



# AUTONOMIA ENERGÉTICA NUMA UNIDADE FABRIL

**JOÃO TINOCO DA SILVA**

novembro de 2017

# AUTONOMIA ENERGÉTICA NUMA UNIDADE FABRIL

João Tinoco da Silva



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2017**



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -  
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: João Tinoco da Silva, Nº 1110343, 1110343@isep.ipp.pt

Orientação científica: Custódio Dias, cpd@isep.ipp.pt

Empresa: Leica – Aparelhos Ópticos de Precisão, Lda.

Supervisão: Álvaro Ribeiro, aribeiro@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2017**



Ao futuro dos meus anseios,



## *Agradecimentos*

Primeiro de tudo, aos meus pais, pelas orientações e conselhos que me deram e continuam a dar e por estarem sempre presentes quando mais preciso.

Ao meu irmão, por ter sido o meu exemplo a seguir, como irmão, amigo, companheiro e profissional de Engenharia.

À minha namorada, minha companheira de cruzadas e encruzilhadas num percurso que não foi fácil.

Ao Professor Doutor Custódio Dias, pelo apoio e disponibilidade demonstrados no que diz respeito à decisão e orientação na elaboração e realização do trabalho, bem como os conhecimentos transmitidos.

Ao Sr. Álvaro Ribeiro pela colaboração, oportunidade e disponibilidade demonstradas no âmbito da realização deste trabalho.

À Dr.<sup>a</sup> Florbela e ao Dr. Paulo Maravalhas pelo apoio prestado, desde a entrevista até ao final do meu estágio.

Um especial obrigado à equipa de manutenção da Leica Portugal e a toda a administração que, desde o primeiro dia me receberam bem e me deram esta chance de trabalhar de perto com uma marca que conheço desde pequeno e com a relevância que esta tem em todo o mundo.

Ao meu amigo Diogo Oliveira pela amizade e partilha de conhecimentos.

Finalmente, um obrigado ao ISEP e a todo o corpo docente do curso de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, por serem capazes de proporcionar as condições necessárias para que eu, a minha família e os meus colegas de curso pudessem estar aptos à vida profissional.



## *Resumo*

Fatores económicos e ambientais levam a que grandes consumidores, tais como os produtores industriais, refinem o seu plano estratégico de operabilidade. Um dos grandes impactos para estes dois fatores são o consumo de energia elétrica que, para além de representar uma importante parte dos custos de operabilidade de uma empresa, também o são para o ambiente. A fábrica da Leica em Portugal é um desses exemplos. Trata-se de uma empresa que promove o bem-estar e eficiência dos seus funcionários e clientes. Com o objetivo de tornar a fábrica autónoma de energia elétrica, estudou-se o perfil energético a fim de implementar soluções renováveis de produção de energia. O estudo técnico-económico revelou que das três fontes renováveis propostas - hídrica, eólica e solar - somente a última é um investimento aceitável e que cumpre os parâmetros de investimento estabelecidos pela firma. Não foi possível, até à data de conclusão deste documento, implementar uma tecnologia que fosse possível tornar a fábrica autónoma, visto que são necessárias grandes áreas de instalação, condições especiais, maior rendimento dos equipamentos e menores custos de aquisição e manutenção.

### *Palavras-Chave*

Fatores económicos; fatores ambientais; indústria; plano estratégico de operabilidade; consumo energia elétrica; empresa; eficiência; fontes renováveis; autonomia energética; estudo técnico-económico; rendimento.



## *Abstract*

Economic and environmental factors lead large consumers like industrial producers to refine their strategic plan of operability. One of the major impacts of these two factors is the consumption of electricity, which in addition to representing an important part of a company's operability costs, is also important for the environment. The Leica factory in Portugal is one such example of a company that promotes the well-being and efficiency of its employees and customers. With the objective of becoming an autonomous power plant, the energy profile was studied in order to implement renewable energy production solutions. The technical-economic study revealed that of the three renewable sources proposed - hydro, wind and solar - only solar is an acceptable investment and meets the investment parameters established by the firm. Until the date of this document, it was not possible to implement a technology that could make the plant autonomous, since large areas of installation, special conditions, higher equipment efficiency and lower acquisition and maintenance costs were required.

### ***Keywords***

Economic factors; environmental factors; industry; strategic plan of operability; consumption electric power; company; efficiency; renewable sources; energy autonomy; technical-economic study; Yield.





# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	1
1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	2
<b>2. TECNOLOGIAS RENOVÁVEIS.....</b>	<b>4</b>
2.1 ENERGIA HÍDRICA .....	4
2.2 ENERGIA EÓLICA.....	7
2.2.1 TIPOS DE AEROGERADORES .....	8
2.2.2 EFICIÊNCIA NA EXTRAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA.....	9
2.2.3 CARACTERÍSTICAS DO AEROGERADOR.....	9
2.2.4 REQUISITOS PARA A INSTALAÇÃO DE UMA TURBINA EÓLICA .....	10
2.2.5 PLANEAMENTO E CONSTRUÇÃO .....	11
2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	12
2.3.1 TIPOS DE CÉLULAS .....	13
2.3.2 EFEITOS DO SOMBREAMENTO NOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	13
2.4 AUTONOMIA ENERGÉTICA.....	14
<b>3. CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>16</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	16
3.2 CONSUMOS ENERGÉTICOS DA EMPRESA.....	17
3.3 HIPÓTESE APROVEITAMENTO MICRO-HÍDRICO .....	19
3.4 HIPÓTESE DE APROVEITAMENTO EÓLICO .....	20
3.4.1 PROPOSTA DE LOCALIZAÇÃO .....	21
3.4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS VENTOS NO LOCAL.....	22
3.4.3 PREVISÃO PROBABILÍSTICA DOS VENTOS .....	23
3.4.4 CARACTERÍSTICA TIPO DO EQUIPAMENTO A INSTALAR .....	24
3.4.5 ENERGIA ANUAL PRODUZIDA (AEP).....	25
3.4.6 POSSÍVEIS RESTRIÇÕES LEGAIS .....	25
3.5 HIPÓTESE DE APROVEITAMENTO FOTOVOLTAICO.....	26
3.5.1 LOCALIZAÇÃO .....	26

3.5.2	CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS DO LOCAL DE INSTALAÇÃO .....	27
3.5.3	ESTUDO TÉCNICO-ECONÓMICO .....	27
3.5.4	ESTUDO DO EFEITO DO SOMBREAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NA COBERTURA DA FÁBRICA .....	36
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1	ALGUMAS CRÍTICAS DECORRENTES DO ESTUDO.....	41
4.2	PROPOSTAS FUTURAS.....	41
	<b>ANEXO I FOLHA DE CÁLCULO DO ESTUDO ECONÓMICO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS .....</b>	<b>47</b>
	<b>ANEXO II RESULTADOS OBTIDOS DA SIMULAÇÃO NO PROGRAMA DE CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICA CERTIFICADO CARRIER HAP 4.80.....</b>	<b>53</b>
	<b>ANEXO III FOLHA DE CÁLCULO DO ESTUDO ECONÓMICO DOS PAINÉIS DOS FOTOVOLTAICOS COM DADOS DO ESTUDO DAS CARGAS TÉRMICAS .....</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXO IV COMPROVATIVO PVGIS.....</b>	<b>62</b>



