore=Offshore wind power. In: *Energias Renováveis=Renewable Energies*, Azevedo, Bárbara Gonçalves (ed.), [s.l.], Atelier Nunes e Pã, 2009, p. 220-227
- EC (2010) - European Commission (2010). Energy 2020. A strategy for competitive, sustainable and secure energy. Brussels, 10/11/2010, European Commission. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1409650806265&uri=CELEX:52010DC0639>.
- EC (2018) - European Commission (2018). PVGIS - JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), Brussels, de 2018, European Commission. Retrieved from [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_static/en/intro\\_tools.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/en/intro_tools.html)
- PE (2018a) - Parlamento Europeu (2018). Diretiva desempenho energéticos dos edifícios e eficiência energética, nº2018/844, Brussels, de 30/05/2018. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0844>.
- PE (2018b) - Parlamento Europeu (2018). *Promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis*, nº2009/28/CE, Brussels, de 21/02/2017. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aen0009>.
- EUROSTAT (2016). Eurostat Statistics Explained - The Europe 2020 strategy, de 2018, Eurostat. Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Europe\\_2020\\_headline\\_indicators](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Europe_2020_headline_indicators)
- EUROSTAT (2017). Eurostat Statistics Explained - Renewable Energy Statistics, de 2017. Retrieved from [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable\\_energy\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics)

- EUROSTAT (2018). Eurostat Your key to European statistics - Energy dependence, de 2018, European Commission. Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/T2020\\_RD320](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/T2020_RD320)
- EWEA (2015). The European Wind Energy Association - *Wind energy scenarios for 2030*, de 08/2015, EWEA. Retrieved from <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EWEA-Wind-energy-scenarios-2030.pdf>
- DR (2013). Diário da República - Decreto-lei no118/2013. Diário Da República, (2), 22, Lisboa, Portugal, de 20/08/2013. Retrieved from <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/118/2013/08/20/p/dre/pt/html>
- DR (2019). Diário da República - Portaria n.º 98/2019 , Lisboa, Portugal, de 02/04/2019, 1816–1818. Retrieved from <https://data.dre.pt/eli/port/98/2019/04/02/p/dre/pt/html>
- IEA (2013). International Energy Agency - *Technology roadmap - Wind energy. Technology Roadmap*, 2013 edition, IEA. Retrieved from [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Wind\\_2013\\_Roadmap.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Wind_2013_Roadmap.pdf)
- IEA (2014). International Energy Agency - *Solar Photovoltaic Energy. Technology Roadmap*, 2014 edition, IEA. Retrieved from [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy\\_2014edition.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf)
- IEA (2015a). International Energy Agency - *Projected Costs of Generating Electricity*, 2015 edition, IEA and NEA. Retrieved from <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf>
- IEA (2015b). International Energy Agency - *World Energy Outlook 2015. Secure Sustainable Together*, 2015 edition, IEA. Retrieved from [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB\\_WorldEnergyOutlook2015ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB_WorldEnergyOutlook2015ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf)
- IEA (2017a). - International Energy Agency (2017). *Key World Energy Statistics 2017*, IEA, 7-12.
- IEA (2017b). International Energy Agency - *World Energy Investments 2018*, de 2018, IEA. Retrieved from <https://webstore.iea.org/download/direct/1242?fileName=WEI2018.pdf>
- IRENA (2012a). International Renewable Energy Agency - *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Wind Power* (Vol. 1), de 06/2012, IRENA. Retrieved from [https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re\\_technologies\\_cost\\_analysis-wind\\_power.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis-wind_power.pdf)
- IRENA (2012b). International Renewable Energy Agency - *Solar Photovoltaics. Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*, de 06/2012, IRENA. Retrieved from [https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re\\_technologies\\_cost\\_analysis-solar\\_pv.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis-solar_pv.pdf)

- IRENA (2015a). International Renewable Energy Agency - *Renewable Power Generation Costs in 2014: An Overview*, de 01/2015, IRENA Retrieved from [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_RE\\_Power\\_Costs\\_2014\\_report.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf)
- IRENA (2015b). International Renewable Energy Agency - *Solar Heating and Cooling for Residential Applications - Technology Brief*, de 01/2015, IRENA. Retrieved from [https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena\\_etsap\\_tech\\_brief\\_r12\\_solar\\_thermal\\_residential\\_2015.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_etsap_tech_brief_r12_solar_thermal_residential_2015.pdf)
- IRENA (2016). International Renewable Energy Agency - *The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025. Technical report* (Vol. 978-92-951), de 06/2016, IRENA. Retrieved from [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_Power\\_to\\_Change\\_2016.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf)
- IRENA (2017a). International Renewable Energy Agency - *REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Retrieved from [https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena\\_rethinking\\_energy\\_2017.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_rethinking_energy_2017.pdf)
- IRENA (2017b). International Renewable Energy Agency - *Renewable Energy Statistics 2017*, IRENA, Abu Dhabi. Report, A. (2016). Retrieved from [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Jul/IRENA\\_Renewable\\_Energy\\_Statistics\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2017.pdf)
- Jack, V., Salam, Z., & Ishaque, K. (2015). Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application : A review Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application : A review. *APPLIED ENERGY*, 154(September), 500–519. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.035>
- Jäger-waldau, A. (2016). *PV Status Report 2016*, de 28/11/2018, Publications Office of the European Union, Joint Research Centre (European Commission). <https://doi.org/10.2790/749737>
- Kaldellis, J. K., & Zafirakis, D. (2011). The wind energy (r)evolution: A short review of a long history. *Renewable Energy*, 36(7), 1887–1901. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.01.002>
- McDermott, M (2008). *Small-Scale Wind Turbine Potential Great, Limited By Installation & Electricity Costs: New Report Finds*. Retrieved from <https://www.treehugger.com/renewable-energy/small-scale-wind-turbine-potential-great-limited-by-installation-electricity-costs-new-report-finds.html>
- Mehalic, B. (2009). Flat-Plate & Evacuated-Tube Solar Thermal Collectors, de 07/08/2017. Retrieved from <https://www.homepower.com/articles/solar-water-heating/equipment-products/flat-plate-evacuated-tube-solar-thermal-collectors>
- MERRA-2 (2017). The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate*, 30(14), 5419–5454. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>. Retrieved from <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>