## Índice de Figuras

FIGURA 2-1 – HIERARQUIA DAS MÁQUINAS DE FLUÍDO [1] .....	4
FIGURA 2-2 – HIERARQUIA DE TIPOS DE TURBINAS HÍDRICA .....	4
FIGURA 2-3 – GRÁFICO COM AS ÁREAS DE AÇÃO DAS TURBINAS PELTON E BANKI [2] .....	6
FIGURA 2-4 – EXEMPLO DE UMA TURBINA BANKI [2] .....	7
FIGURA 2-5 – ILUSTRAÇÃO DE ESCALÕES DE DIMENSÕES E POTÊNCIAS EÓLICAS [3].....	7
FIGURA 2-6 – DIFERENTES FORMATOS DE ROTORES VERTICAIS .....	8
FIGURA 2-7 – ESQUEMA DE COMPOSIÇÃO DE UM AEROGERADOR COM CAIXA DE VELOCIDADES À ESQUERDA E SEM À DIREITA (MODELO ENERCON) .....	8
FIGURA 2-8 – GRÁFICO DAS VELOCIDADES DO VENTO PARA UM AEROGERADOR .....	9
FIGURA 2-9 – JUNÇÃO PN (DÍODO) E CURVA CARACTERÍSTICA [7].....	12
FIGURA 2-10 - EFEITO FOTOVOLTAICO NUMA CÉLULA FOTOVOLTAICA ELEMENTAR [7].....	12
FIGURA 2-11 – FILEIRA FOTOVOLTAICA COM UM MÓDULO SOMBREADO [7].....	13
FIGURA 2-12 – FUNÇÃO DO DÍODO BYPASS EM FILEIRA COM MÓDULO SOMBREADO [7] .....	14
FIGURA 2-13 – EXEMPLO DE UM DIAGRAMA DE CARGAS COM A PRODUÇÃO SOLAR INFERIOR AO CONSUMO TOTAL [10] .....	14
FIGURA 3-1 – VISTA AÉREA DA FÁBRICA DA LEICA EM LOUSADO, PORTUGAL.....	16
FIGURA 3-2 - FLUXOGRAMA COM PROCESSO DE FABRICO.....	17
FIGURA 3-3 – GRÁFICO COMPARATIVO DOS CUSTOS ENERGÉTICOS ENTRE AS DIFERENTES FONTES DE ENERGIA .....	18
FIGURA 3-4 - DIAGRAMA DE CARGAS TÍPICO DE UM DIA ÚTIL DA FÁBRICA .....	19
FIGURA 3-5 – FOTO DA INSTALAÇÃO NO PISO -1 (À ESQUERDA) E DO CAUDAL DE ÁGUA DENTRO DOS RESERVATÓRIOS (À DIREITA) .....	19
FIGURA 3-6 – REPRESENTAÇÃO SIMPLES DA GEOMETRIA DO CÁLCULO [12].....	20
FIGURA 3-7 – REPRESENTAÇÃO DO LOCAL PROPOSTO PARA A INSTALAÇÃO.....	21
FIGURA 3-8 – ALTURA DO EDIFÍCIO DA LEICA (À ESQUERDA) EM RELAÇÃO AO TERRENO ADJACENTE (À DIREITA).....	22
FIGURA 3-9 – MAPA MÉDIO DO PARÂMETRO DE ESCALA DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL (À ESQUERDA) E MAPA MÉDIO SIMULADO DA INTENSIDADE DO VENTO (M/S), AMBOS PARA 60 M DE ALTURA [13] .....	22

FIGURA 3-10 – GRÁFICO ILUSTRATIVO DAS FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE DE WEIBULL.....	23
FIGURA 3-11 - GRÁFICO ILUSTRATIVO DA FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE ACUMULADA DE WEIBULL .....	24
FIGURA 3-12 – CURVA DE POTÊNCIA CALCULADA E DADOS TÉCNICOS DA MÁQUINA ENERCON E-48, RESPETIVAMENTE [15] .....	24
FIGURA 3-13 – AEROGERADOR DA ENERCON NA PRAIA NORTE EM VIANA DO CASTELO.....	26
FIGURA 3-14 – ÁREA PARA INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS .....	26
FIGURA 3-15 – ALÇADO VISTO DO LADO SUL DO EDIFÍCIO.....	27
FIGURA 3-16 – ANÁLISE REPRESENTATIVA DA DISTÂNCIA ENTRE FILEIRAS [7] .....	28
FIGURA 3-17 – ÂNGULO ALTURA MÍNIMA DO SOL ENTRE AS 9H E AS 15H DO SOLSTÍCIO DE INVERNO (PIOR DOS CASOS).....	29
FIGURA 3-18 – DISPOSIÇÃO DE 3477 PAINÉIS NA HORIZONTAL COM 1 METRO ENTRE FILEIRAS .....	30
FIGURA 3-19 - DISPOSIÇÃO DE 3392 PAINÉIS NA VERTICAL COM 1 METRO ENTRE FILEIRAS .	30
FIGURA 3-20 – SOMBREAMENTO A CINZENTO, CONTRASTADO SOBRE O AMARELO DA SUPERFÍCIE .....	31
FIGURA 3-21 – PORMENOR EM PLANTA DO SOMBREAMENTO PROVOCADO PELOS PAINÉIS NA ZONA 2 .....	31
FIGURA 3-22 – PORMENOR EM PLANTA DO SOMBREAMENTO PROVOCADO PELOS PAINÉIS NA ZONA 4 .....	32
FIGURA 3-23 – GRÁFICOS REPRESENTATIVOS DE PRODUÇÃO E CONSUMO .....	33
FIGURA 3-24 - GRÁFICO CASH-FLOW DO ANO 0 AO 20 .....	35
FIGURA 3-25 – CASH-FLOW ACUMULADO COM AS POUPANÇAS COM OS GANHOS TÉRMICOS	38

## *Índice de Tabelas*

TABELA 2-1 – ESCALÕES DE POTÊNCIA INSTALADA PARA CENTRAIS HÍDRICAS [1] .....	5
TABELA 2-2 – TIPOS DE TURBINA POR ORDEM CRESCENTE DE CAUDAIS [1].....	5
TABELA 2-3 – VALORES-LIMITE DE EXPOSIÇÃO A RUÍDO AMBIENTE EXTERIOR [6].....	10
TABELA 2-4 – VALORES-LIMITE DE INCOMODIDADE A RUÍDO AMBIENTE EXTERIOR [6] .....	11
TABELA 2-5 – ÁREAS NECESSÁRIAS CONSOANTE O TIPO DE CÉLULAS [7] .....	13
TABELA 2-6 – TABELA-RESUMO DE ANÁLISE SUMÁRIA DOS PRINCIPAIS REQUISITOS EXIGIDOS ÀS UPAC [11] .....	15
TABELA 3-1 – QUADRO-RESUMO COM AS DIFERENTES FORMAS DE ENERGIA CONSUMIDAS PELA INSTALAÇÃO REFERENTES A 2016 (SEM TAXAS E IMPOSTOS) .....	18
TABELA 3-2 – CARACTERÍSTICAS DO PAINEL FOTOVOLTAICO JINKO EAGLE 60 MODELO JKM265PP-60 .....	28
TABELA 3-3 – CONSUMO VERSUS PRODUÇÃO PREVISTA DO PARQUE FOTOVOLTAICO .....	33
TABELA 3-4 – DESPESA COM A ELETRICIDADE EM 2016 E A POUPANÇA ESPERADA .....	34
TABELA 3-5 – TABELA-RESUMO DA RENTABILIDADE DO PROJETO.....	34
TABELA 3-6 – DADOS ECONÓMICOS DO PARQUE FOTOVOLTAICO.....	35
TABELA 3-7 – TABELA-RESUMO DA RENTABILIDADE DO PROJETO.....	37
TABELA 3-8 - DADOS ECONÓMICOS DO PARQUE FOTOVOLTAICO COM OS GANHOS PROPORCIONADOS PELOS GANHOS TÉRMICOS .....	38



# *Acrónimos*

## AEP

Annual Energy Production ..... 23

## DNI

Irradiância direta normal ..... 32

## DNIc

Irradiância direta normal a céu-aberto..... 32

## EN

European Standard..... 1

## G

Irradiância global num plano fixo ..... 32

## Gc

Irradiância global a céu-aberto num plano fixo..... 32

## Gd

Irradiância difusa num plano fixo..... 32

## GTC

Gestão Técnica Centralizada ..... 17

## INEGI

Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial ..... 12

## ISO

International Organization for Standardization ..... 1

## kg/dm<sup>3</sup>

Quilograma por decímetro cúbico ..... 20

## l/s

litros por segundo ..... 20

m/s	
metros por segundo .....	22
MWh	
Mega Watt hora.....	20
NP	
Norma Portuguesa.....	1
PHP	
Potência em Horas de Ponta.....	34
PVGIS	
Photovoltaic Geographical Information System .....	32
RESP	
Rede Elétrica de Serviço Público .....	15
UPAC	
Unidade de Produção para Autoconsumo .....	14





# 1. Introdução

## 1.1 Contextualização

Fatores económicos e ambientais levam a que grandes consumidores como os produtores industriais refinem o seu plano estratégico de operabilidade. Um dos grandes impactos para estes dois fatores são o consumo de energia elétrica que, para além de representar uma importante parte dos custos de operabilidade de uma empresa, também o são para o ambiente. No entanto, a consciencialização e responsabilidade estão cada vez mais a ser levados a sério por todos, daí que investimentos pró-ambiente e redutores de custos se tornem numa boa combinação para grandes, médios e pequenos consumidores de corrente elétrica.

A fábrica da Leica em Portugal é um desses exemplos, o de uma empresa que promove o bem-estar e eficiência dos seus funcionários e clientes. Para além dos certificados de qualidade como o NP EN ISO 14001 em Sistemas de Gestão Ambiental, no seu site (Leica.pt) acrescentam: “A Leica trabalha continuamente para aumentar a eficiência ambiental do seu processo de fabrico. Desta forma, têm implementado um sistema de gestão ambiental certificado, apresentando-se como uma empresa amiga do ambiente, cumpridora de todos os requisitos legais e outros aplicáveis aos seus aspetos ambientais, bem como, outros compromissos voluntariamente assumidos.”. Um desses “compromissos voluntariamente assumidos” é o da eficiência energética.