- Mithraratne, N. (2009). Roof-top wind turbines for microgeneration in urban houses in New Zealand. *Energy and Buildings*, 41(10), 1013–1018, de 10/2009. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.05.003>
- PORDATA (2016). Final consumption by type of consumer sector. Retrieved from <https://www.pordata.pt/en/DB/Europe/Search+Environment/Table>
- REN. (2016). Rede Elétrica Nacional - *Dados Técnicos - Technical Data*, de 2016, REN. Retrieved from [https://www.ren.pt/files/2017-03/2017-03-24140032\\_7a820a40-3b49-417f-a962-6c4d7f037353\\$7319a1b4-3b92-4c81-98d7-fea4bfefafcd\\$912d7292-4d3c-4faa-8a0b-2f750e707e15\\$File\\$pt\\$1.pdf](https://www.ren.pt/files/2017-03/2017-03-24140032_7a820a40-3b49-417f-a962-6c4d7f037353$7319a1b4-3b92-4c81-98d7-fea4bfefafcd$912d7292-4d3c-4faa-8a0b-2f750e707e15$File$pt$1.pdf)
- REN21. (2015). *Renewables 2015-Global status report. REN21 Renewables* (Vol. 4), Paris, França, de 2015. Retrieved from [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2015\\_Full-Report\\_English.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2015_Full-Report_English.pdf)
- Singh, G. K. (2013). Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. *Energy*, 53, 1–13, de 01/05/2013. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.057>
- SHC IEA (2016). Solar Heating & Cooling Programme, International Energy Agency - Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to the Energy Supply 2014, de 2016, IEA. Retrieved from <https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2016.pdf>
- Tummala, A., Velamati, R. K., Sinha, D. K., Indrajaya, V., & Krishna, V. H. (2016). A review on small scale wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1351–1371, de 05/2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.027>
- WindEurope (2016a). *Wind in power 2016 European Statistics*, de 09/02/2017, WindEurope. Retrieved from <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2016.pdf>
- WindEurope. (2016b). *Financing and investment trends Financing and investments trends*, de 05/2017, WindEurope. Retrieved from <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Financing-and-Investment-Trends-2016.pdf>

## Anexos

# Anexo 1 – Conceitos Chave

## 1. Energia Primária

Energia primária é toda a forma de energia no seu “estado natural” antes de sofrer qualquer transformação em forma de energia secundária ou terciária. Um exemplo é a utilização do carvão para a produção de eletricidade. Neste caso a eletricidade seria uma energia secundária ou final e o carvão seria considerado energia primária. Trata-se, portanto, da utilização da energia na forma como se encontra na natureza para utilização direta ENS (2017).

## 2. Energia Final

Energia final é uma forma de energia disponível ao consumidor e que advém da consequente transformação de uma outra forma de energia. Esta energia é utilizada na sua aplicação final por parte do utilizador. Um exemplo deste tipo de energia é a eletricidade (conforme mencionado anteriormente). Outro exemplo é o calor proveniente de um aquecedor elétrico. Existe a transformação de uma energia primária para a produção de eletricidade, que posteriormente é utilizada para produzir calor ENS (2017).

## 3. Dependência Energética

Segundo o EUROSTAT trata-se de um indicador de dependência de uma economia da importação de energia do exterior de forma a poder atender às suas necessidades. A formulação adotada é a seguinte:

$$\text{Dependência energética} = \frac{\text{Importações líquidas}}{\sum \text{Consumo energético interno bruto} + \text{Transporte marítimo}}$$

Em que:

- As importações líquidas são calculadas subtraindo o total de exportações ao total de importações;
- O consumo energético interno bruto é um valor calculado da forma:

$$\begin{aligned} \sum \text{Consumo energético interno bruto} \\ = \text{Produção endógena} + \text{Produção de outras fontes} + \text{Importações} - \text{Exportações} \\ - \text{Transporte marítimo} + \text{Cotações de mercado} \end{aligned}$$

- O transporte marítimo consiste nas quantidades de combustível que são entregues a embarcações de qualquer nacionalidade que navegam internacionalmente. A navegação internacional pode acontecer no mar, em lagos/cursos de água e em zonas costeiras (EUROSTAT, 2018).

#### **4. Edifícios Zero de Energia**

O conceito envolve a combinação de eficiência energética e produção de energia renovável como forma de o edifício apenas consumir a quantidade de energia que consegue produzir, no local, através de energias renováveis durante um período de tempo específico. Trata-se de um objetivo ambicioso e que ainda assim tem sido gradualmente adotado em várias regiões do mundo ENS (2017).

#### **5. Desempenho Energético**

O desempenho energético de um edifício é um indicador fornecido no certificado energético do imóvel. Segundo o guia prático do certificado energético, este é traduzido na classe energética e é calculada com base nas características construtivas do imóvel (orientação, paredes, pavimentos, coberturas, portas e janelas), na existência (ou não) de aproveitamento de energias renováveis, nos sistemas de ventilação (natural ou mecânica), na eficiência e no tipo de combustíveis usados nos sistemas de climatização e de produção de AQS.

## Anexo 2 – Metas Europeias 2020 e 2030

### 1. Metas Europeias para 2020:

As metas energéticas para 2020, estabelecem objetivo a cumprir pelos Estados Membro até 2020, respeitando a redução de gases de efeito de estufa, o aumento da eficiência energética e aumento do uso de energias renováveis. Foi estabelecido que deveria de existir um esforço para reduzir a emissão de gases de efeito de estufa em 20% (comparativamente a 1990), ou 30% se as condições de redução forem ideais, um aumento do *share* de energias renováveis no *mix* energético dos Estados Membro em 20% e um melhoramento da eficiência energética em 20% (EC, 2010).