Este documento visou o estudo da possibilidade de tornar a fábrica autónoma em termos energéticos, com recurso a fontes renováveis.

## 1.2 Objetivos

O objetivo deste documento será averiguar a possibilidade de tornar a fábrica da Leica autónoma eletricamente. Avaliar se existem condições técnico-económicas para reduzir total ou parcialmente os custos associados a esta. Para isso serão estudadas energias renováveis em três dos formatos conhecidos: hídrica, eólica e fotovoltaica. Usou-se como base de estudo a fábrica da Leica em Famalicão, na qual o autor desta tese estagiou durante 5 meses. Os custos associados ao consumo de eletricidade numa fábrica pesam substancialmente no balanço realizado no final do ano, sendo esta uma fatia grande das despesas de operação.

Assim sendo, este estudo divide-se em três estudos diferentes, uma para cada tecnologia com vista a estudar a possibilidade técnico-económica de produção através de energia renovável num grande consumidor de energia.

Uma primeira análise, realizada nas instalações, foi para o recurso hídrico que, embora não houvesse quedas de água ou rios por perto, por sugestão do responsável técnico da manutenção, colocou-se a hipótese de um aproveitamento de um caudal de água em dois depósitos que recebiam grandes quantidades de água a toda a hora. E sendo que uma das particularidades da empresa é ser grande consumidora de água, averiguar-se-á essa possibilidade a partir dos dados recolhidos no local.

Outra proposta interessante em termos de estudo que, embora não seja novidade, não é comum ver-se: a instalação de uma torre eólica num terreno adjacente à fábrica. Esta instalação beneficia de ser numa localização industrial, que é afastada da zona residencial em pelo menos 400 m. Avaliar se existem condições para a instalação e se existirá vento suficiente durante o ano naquela zona que justifique tal investimento, será a segunda análise. Por fim, a alternativa fotovoltaica, que seria uma proposta muito interessante, já que tendo a fábrica uma grande área útil para instalação dos painéis, seria uma excelente oportunidade para produzir energia. Estudaram-se, pelo menos, dois locais onde o fazer, um na cobertura da fábrica e outro como cobertura do parque de estacionamento. Todavia, a estrutura necessária para o parque encareceria a instalação, o que levaria a um estudo pormenorizado de diferentes disposições para a colocação dos painéis no topo da fábrica.

Todas as conclusões retiradas deixaram em aberto um possível investimento numa instalação com três fontes renováveis, ou somente uma. Beneficiarão, não só, mas também, em termos dos custos de operação que poderão descer.

### **1.3 Organização do relatório**

Este relatório está dividido em 4 capítulos para que o seu leitor possa compreender as propostas, os recursos atuais à disposição e a sugestão de execução.

No Capítulo 1 contextualiza-se o estudo e definem-se objetivos.

O Capítulo 2 está subdividido em 3 subcapítulos. No subcapítulo 2.1 identificam-se as tecnologias de microprodução de aproveitamento hídrico para explicar as opções tomadas no caso de estudo. No subcapítulo 2.2 analisa-se o recurso eólico como energia mecanicamente transformada e consumida, assim como as opções atualmente existentes no mercado e algumas características a ter em conta no estudo destes projetos. No subcapítulo

2.3 é apresentada a tecnologia fotovoltaica, numa abordagem mais prática, com vista ao projeto e instalação, de forma a que seja possível entender as escolhas que foram feitas.

No Capítulo 3 é feita a apresentação do caso de estudo, subdividido em três subcapítulos com as hipóteses de aproveitamento micro-hídrico, eólico e fotovoltaico. Os estudos incluem uma análise técnico-económica.

Finalmente, no Capítulo 4, tecem-se as conclusões finais acerca do estudo, algumas críticas oriundas do decorrer do trabalho e propostas futuras.

# 2. Tecnologias renováveis

## 2.1 Energia hídrica

A energia hídrica consiste no aproveitamento da energia potencial existente numa massa de água, sendo esta convertida em energia mecânica, através de um equipamento denominado turbina. As turbinas convertem essa energia mecânica em energia elétrica para uma rede própria. As turbinas enquadram-se no grupo das turbomáquinas que, por sua vez, enquadram-se no grupo geral das máquinas de fluido, conforme fig. 2-1.

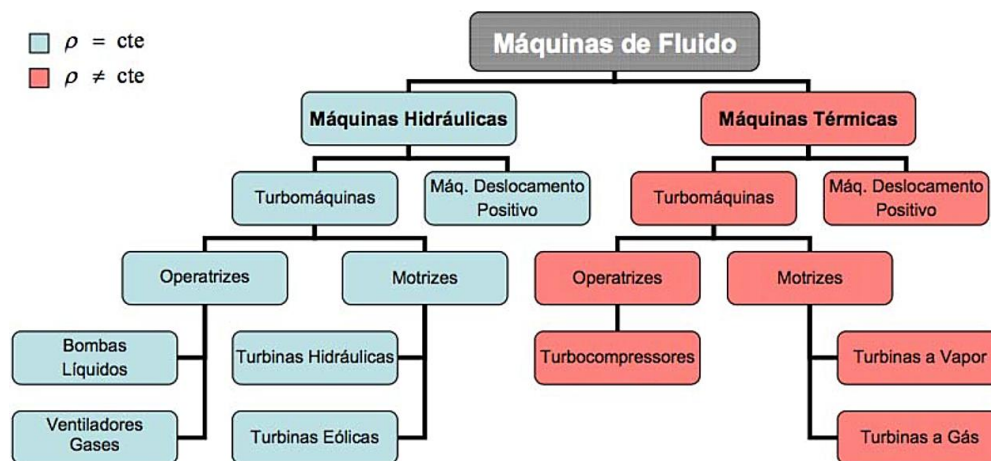


Figura 2-1 – Hierarquia das máquinas de fluido [1]

Existem diversos tipos de turbina (figura 2-2), geralmente selecionadas consoante o campo de aplicação, entre outros fatores, em função dos valores de queda e caudal dos locais. Também a velocidade específica e eficiência são fatores que determinam a escolha de determinado tipo de turbina.

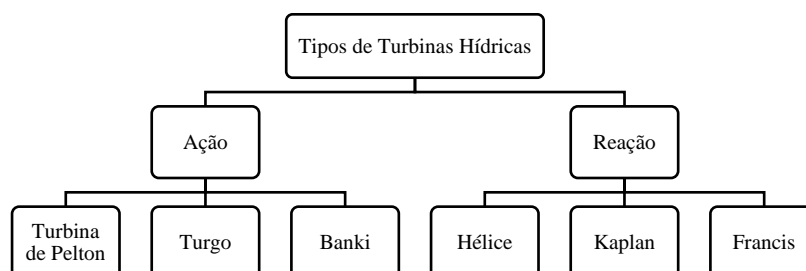


Figura 2-2 – Hierarquia de tipos de turbinas Hídrica

O grupo das Turbomáquinas pode ser classificado quanto à forma dos canais entre as pás. Este pode ser de ação ou impulsão, em que os canais do rotor simplesmente desviam o fluxo sem alterações de pressão; ou reação, onde já existem variações de pressão no fluido provocadas pelas pás móveis do rotor, nomeadamente uma subida nas bombas e ventiladores e um decréscimo na turbina. [1] Para o caso do estudo realizado no final deste documento restringindo-se aos parâmetros da instalação, só interessaram as turbinas de ação da gama das micro e mini-hídricas (tabela 2-1).

Tabela 2-1 – Escalões de Potência Instalada para centrais hídricas [1]

Designação	Potência Instalada (MW)
Grande Central Hidroeléctrica	$\geq 100$
Média Central Hidroeléctrica	$10 \leq P < 100$
Pequena Central Hidroeléctrica	$2 \leq P < 10$
Mini Central Hidroeléctrica	$0,5 \leq P < 2$
Micro Central Hidroeléctrica	$< 0,5$

A tabela seguinte mostra que as turbinas mais indicadas para baixos caudais são as de ação que exigem menor pressão no rotor, nomeadamente a Banki, Turgo e Pelton.

Tabela 2-2 – Tipos de turbina por ordem crescente de caudais [1]

Tipo de turbina		$N_s^1$
Pelton	Lenta (1 injector)	3 – 9
	Normal (2 injectores)	8 – 17
	Rápida (3 ou mais injectores)	17 – 25
Turgo	–	8 – 20
Banki	–	26 – 172
Francis	Lenta	50 – 129
	Normal	129 – 215
	Rápida	215 – 344
Kaplan e Axiais	Lenta	258 – 388
	Normal	388 – 560
	Rápida	560 – 688

Como tal, no que concerne à seleção da turbina em função da queda e caudal, a escolha far-se-á de acordo com o gráfico da figura 2-3.

<sup>1</sup> Velocidade específica de potência é a velocidade de rotação de uma máquina fictícia, desenvolvendo a potência de um cavalo para uma queda de um metro:  $N_s = \frac{N \times \sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}}$ . [1]

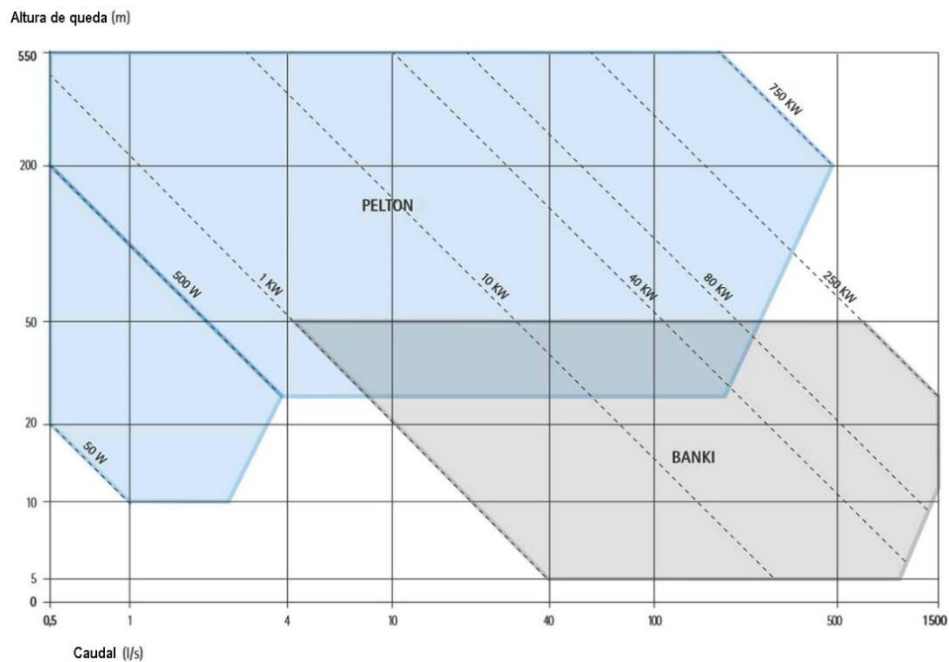


Figura 2-3 – Gráfico com as áreas de ação das turbinas *Pelton* e *Banki* [2]

De uma forma sucinta e de acordo com as classificações acima mencionadas, para instalações de potências e quedas mais elevadas, as turbinas *Pelton* são as mais indicadas (entre os 50 kW e acima dos 10000 kW, com quedas acima dos 30 m). Por outro lado, para instalações de caudais, potências e quedas mais baixas, a escolha recai sobre as turbinas *Banki*. Neste trabalho em particular, foi alvo de estudo esta mesma turbina, uma vez que a queda em causa tem aproximadamente 5 m, enquadrando-se neste tipo de equipamento. Como se verifica, este tipo de turbina é aplicável em quedas que vão desde os 5 m até aos 50 metros, com caudais desde os 4 l/s até aos 1500 l/s.

Esta pode ser igualmente designada por *Banki-Mitchell*, *Ossberger* ou *Crossflow*. Nasceu no início do século XX, tendo caído em desuso até que, com o aparecimento das mini-hídricas, renasceu. [1]

A turbina *Banki* (figura 2-4) possui uma particularidade – a água que entra na turbina passa pelas pás duas vezes, daí outro dos nomes atribuídos - *Crossflow*. De uma forma sucinta, esta é constituída por carcaça, injetor, rotor, rolamento, canto da carcaça, válvula para entrada de ar, descarga, redutor e estrutura base.

A injeção de água pode ser horizontal ou vertical. Na injeção horizontal, a entrada do fluxo de água faz-se lateralmente ao passo que, na injeção vertical, faz-se pela parte superior. O controlo deste tipo de turbina faz-se através da variação automática ou manual da posição de uma lâmina guia. O rotor deste tipo de turbina é em forma de tambor, formado por discos ligados por uma série de pás curvas.

A grande vantagem deste tipo de turbina é a sua simplicidade, tornando-a fiável e de baixo custo de manutenção. É de fácil limpeza, não produzem esforços axiais nem grandes vibrações (evitando a utilização de rolamentos de pressão) e não sofrem de problemas de cavitação. Podem ser aplicadas numa vasta gama de quedas e caudais, mantendo um rendimento interessante, em especial devido ao seu funcionamento em escalões.

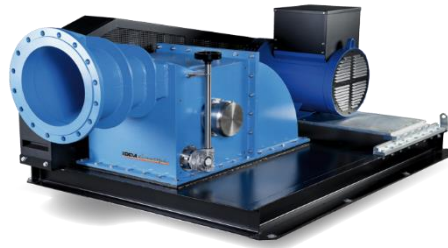


Figura 2-4 – Exemplo de uma Turbina *Banki* [2]

Em suma, conforme referido no início deste subcapítulo, este tipo de turbina atinge a sua eficiência máxima em baixas e médias quedas, sendo enquadrável neste estudo.

## 2.2 Energia Eólica

A energia eólica consiste na transformação da energia do vento em energia útil, como por exemplo, em energia mecânica. Por sua vez, a energia mecânica pode ser convertida em elétrica. Na figura 2-5 estão representadas as diferentes gamas de turbinas eólicas para potências desde os 10 kW (até 35 m de altura) e os 6 MW (até 213 m de altura). Esta última, com vastas áreas de varrimento, só é usada em zonas fora da costa.

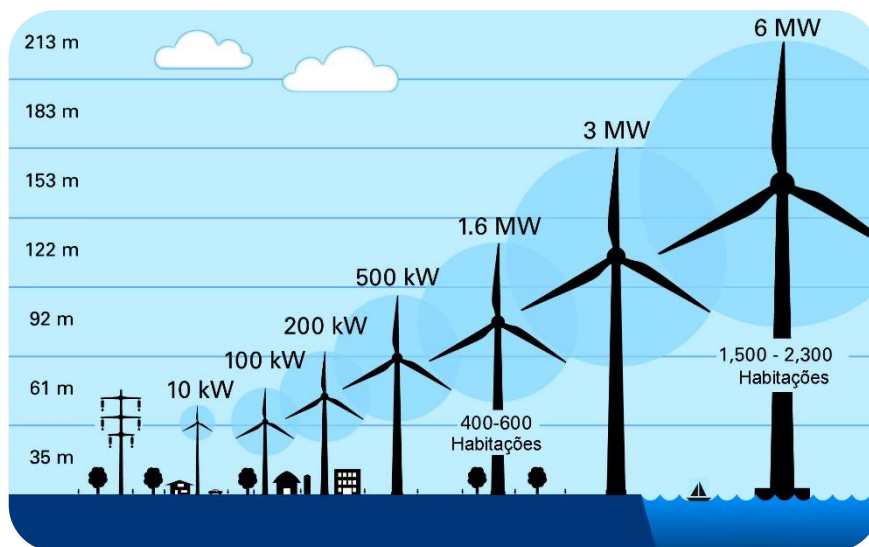


Figura 2-5 – Ilustração de escalões de dimensões e potências eólicas [3]

## 2.2.1 Tipos de aerogeradores

Existem duas filosofias de construção para aerogeradores:

- Eixo vertical

Se o eixo for orientado verticalmente, o rotor também o será. O gerador e a caixa de velocidades (se existir), ficará na base da turbina. Este tipo de turbinas (fig. 2-6) têm um formato diferente de pás que permite receber o vento seja em que direção for. O tipo de rotor, como o *Darrieus*, tem boas eficiências, mas pouca fiabilidade, dado que exerce um elevado binário na estrutura e, ainda é, necessário um gerador para começarem a operar.

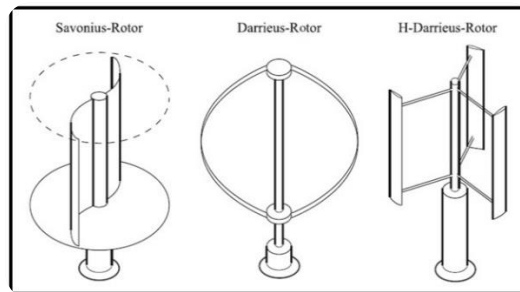


Figura 2-6 – Diferentes formatos de rotores verticais

- Eixo horizontal

O aerogerador possui o rotor e o gerador na horizontal e no topo da torre, dentro de uma estrutura chamada *nacelle*, como é possível ver na figura seguinte.