Foi acordado um esforço no caminho da descarbonização para a UE, contemplando cortes de 80% a 95% nas emissões até 2050.

Topic	Headline Indicator	2008	2012	2013	2014	2015	2016	Target
Employment	Employment rate age group 20–64, total (% of population)	70.3	68.4	68.4	69.2	70.1	71.1	75.0
	• Employment rate age group 20–64, females (% of population)	62.8	62.4	62.6	63.5	64.3	65.3	:
	• Employment rate age group 20–64, males (% of the population)	77.8	74.6	74.3	75.0	75.9	76.9	:
R&D	Gross domestic expenditure on R&D <sup>(1)</sup> (% of GDP)	1.84	2.01	2.03	2.04	2.03	:	3.00
Climate change and energy	Greenhouse gas emissions <sup>(2)</sup> (Index 1990 = 100)	90.6	82.1	80.5	77.4	77.9	:	80.0
	Share of renewable energy in gross final energy consumption (%)	11.0	14.4	15.2	16.1	16.7	:	20.0
	Primary energy consumption (Million tonnes of oil equivalent)	1,692	1,585	1,570	1,508	1,530	:	1 483
	Final energy consumption (Million tonnes of oil equivalent)	1,180	1,106	1,106	1,060	1,082	:	1 086
Education	Early leavers from education and training, total <sup>(3)</sup> (% of population aged 18–24)	14.7	12.7	11.9	11.2	11.0	10.7	< 10.0
	• Early leavers from education and training, females <sup>(3)</sup> (% of population aged 18–24)	12.7	10.9	10.2	9.6	9.5	9.2	:
	• Early leavers from education and training, males <sup>(3)</sup> (% of population aged 18–24)	16.6	14.5	13.6	12.8	12.4	12.2	:
	Tertiary educational attainment, total <sup>(3)</sup> (% of population aged 30–34)	31.1	36.0	37.1	37.9	38.7	39.1	≥ 40.0
	• Tertiary educational attainment, females <sup>(3)</sup> (% of population aged 30–34)	34.3	40.2	41.4	42.3	43.4	43.9	:
	• Tertiary educational attainment, males <sup>(3)</sup> (% of population aged 30–34)	28.0	31.8	32.8	33.6	34.0	34.4	:
Poverty and social exclusion	People at risk of poverty or social exclusion, EU-27 <sup>(4)</sup> (Million people)	115.9	122.2	121.4	120.7	117.6	:	96.2 <sup>(5)</sup>
	People at risk of poverty or social exclusion, EU-28 <sup>(4)</sup> (Million people)	:	123.6	122.7	121.9	118.8	:	:
	People at risk of poverty or social exclusion, EU-28 <sup>(4)</sup> <sup>(6)</sup> (% of population)	23.7	24.7	24.6	24.4	23.7	:	:
	• People living in households with very low work intensity, EU-28 <sup>(4)</sup> (% of population aged 0–59)	9.2	10.5	10.9	11.2	10.6	:	:
	• People at risk of poverty after social transfers, EU-28 <sup>(4)</sup> (% of population)	16.5	16.8	16.7	17.2	17.3	:	:
	• Severely materially deprived people, EU-28 <sup>(4)</sup> <sup>(7)</sup> (% of population)	8.5	9.9	9.6	8.9	8.1	7.8	:

<sup>(1)</sup> 2015 data are provisional.

<sup>(2)</sup> Total emissions, including international aviation, but excluding emissions from land use, land use change and forestry (LULUCF).

<sup>(3)</sup> Break in time series in 2014 (switch from ISCED 97 to ISCED 2011).

<sup>(4)</sup> The indicator 'people at risk of poverty or social exclusion' corresponds to the sum of persons who are: at risk of poverty after social transfers, severely materially deprived or living in households with very low work intensity. Persons are only counted once even if they are present in several sub-indicators.

<sup>(5)</sup> The overall EU target is to lift at least 20 million people out of the risk of poverty and exclusion by 2020. Due to data availability issues, the target is evaluated only for the EU-27.

<sup>(6)</sup> EU-27 data for 2008.

<sup>(7)</sup> Data for 2016 are estimates and provisional.

Figura A.1-Estatísticas das várias metas no projeto EU 20-20-20, com o objetivo a atingir e os dados relativos a anos anteriores a 2017 (EUROSTAT, 2016).

## **2. Metas Europeias para 2030:**

No final de 2018, a UE aprovou uma diretiva que estabeleceu as metas para a estratégia energética para 2030. As novas regras, acordadas entre o Parlamento Europeu e os Estados Membros, estabelecem metas vinculativas relativamente à energia proveniente de fontes renováveis e eficiência energética. Estabeleceu-se uma meta de 32% do *share* energético de origem renovável e um objetivo de eficiência energética de 32.5%.

No caso dos transportes, a quota de energias renováveis deverá representar, pelo menos, 14% até 2030.

Os biocombustíveis convencionais serão limitados a um máximo de 7%, podendo ser inferior caso em cada Estado Membro a percentagem não chegar a esse valor. Os biocombustíveis que interfiram indiretamente com a alteração dos solos deverão ser eliminados gradualmente até 2030 (PE, 2018b).

## Anexo 3 – Condições de irradiância e temperatura

Tabela A.1-Condições de irradiância e temperatura para o dia 1 de janeiro de 2007, de acordo com o PVGIS (EC, 2018).

Year	Month	Day	Hour	In-plane beam irradiance (W/m <sup>2</sup> )	In-plane diffuse irradiance (W/m <sup>2</sup> )	In-plane reflected irradiance (W/m <sup>2</sup> )	Ambient temperature (°C)
2007	1	1	0:55	0	0	0	11,68
2007	1	1	1:55	0	0	0	12,12
2007	1	1	2:55	0	0	0	12,55
2007	1	1	3:55	0	0	0	12,98
2007	1	1	4:55	0	0	0	12,82
2007	1	1	5:55	0	0	0	12,66
2007	1	1	6:55	0	0	0	12,5
2007	1	1	7:55	0	0	0	12,48
2007	1	1	8:55	242,89	91,76	2,77	12,45
2007	1	1	9:55	455,79	120,81	5,95	12,42
2007	1	1	10:55	614,19	140,16	8,57	12,98
2007	1	1	11:55	707,37	149,2	10,13	13,54
2007	1	1	12:55	726,58	150,85	10,46	14,1
2007	1	1	13:55	666,4	144,93	9,46	14,47
2007	1	1	14:55	539,8	131,35	7,35	14,84
2007	1	1	15:55	42,34	96,52	2,54	15,2
2007	1	1	16:55	136,14	37,71	1,08	15,09
2007	1	1	17:55	0	0	0	14,98
2007	1	1	18:55	0	0	0	14,88
2007	1	1	19:55	0	0	0	14,64
2007	1	1	20:55	0	0	0	14,39
2007	1	1	21:55	0	0	0	14,15
2007	1	1	22:55	0	0	0	14,02
2007	1	1	23:55	0	0	0	13,88

Através da obtenção de valores para todos os dias desde 2007 a 2016, foi possível estabelecer-se uma média horária durante o período de 10 anos.

A tabela A.2 contém os valores obtidos dessa média.

Tabela A.2-Valores médio horários para o dia 1 de janeiro, obtidos através dos valores do PVGIS no período de 2007 a 2016 (EC, 2018).

Month	Day	Hour	In-plane beam irradiance (W/m <sup>2</sup> )	In-plane diffuse irradiance (W/m <sup>2</sup> )	In-plane reflected irradiance (W/m <sup>2</sup> )	Ambient temperature (°C)
1	1	0:55	0	0	0	12,203
1	1	1:55	0	0	0	12,412
1	1	2:55	0	0	0	12,616
1	1	3:55	0	0	0	12,824
1	1	4:55	0	0	0	12,723
1	1	5:55	0	0	0	12,626
1	1	6:55	0	0	0	12,522
1	1	7:55	0	0	0	12,572
1	1	8:55	116,134	72,879	2,036	12,617
1	1	9:55	206,581	98,95	3,745	12,658
1	1	10:55	201,813	128,43	4,794	13,221
1	1	11:55	233,82	138,309	5,517	13,781
1	1	12:55	236,582	145,253	5,569	14,339
1	1	13:55	210,469	133,245	5,162	14,612
1	1	14:55	182,614	127,709	4,464	14,881
1	1	15:55	73,035	66,302	1,937	15,147
1	1	16:55	48,752	28,576	0,744	14,811
1	1	17:55	0	0	0	14,471
1	1	18:55	0	0	0	14,141
1	1	19:55	0	0	0	13,91
1	1	20:55	0	0	0	13,68
1	1	21:55	0	0	0	13,451
1	1	22:55	0	0	0	13,352
1	1	23:55	0	0	0	13,247

Finalmente, foi possível obter-se valores típicos diários para cada mês, efetuando a média de todos os dias do respectivo mês. Valores para o mês típico de janeiro podem ser consultados na tabela seguinte.

Tabela A.3-Valores de irradiância e temperatura para o dia típico do mês de Janeiro (EC, 2018).

Mês	Hora	In-plane beam irradiance (W/m <sup>2</sup> )	In-plane diffuse irradiance (W/m <sup>2</sup> )	In-plane total irradiance (W/m <sup>2</sup> )	In-plane reflected irradiance (W/m <sup>2</sup> )	Ambient temperature (°C)
January	0:55	0,000	0,000	0,000	0,000	12,19
	1:55	0,000	0,000	0,000	0,000	12,07
	2:55	0,000	0,000	0,000	0,000	11,95
	3:55	0,000	0,000	0,000	0,000	11,82
	4:55	0,000	0,000	0,000	0,000	11,66
	5:55	0,000	0,000	0,000	0,000	11,51
	6:55	0,000	0,000	0,000	0,000	11,35
	7:55	0,000	3,472	3,472	0,094	11,37
	8:55	134,373	74,452	208,826	2,258	11,38
	9:55	252,954	113,248	366,202	4,617	11,40
	10:55	340,883	149,984	490,867	6,714	11,98
	11:55	395,316	171,379	566,695	8,016	12,55
	12:55	406,596	174,344	580,941	8,265	13,12
	13:55	374,526	168,080	542,606	7,679	13,44
	14:55	299,378	140,261	439,639	5,990	13,76
	15:55	198,505	99,893	298,398	3,728	14,07
	16:55	113,068	61,675	174,743	1,696	13,77
	17:55	0,000	0,000	0,000	0,000	13,46
	18:55	0,000	0,000	0,000	0,000	13,15
	19:55	0,000	0,000	0,000	0,000	12,90
	20:55	0,000	0,000	0,000	0,000	12,64
	21:55	0,000	0,000	0,000	0,000	12,38
	22:55	0,000	0,000	0,000	0,000	12,31
	23:55	0,000	0,000	0,000	0,000	12,24

Embora não se mostre aqui, mas para os restantes meses de um ano típico o processo foi similar. As diferenças na irradiância e temperatura ao longo dos meses pode ser consultada na figura 17, presente na seção 3.3.

## Anexo 4 – Dedução das equações do tempo de retorno e do custo unitário médio atualizado

Ambas as deduções são baseadas no livro do Professor Rui Castro, intitulado: Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica (Castro, R. 2011).

### 1. Tempo de retorno, $T_r$

O período de recuperação é uma métrica que permite avaliar de modo mais elaborado o tempo de retorno do investimento.