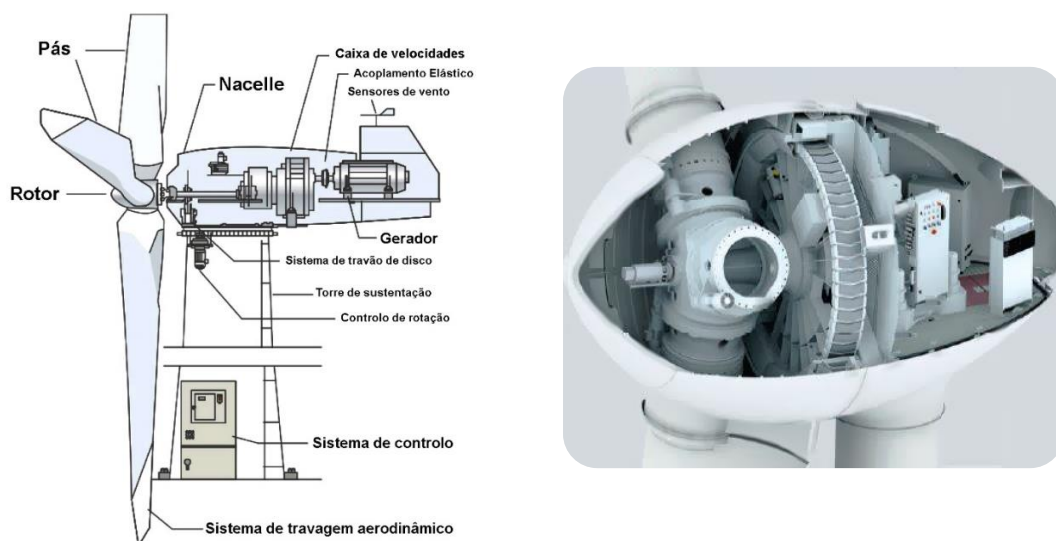


Figura 2-7 – Esquema de composição de um aerogerador com caixa de velocidades à esquerda e sem à direita (modelo *Enercon*)

## 2.2.2 Eficiência na extração de Energia Eólica

O rendimento efetivo da conversão numa turbina eólica depende da velocidade do vento e é dado pela equação 2-1, sendo  $C_p$  o coeficiente de potência,  $u$  a velocidade do vento,  $P_{mec}$  a potência mecânica disponível no veio da turbina e  $P_{disp}$  a potência disponível no vento [4].

$$C_p(u) = \frac{P_{mec}}{P_{disp}} \quad (2-1)$$

O rendimento da extração de energia do vento não pode ultrapassar  $C_p = 16/27$  ou 59,25%. Isto deve-se ao Limite de *Betz*, que define a potência máxima que é possível extrair do vento, independentemente do seu design.

## 2.2.3 Características do aerogerador

Na escolha de um aerogerador, é necessário considerar certos parâmetros consoante as condições do local, sendo elas as seguintes:

- Velocidade de arranque (*Start-up Speed*) – velocidade na qual o rotor inicia a rotação;
- Velocidade de entrada (*Cut-in Speed*) – velocidade mínima necessária para gerar potência útil;
- Velocidade de saída (*Cut-out Speed*) – velocidade máxima à qual a turbina deixa de funcionar por razões de segurança;
- Velocidade nominal (*Rated Speed*) – velocidade mínima do vento necessária para que o aerogerador funcione à sua potência nominal.

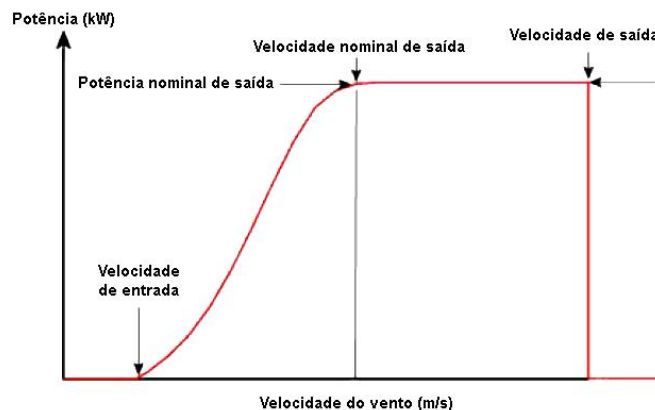


Figura 2-8 – Gráfico das velocidades do vento para um aerogerador

## 2.2.4 Requisitos para a instalação de uma turbina eólica

Para projetar um parque eólico ou, como no caso deste estudo, um só aerogerador, é necessário ter em conta condições ambientais, sociais e legais. O local de instalação é extremamente importante. A “qualidade” do vento deverá ser relativamente consistente, ou seja, não deverão existir obstáculos, como árvores, edifícios ou colinas entre o fluxo de vento e o rotor. Daí que os rotores sejam colocados no cimo de torres, para que possam ser captados ventos mais fortes. Ainda mais, a velocidade do vento varia de acordo com a hora do dia, a estação e a temperatura. A quantidade de energia eólica disponível em qualquer local depende de dois conjuntos de fatores [5]:

- Fatores climáticos, incluindo: Hora do dia, época, localização geográfica, topografia e clima local;
- Fatores mecânicos, incluindo: diâmetro do rotor e tipo de aerogerador.

Para além disso, legalmente, o local de instalação não poderá ficar perto de instalações militares, como bases da força aérea ou centros de comunicação; a menos de 200 a 300 m de proximidade para com moradias ou habitações dependendo do tamanho do aerogerador; Reservas Naturais ou Parques Nacionais são locais onde existem grandes dificuldades de implementação, ou até mesmo a impossibilidade de o fazer. [5]

O ruído, que pode ser mecânico ou aerodinâmico, é um efeito negativo da passagem do vento nas pás do aerogerador. Os fabricantes têm especial atenção na conceção e arquitetura destas, de forma a reduzir ao máximo o impacto. O ruído mecânico surge sempre como forma de dissipação energética pelo movimento de partes móveis como rolamentos e, neste caso, a rotação do rotor que, conseqüentemente, afeta a caixa de velocidades e o gerador. A *nacelle* que compartimenta todo este equipamento é isolada acusticamente para diminuir este impacto. No entanto, esta é uma questão que pesa muito na decisão e dado que, no caso deste estudo, existem habitações a menos de 500 m, é necessário estudar a sua influência para que esta respeite o Regulamento Geral de Ruído, aprovado pelo Decreto-lei nº9/2007, em que a atividade dos parques eólicos é tida como uma atividade ruidosa permanente. [6] De acordo com este regulamento, estes tipos de atividades estão sujeitos a duas condições:

### 1ª. Condição – Valores Limite de Exposição

Tabela 2-3 – Valores-limite de exposição a ruído ambiente exterior [6]

Classificação Zona	$L_{den}$ dB(A)	$L_n$ dB(A)
Zonas Mistas	≤ 65	≤ 55
Zonas Sensíveis	≤ 55	≤ 45
Zonas não classificadas (ainda)	≤ 63	≤ 53

## 2ª. Condição – Critério de incomodidade

Tabela 2-4 – Valores-limite de incomodidade a ruído ambiente exterior [6]

Período	
Diurno	$L_{Aeq}(r.a.r.p.) - L_{Aeq}(r.r.) \leq 5 \text{ dB}$
Entardecer	$L_{Aeq}(r.a.r.p.) - L_{Aeq}(r.r.) \leq 4 \text{ dB}$
Nocturno	$L_{Aeq}(r.a.r.p.) - L_{Aeq}(r.r.) \leq 3 \text{ dB}$

Sendo  $L_{Aeq}$  o nível sonoro contínuo equivalente,  $L_{den}$  o indicador de ruído diurno-entardecer-noturno e  $L_n$  o indicador de ruído noturno.

A nível ambiental existe uma situação relacionada com a morte de aves migratórias e outras espécies, que possivelmente possam habitar a zona e colidam com o aerogerador. Isso poderá levar à inviabilização do projeto. No entanto, de todas as ameaças às espécies aviárias as turbinas são as que menos matam.

Em certos ângulos, as radiações solares visíveis ao atravessar as pás do aerogerador provocam uma tremulação ou *flicker*. É um efeito que é estudado para perceber se a sombra em movimento não causa problemas de saúde na população próxima, ou no caso deste trabalho, aos operários das fábricas.

Interferências nas comunicações, como na receção de rádio e televisão, ou radares deverão ser mitigadas através de soluções técnicas.

Se qualquer um destes requisitos não for aceite, o projeto poderá estar em risco de não concretização.

### 2.2.5 Planeamento e construção

O planeamento e construção de um empreendimento deste género só acontece após a sua avaliação de potencial, que pode ser contratada a uma entidade externa como o INEGI. Seguidamente enumeram-se algumas dos passos mais importantes [5]:

- Consulta com a autoridade local;
- Consulta pública;
- Aquisição da propriedade;
- Análise dos ventos;
- Estudo do impacto ambiental com aprovação da APA;
- Avaliação económica e financeira;
- Preparação do local e confirmação de que os acessos cumprem os requisitos mínimos;
- Construção, envio e montagem no local do equipamento;

- Comissionamento: realizam-se testes à instalação e todos os componentes são calibrados e verificados segundo as especificações do fabricante.

## 2.3 Energia Fotovoltaica

Quando se junta duas pastilhas de silício puro (introduzindo numa, átomos de Alumínio e noutra de Antimónio) forma-se uma junção pn. Nesta ocorre uma migração de eletrões livres do lado n para o lado p, em que só é alcançado o equilíbrio quando o campo elétrico criado impede a passagem de eletrões livres remanescentes no lado n.

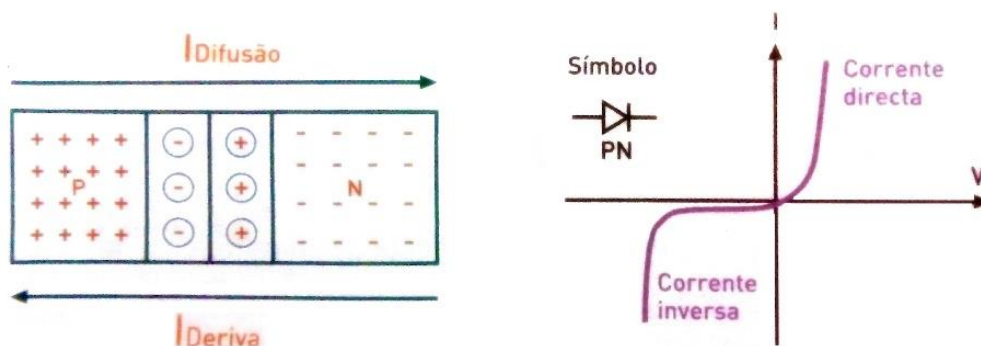


Figura 2-9 – Junção PN (díodo) e curva característica [7]

A corrente elétrica surge aquando da geração de pares eletrões-lacuna, que surgem quando a junção é exposta a fotões em que a energia é superior à de  $gap^2$ . Temos assim o efeito fotovoltaico, ou seja, a produção de eletricidade por radiação solar sobre uma célula fotovoltaica.

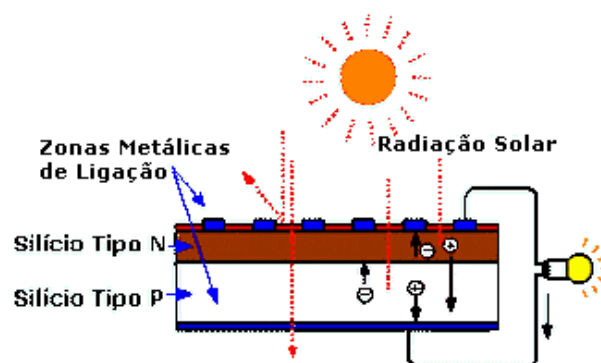


Figura 2-10 - Efeito fotovoltaico numa célula fotovoltaica elementar [7]

<sup>2</sup> Energia de gap – quantidade de energia necessária para que o eletrão efetue a transição para a banda de condução que é a região dentro da banda de valência mais próxima ao nível de Fermi.

### 2.3.1 Tipos de células

As células de Silício Monocristalino têm as melhores eficiências, pois são feitas com silício de alta qualidade, com eficiências tipicamente entre o 15 e os 20% [8]. Isto leva a menos exigências em termos de espaço em comparação com os restantes tipos de painéis (tabela 2-5).

Tabela 2-5 – Áreas necessárias consoante o tipo de células [7]

Tipo de células	Área necessária (m <sup>2</sup> /kWp)
Silício monocristalino	7 – 9 m <sup>2</sup>
Silício Policristalino	8 – 11 m <sup>2</sup>
Disseleneto de Cobre-Índio-CIS	11 – 13 m <sup>2</sup>
Cádmio Telúrio	14 – 18 m <sup>2</sup>
Silício amorfo	16 – 20 m <sup>2</sup>

No entanto, são os mais caros de todos e só compensa realmente investir em países com climas quentes durante todo o ano, como na Austrália. [8]

As células do tipo policristalino têm um processo de produção mais simples e barato, o que as torna mais atrativas. Embora tendam a ter performances ligeiramente inferiores nos picos de calor em relação às anteriores, o custo mais baixo do *Watt pico* dita este tipo de célula como a preferível para Portugal.

### 2.3.2 Efeitos do sombreamento nos módulos fotovoltaicos

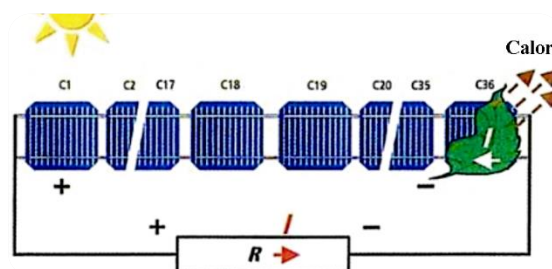


Figura 2-11 – Fileira fotovoltaica com um módulo sombreado [7]

Se o painel estiver parcialmente coberto por sombra, sujidade ou neve, todo o circuito pode deixar de funcionar. O sombreamento de um módulo ou célula provoca no painel um efeito semelhante a uma resistência que, com a passagem de corrente oriunda dos outros módulos origina uma tensão inversa, que provoca uma subida de temperatura que pode levar à destruição do módulo. [7]

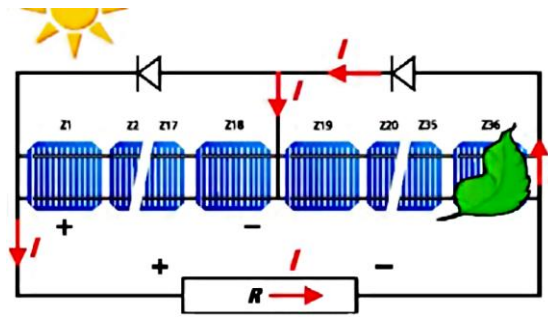


Figura 2-12 – Função do diodo bypass em fileira com módulo sombreado [7]

Para solucionar este problema são usados diodos *bypass*, que desviam a corrente que passará em sentido inverso pelo módulo sombreado, conseguindo manter a fileira em produção.

## 2.4 Autonomia Energética

O autoconsumo é a produção de energia para consumo próprio, que será essencialmente injetada na instalação do consumidor e apenas o excedente poderá ser vendido à Rede Elétrica de Serviço Público. Em termos de enquadramento legal, trata-se de uma Unidade de Produção para Autoconsumo, ou UPAC, e é regulamentado pelo Decreto-Lei nº 153/2014, que estipula algumas restrições ao conceito de independência energética do fornecedor como:

- A potência de ligação terá de ser inferior a 100% da potência contratada na instalação de consumo [9];
- A produção anual deverá ser inferior às necessidades de consumo. [9] Deverá ser realizado um estudo dos consumos, para que o dimensionamento dos painéis garanta uma produção que permita uma baixa de custo para o cliente, mas não totalmente.

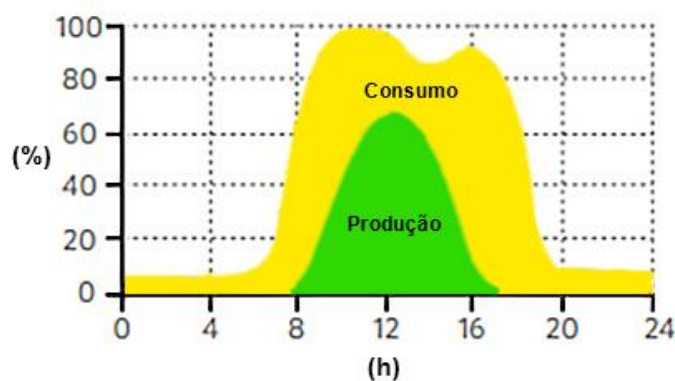


Figura 2-13 – Exemplo de um diagrama de cargas com a produção solar inferior ao consumo total [10]

A nível de remunerações aquando dos excessos de produção, nos casos em que é aplicável, o valor pago pelo kWh deverá ser inferior a metade do valor do kWh anteriormente adquirido. Para o caso desta tese, não haverá venda de energia, pois as necessidades energéticas da empresa são altas e a produção será totalmente consumida. “Em ilha” significa que a UPAC está completamente separada da RESP.