O período de recuperação  $T_r$  é o número de anos necessário à recuperação do investimento. Considerando o investimento totalmente concentrado no momento presente, será:

$$\sum_{j=1}^{T_r} \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} = I_t \quad (\text{A.1})$$

Aplicando-se o modelo simplificado, obtém-se:

$$I_t = R_L \frac{(1+a)^{T_r} - 1}{a(1+a)^{T_r}} = R_L \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{a(1+a)^{T_r}} \right) \quad (\text{A.2})$$

$$\frac{1}{(1+a)^{T_r}} = 1 - \frac{aI_t}{R_L} \quad (\text{A.3})$$

$$(1+a)^{T_r} = \frac{R_L}{R_L - aI_t} \quad (\text{A.4})$$

$$T_r = \frac{\ln\left(\frac{R_L}{R_L - aI_t}\right)}{\ln(1+a)} \quad (\text{A.5})$$

### 2. Custo Unitário Médio Atualizado, LCOE

Para se obter o custo unitário médio atualizado, atualizam-se separadamente os encargos (de investimento, de operação e manutenção, com combustível e outros) e a produção total, durante a vida útil da instalação.

Por forma a poder-se utilizar o modelo simplificado do cálculo do LCOE, é necessário assumir:

- O investimento é todo concentrado no instante inicial,  $t=0$ .
- A utilização anual da potência instalada é constante ao longo do período de análise e igual a  $ha$ .
- Os encargos de O&M são constantes ao longo do período de análise (tempo de vida útil considerado).
- Não há encargos com combustível.
- Os encargos diversos são nulos ou podem ser incluídos nos encargos de O&M.

Definem-se os factores  $ka$  e  $i$  como:

$$ka = \sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+a)^j} = \frac{(1+a)^n - 1}{a(1+a)^n} \quad (\text{A.6})$$

$$i = \frac{1}{ka} = \frac{a(1+a)^n}{(1+a)^n - 1} \quad (\text{A.7})$$

Nestas condições, tem-se:

$$C_{a1} = I_t \quad (\text{A.8})$$

$$C_{a2} = d_{om} I_t k_a \quad (\text{A.9})$$

$$C_{a3} = C_{a4} = 0 \quad (\text{A.10})$$

$$E_{act} = E_a k_a = P_i h_a k_a \quad (\text{A.11})$$

O custo unitário médio atualizado (€/MWh) fica:

$$C_a = \frac{I_t + d_{om} I_t k_a}{E_a k_a} = \frac{I_t (i + d_{om})}{E_a} \quad (\text{A.12})$$

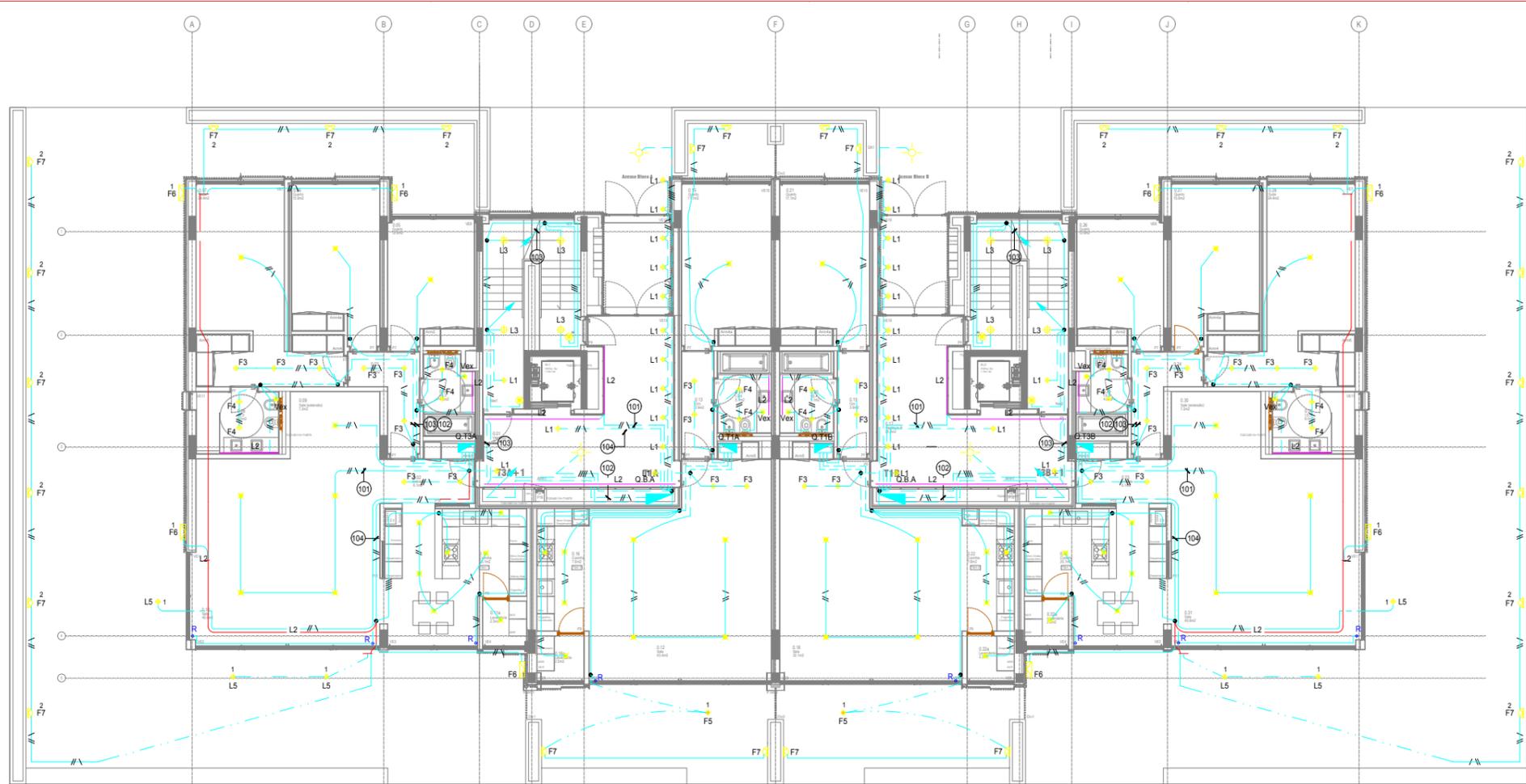
dividindo pela potência instalada:

$$C_a = \frac{I_{01} (i + d_{om})}{h_a} \quad (\text{A.13})$$

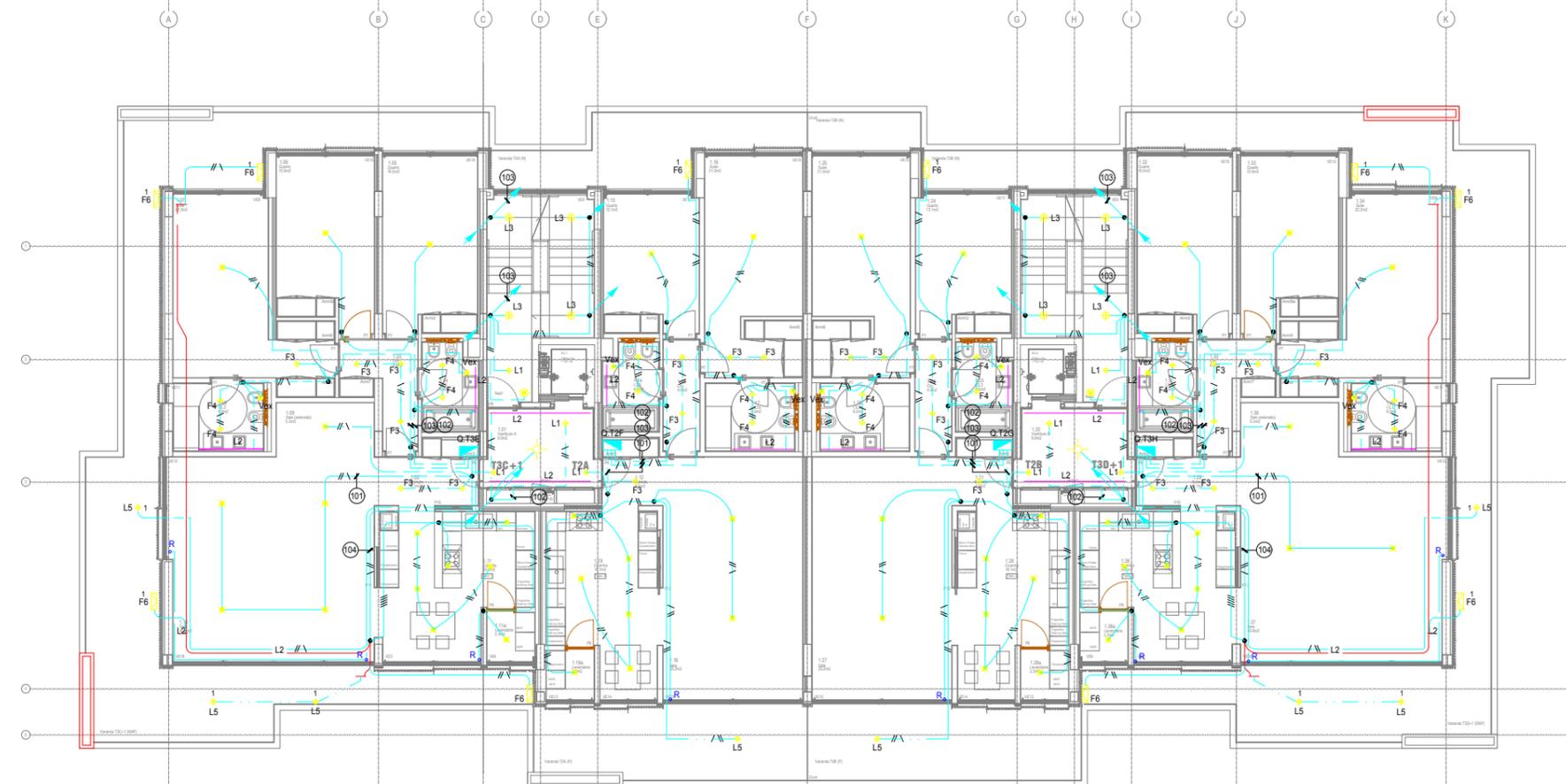
em que  $I_{01}$  é o investimento unitário (€/MW).

## Anexo 5 – Planta da iluminação

A planta da iluminação contém informação sobre a iluminação presente no piso 0 e no piso 1.  
Informação relativa aos pisos 2 e 3 são iguais às presentes para o piso 1.



Piso 0



Piso 1

NOTAS

1. TODOS OS TRAÇADOS E LOCALIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS, DEVERÃO SER CONFIRMADOS SOBRE OS DESENHOS DO PROJECTO DE ARQUITECTURA OU NAS REUNIÕES DE COORDENAÇÃO DE OBRA COM A PRESENÇA DO COORDENADOR DE TODOS OS PROJECTOS.
2. TODOS OS TRAÇADOS DE CABOS EXECUTADOS EM ZONAS EM QUE O TECTO FALSO NÃO É AMOVÍVEL/VISITÁVEL, SERÃO ENTUBADOS.
3. AS DERIVAÇÕES SÃO EFETUADAS NA CAIXA DE APARELHAGEM DOS COMANDOS.

SIMBOLOGIA

- QUADRO ELÉCTRICO (Classe II de isolamento)
  - SE INTERRUPTOR BIPOLAR, MONTAGEM SALIENTE ESTANQUE
  - INTERRUPTOR SIMPLES, MONTAGEM EMBEBIDA
  - COMUTADOR DE LUSTRE, MONTAGEM EMBEBIDA
  - COMUTADOR DE ESCADA SIMPLES, MONTAGEM EMBEBIDA
  - COMUTADOR DE ESCADA DUPLO, MONTAGEM EMBEBIDA
  - INVERSOR DE GRUPO SIMPLES, MONTAGEM EMBEBIDA
  - BOTÃO DE PRESSÃO, MONTAGEM EMBEBIDA
  - BOTÃO DE PRESSÃO LUMINOSO, MONTAGEM EMBEBIDA
  - DETECTOR DE PRESENÇA
  - DETECTOR DE PRESENÇA 360°
  - MICRO-SWITCH
  - a) CAIXA DE DERIVAÇÃO COM TELERRUPTOR INCORPORADO
- CANALIZAÇÃO EM CAMINHOS DE CABOS
  - CANALIZAÇÃO EM BRAÇADEIRAS
  - CANALIZAÇÃO ENTERRADA
  - CANALIZAÇÃO EMBEBIDA



REQUERENTE / CLIENT  
**COLONADE**

PROJECTO / PROJECT  
**ALAMEDA SENHOR DA SERRA, LOTE 10  
BELAS CLUBE DE CAMPO**

2605 BELAS

ESPECIALIDADES/ CONSULTANTS

\\GECITE\_Jogo\_13.jpg

Av. Alameda Costa nº 44A, 1900-071 Lisboa  
Tel: 217427608 Fax: 217427617  
info.gem@unel.com.pt www.unel.com

TITULO / TITLE  
**Planta do Piso 0 e Piso 1  
ILUMINAÇÃO NORMAL**

Cota / Level  
**(00.00)**

ESCALA / SCALE  
**1:100**

CÓDIGO CAD / CAD CODE  
replace. replace.

Fase / Phase  
**PROJETO DE EXECUÇÃO**

Especialidade / Phase  
**Instalações Elétricas**

Data  
**Dezembro 2015**

Sheet Number Key Rev.  
**ELE-2.02 01**

THE DESIGN ON THIS DRAWING IS COPYRIGHT OF THE DESIGNER. NO CHANGE, REPRODUCTION, DISSEMINATION OF THIS DRAWING IS AUTHORIZED WITHOUT DESIGNER'S AGREEMENT. THE DESIGNER IS NOT RESPONSIBLE FOR ANY VARIATIONS ON THE DRAWING.

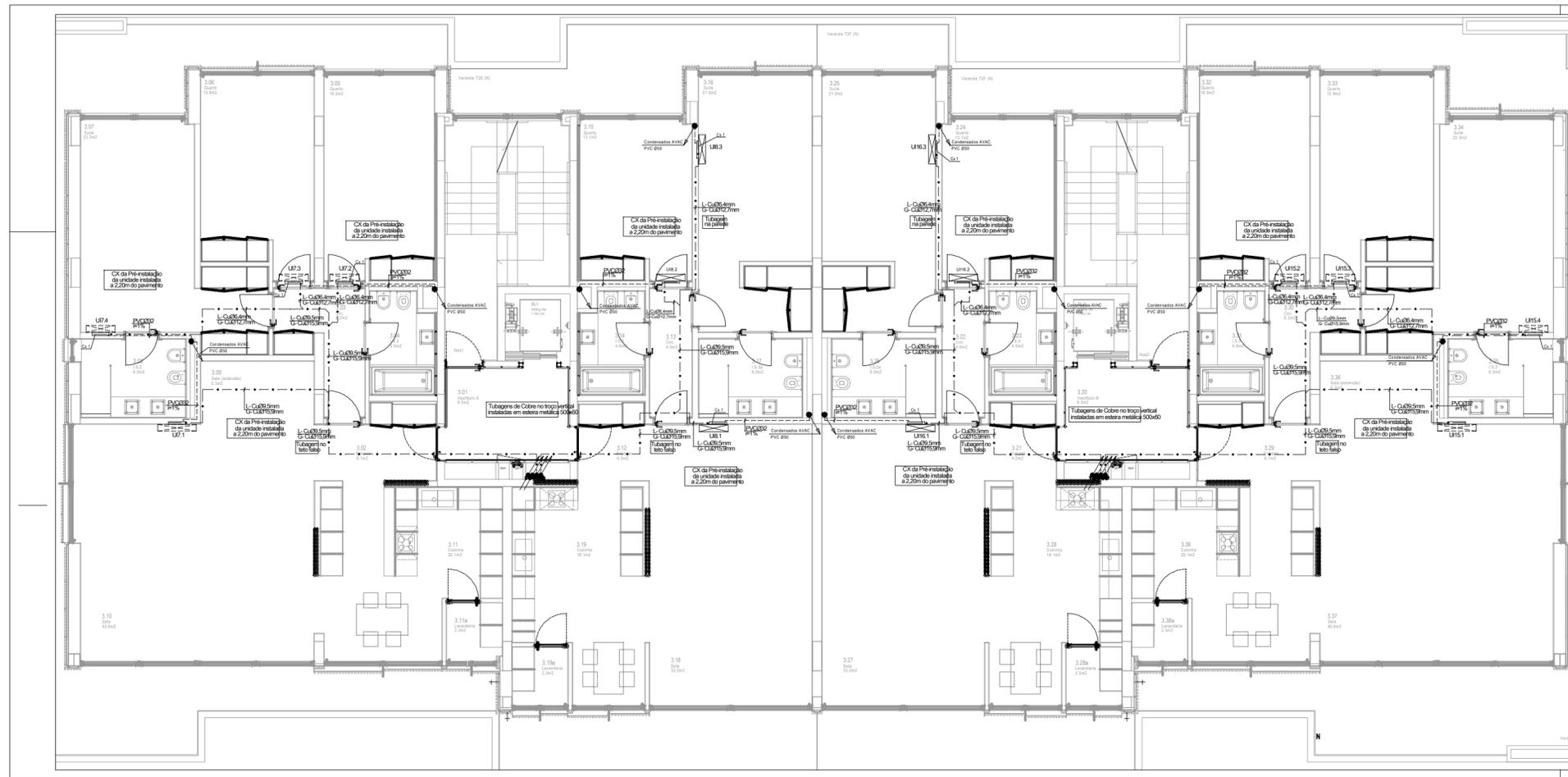
CONTRACTORS & SUB CONTRACTORS MUST COMPLY AT THE BEGINNING OF ANY WORK WITH THE STANDARDS AND REGULATIONS OF THE COUNTRY IN WHICH THE PROJECT IS BEING CARRIED OUT. CONTRACTORS & SUB CONTRACTORS ARE TO CHECK ALL SITE DIMENSIONS AND LEVELS BEFORE STARTING ANY WORKS. ONLY FINISHED DIMENSIONS TO BE TAKEN. EACH CONTRACTOR TO SUBMIT WORKSHOP DRAWINGS FOR APPROVAL BEFORE STARTING ANY WORK.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA CAMPANA LOPES CONSULTING. QUALQUER ALTERAÇÃO, REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO DESTE DESENHO É INTERDITA SEM O ACORDO DA CAMPANA LOPES CONSULTING. RESERVA-SE TODOS OS DIREITOS DE DOUTORAMENTO. OS CONTRATORES E SUB CONTRATORES DEVEM VERIFICAR TODAS AS DIMENSÕES E NÍVEIS DO SÍTIO ANTES DE COMEÇAR QUALQUER TRABALHO. APENAS DIMENSÕES ACABADAS DEVERÃO SER TOMADAS. CADA CONTRATOR DEVE SUBMITIR OS DESENHOS DE TRABALHO PARA APROVAÇÃO ANTES DE COMEÇAR QUALQUER TRABALHO.