Todos os pontos essenciais dos requisitos exigidos às UPAC estão reunidos na tabela-resumo seguinte.

Tabela 2-6 – Tabela-resumo de análise sumária dos principais requisitos exigidos às UPAC [11]

	<200w	200-1500 W	1,5k W – 1MW	> 1MW	“em ilha”
<b>Registo</b>	-	Mera comunicação prévia	Controlo Prévio / Cert. Exploração	Licença de Exploração	Mera comunicação prévia
<b>Taxas Registo</b>	-	isento	✓	✓ aplicável ao respectivo regime	isento
<b>Equipamento de Contagem</b>	-	-	Sim. Com Telecontagem	Sim. Com Telecontagem	-
<b>Remuneração excedente (“Pool”)</b>	- (apenas se existir registo)	- (apenas se existir registo)	✓	- (Terá de ser definida com contraparte)	-
<b>PPA</b>	- (CUR caso exista registo)	- (CUR caso exista registo)	CUR	Outro	-
<b>Compensação</b>	isento	isento	✓	✓	-
<b>Seguro. Resp. Civil</b>	-	-	✓	✓	-

# 3. Caso de Estudo

## 3.1 Introdução

Após a abordagem das tecnologias renováveis nos capítulos anteriores, foi realizado um estudo do caso prático da fábrica da Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, em Lousado, Famalicão. A Leica é uma empresa mundialmente reconhecida pela qualidade, inovação e diferenciação dos seus produtos, nomeadamente as suas lentes, na qual são removidas todas as impurezas do vidro de forma a proporcionar a tão respeitada e aclamada qualidade que todos os fotógrafos profissionais tanto apreciam. A fábrica, sediada em Portugal, emprega cerca de 750 trabalhadores numa área de 52000 m<sup>2</sup>.



Figura 3-1 – Vista aérea da fábrica da Leica em Lousado, Portugal

Está dividida em três secções: Ótica, Mecânica e Montagem. A secção de Ótica é constituída por duas grandes áreas produtivas: a Ótica Plana, onde se produzem prismas para binóculos e máquinas fotográficas e a Ótica Esférica, onde se produzem as lentes para binóculos, miras e objetivas. A secção da Mecânica está dividida em duas áreas produtivas: Maquinagem e Tratamentos de Superfície. Nestas duas áreas produtivas, as matérias-primas são transformadas em componentes de grande exigência técnica e de elevado acabamento superficial, servindo todos os produtos Leica. O processo de montagem é manual e sequencial, sendo a produção quase artesanal (figura 3-2). Toda a eletrónica da máquina é também produzida na fábrica.

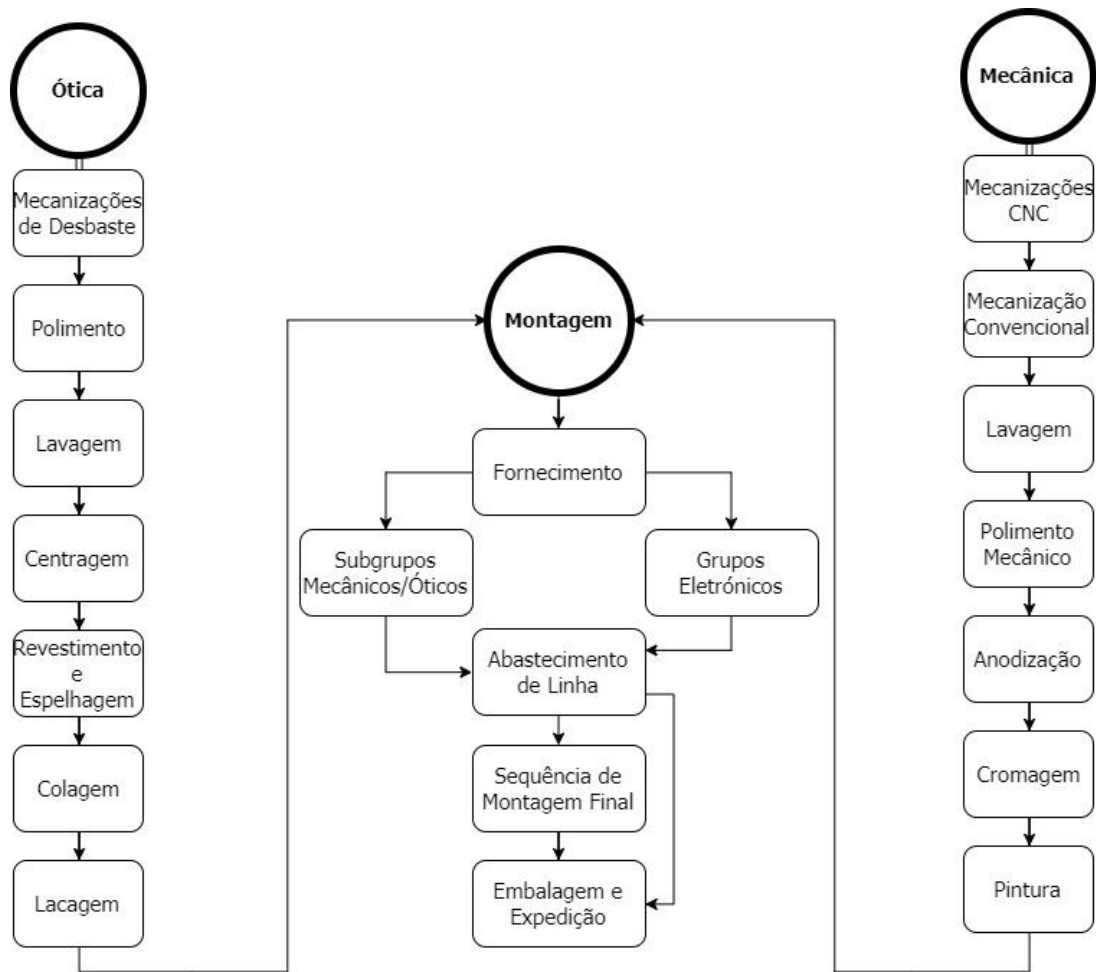


Figura 3-2 - Fluxograma com processo de fabrico

Em termos de estudo de Autonomia Energética, esta fábrica é um exemplo interessante pelo facto de ser energeticamente eficiente e por monitorizar todos os consumos de eletricidade de toda a instalação através de GTC (Gestão Técnica Centralizada).

### 3.2 Consumos Energéticos da Empresa

A instalação fabril é abastecida em Média Tensão e a transformação para baixa tensão (400 V) é realizada num posto de transformação composto por dois transformadores de 2500 kVA cada um. A potência contratada é de 2325 kVA e a potência instalada de 5000 kVA. Realizou-se uma análise dos consumos da empresa, seguindo-se algumas das recomendações do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 71/2008, de forma a obter uma análise global dos consumos de energia nas mais variadas formas, como se demonstra no quadro seguinte. Este sintetiza todas as quantidades consumidas no período de referência (2016).

Tabela 3-1 – Quadro-resumo com as diferentes formas de energia consumidas pela instalação referentes a 2016 (sem taxas e impostos)

Forma de Energia	Quantidade	tep	GJ	tCO <sub>2</sub>	Valor (€)
<b>Energia Elétrica (kWh)</b>	7 458 898	1 603,7 <sup>3</sup>	26 852,03	3132,74 <sup>4</sup>	<b>690 222,70</b>
<b>Gás Natural (t)</b>	285	306,9	12 870	824,7	186 105,64
<b>Gás de petróleo liquefeito – Gás Propano (t)</b>	2	1,8	75	4,8	3 406,78
<b>Gasóleo/Diesel (t)</b>	17	16,7	701	51,8	28 765,10
<b>Total</b>		1 910,6	40 188,83	4346,61	908 500,22

Uma análise dos dados revela que é efetivamente a energia elétrica a forma de energia mais consumida e com a maior fatia nos custos globais da instalação (77,15%).