OS EMPREENHEIROS DEVEM APLICAR NO INÍCIO DOS TRABALHOS AS NORMAS E LEGISLAÇÃO EM VIGOR NO PAÍS ONDE O PROJECTO É REALIZADO.



## Anexo 6 – Planta dos equipamentos de climatização



Designação	Unidade de Referência	Tipos de Unidade	OBS	Tubagens para Colônade
T1				
U1 x 1 (Base)	FXAG ESP	Mural	Montagem na parede	
U1 x 2 (Quarto)	FXAG ZSP	Mural	Montagem na parede	
UE	RXYSGOT	Mão V&V	Montagem na cobertura Pot Acond=6,5 kW - Pot Aquec=9,9 kW	2 x Ingresso 003 (até interior apartamento)
T2				
U1 x 1 (Base)	FXAG ESP	Mural	Montagem na parede	
U1 x 2 (Quarto)	FXAG ZSP	Mural	Montagem na parede	
U1 x 3 (Quarto)	FXAG ZSP	Mural	Montagem na parede	
UE	RXYSGOT	Mão V&V	Montagem na cobertura Pot Acond=10,6 kW - Pot Aquec=11 kW	2 x Ingresso 003 (até interior apartamento)
T3				
U1 x 1 (Base)	FXAG ESP	Mural	Montagem na parede	
U1 x 2 (Quarto)	FXAG ZSP	Mural	Montagem na parede	
U1 x 3 (Quarto)	FXAG ZSP	Mural	Montagem na parede	
U1 x 4 (Quarto)	FXAG ZSP	Mural	Montagem na parede	
UE	RXYSGOT	Mão V&V	Montagem na cobertura Pot Acond=10,6 kW - Pot Aquec=11 kW	2 x Ingresso 003 (até interior apartamento)

**SIMBOLOGIA**

U1 - Unidade Interior de Climatização (não fazem parte do projeto)  
 UE - Unidade Exterior de Climatização (não fazem parte do projeto)

- NOTAS**
- As Unidades de climatização U1 e UE não fazem parte do equipamento do empreendimento.
  - Colocar "Cx" Tipo "1" de pré-instalação dos sistemas de climatização instalados em até a 2,20m do nível condense em obra.
  - Antesmente com as tubagens de cobre dos circuitos frigoríficos de cada unidade interior, sendo pensados dois tubos Ingresso 003 para Colônade elétrica de referência em obra.
  - Tubagens de cobre a tubos Ingresso na cobertura instaladas em estera metálica com tempo e pé de suporte ao pavimento.
  - Tubagens de cobre dos circuitos frigoríficos com isolamento térmico de 10mm.
  - Cabos "Cx" Tipo "1" de pré-instalação das tubagens de cobre com até 10m de 40/1.
  - Junto de cada unidade interior e exterior deverá ser detalhada uma traça de tubos de cobre e cabo elétrico.
  - Tubagem de escape de condensados a ser instalada no interior de cada bloco com isolamento térmico tipo espuma de expandida 10mm.
  - As tubagens de cobre dos circuitos frigoríficos e de PVC de rede de condensados serão instaladas com suporte afastado a 1,0m.

REQUISITOS CLIENT	DATA	COD.	DESCRIÇÃO	VALOR
<b>COLONADE</b>				
ANALISTA/ARQUITETA				
<b>CAPINHA LOPES CONSULTING</b>				
PROJETO/PROJETA				
<b>Belas Clube de Campo (3ª Fase) - Lote 10</b>				
<b>Belas - Portugal</b>				
ESPECIALIDADES/COORDENADOR				

**PLANO/TÍTULO**

**Planta do Piso 3**  
**CIRCUITOS FRIGORÍFICOS E REDE CONDENSADOS**

Cota: Lote 10  
 Data: 2018  
 Escala: 1:50

COORDENADOR/COORDENADORA

PROJETO DE EXECUÇÃO **Inst. de Ventilação e Climatização** **Art 2018**

TECNICO RESPONSÁVEL  
 André Figueiredo (Eng.º de Mecânica) OET n.º 12052

**L10-IVC-D2-004** 00