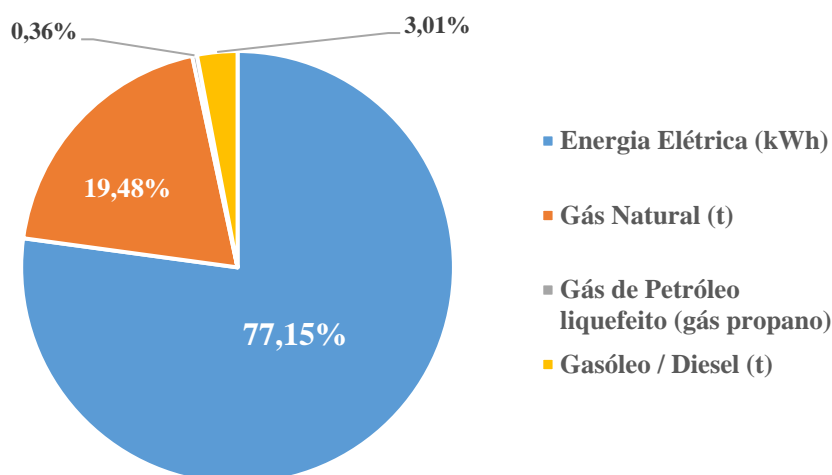


Figura 3-3 – Gráfico comparativo dos custos energéticos entre as diferentes fontes de energia

Pelo diagrama de cargas médio diário da instalação, apresentado na figura seguinte, verifica-se que o aumento da potência absorvida corresponde ao período laboral com mais secções em produção das 06:00 horas às 22:00 horas, sendo que os restantes consumos das

<sup>3</sup> Cálculo realizado com recurso ao “Convertor SGCIE” no produzido pela ADENE [19]

<sup>4</sup> Fator de conversão usado para o cálculo de tCO<sub>2</sub>: 0,00047 tCO<sub>2</sub>/kWh (eletricidade) [18]

22:00 horas às 06:00 horas pertencem ao processo produtivo da secção Ótica, que envolve processos longos como o revestimento, polimento e a galvanica.

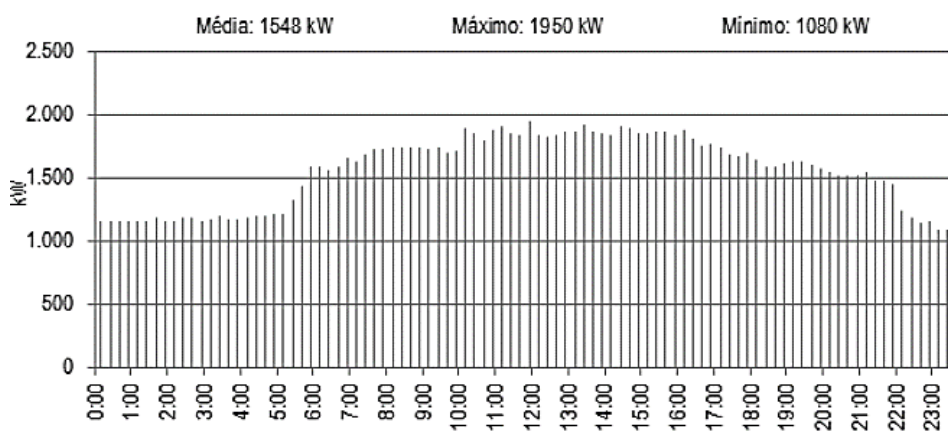


Figura 3-4 - Diagrama de cargas típico de um dia útil da fábrica

### 3.3 Hipótese aproveitamento Micro-hídrico

Uma das hipóteses colocadas pelo responsável pela manutenção da Leica foi o aproveitamento hidroelétrico de uma queda de água que liga a fábrica à ETAR, que se localiza no piso -1 nas traseiras da fábrica, conforme a figura seguinte.

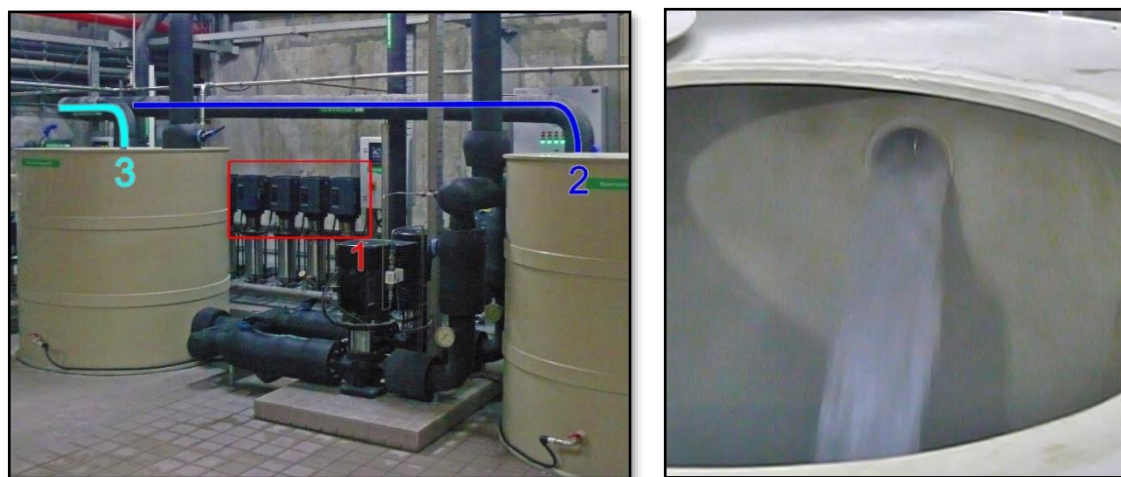


Figura 3-5 – Foto da instalação no piso -1 (à esquerda) e do caudal de água dentro dos reservatórios (à direita)

A água chega aos reservatórios por queda livre de cerca 4,70 metros através de duas condutas independentes em aço inoxidável com 120 mm de diâmetro, vindo por fim a depositar-se em dois reservatórios de 5000 litros de capacidade que albergam água a 50°C (correspondente ao número 3 na figura anterior) e a 20°C (correspondente ao número 2 da

figura anterior). A água é depois bombeada para dentro da fábrica através de cinco bombas de água assinaladas com o número 1 na figura anterior. O consumo destas é de cerca de 127,22 MWh por ano, sendo o objetivo a instalação de um dispositivo que produzisse energia suficiente para compensar este consumo. Como o caudal não pareceu suficiente para a medição, recorreu-se a um pequeno contentor de água de 15,29 litros (ou o mesmo valor em quilogramas, dado que a densidade da água é de  $1000 \text{ kg/m}^3$ ). Procedeu-se à medição do caudal captado na imagem seguinte, cronometrando o tempo que demoraria a encher. Após 10 recolhas, calculou-se um tempo médio ponderado de 2,84 segundos. Realizando o quociente entre o volume do contentor e o tempo médio de enchimento obtém-se um caudal de  $5,38 \text{ l/s}$  ou  $0,00538 \text{ m}^3/\text{s}$ . Realizando a seguinte equação para uma estimativa de produção [12]:

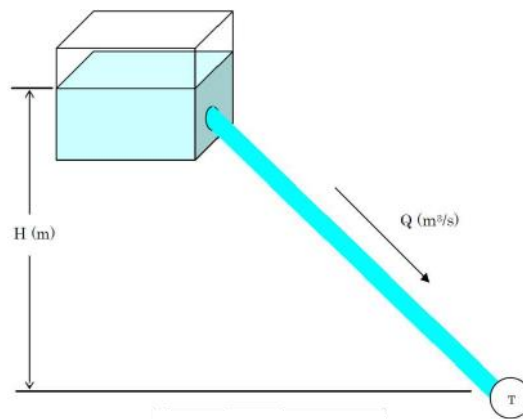


Figura 3-6 – Representação simples da geometria do cálculo [12]

$$P = g \times H \times Q = 9,810 \text{ kN/m}^3 \times 4,70 \text{ m} \times 0,00538 \text{ m}^3 = 248,1 \text{ W} \quad (3-1)$$

Como não existem condições técnicas que permitam o funcionamento rentável de uma turbina, como é evidenciado pela equação anterior e pelo gráfico 2-3, esta hipótese foi abandonada.

### 3.4 Hipótese de aproveitamento Eólico

Foram consideradas duas hipóteses, uma mais arrojada que envolvia a instalação de uma turbina de entre 800 kW a 4 MW e outra que seria a instalação de um pequeno parque com turbinas mais pequenas, destinadas a ambientes citadinos que, dadas as condições do local e a baixíssima produção desta solução, a tornaram inviável. Existem vários pontos a ter em consideração, tais como, o local, a altitude, as obstruções em redor, a velocidade do

vento, as considerações ambientais analisadas pela APA, os meios de acesso de forma a possibilitar o transporte, o ruído proporcionado pela rotação das pás, o efeito de *flicker*, a qualidade da impedância de terras no local e o efeito de ressonância mecânica no caso da instalação ser usada no topo da fábrica, que são extremamente importantes para uma análise deste género.

### 3.4.1 Proposta de localização

A fábrica está instalada na zona industrial de Lousado. Na sua envolvente existem terrenos que não são propriedade da empresa, mas que possuem área suficiente para a instalação pretendida, como representado na imagem seguinte a azul. A casa mais próxima do local está a cerca de 410 m. O quadro de Média Tensão da fábrica está representado a amarelo que fica a cerca de 164 m em linha reta do centro da área azul. A área do quadrado da proposta de instalação tem 100 m por 100 m ou seja 10 000 m<sup>2</sup>.

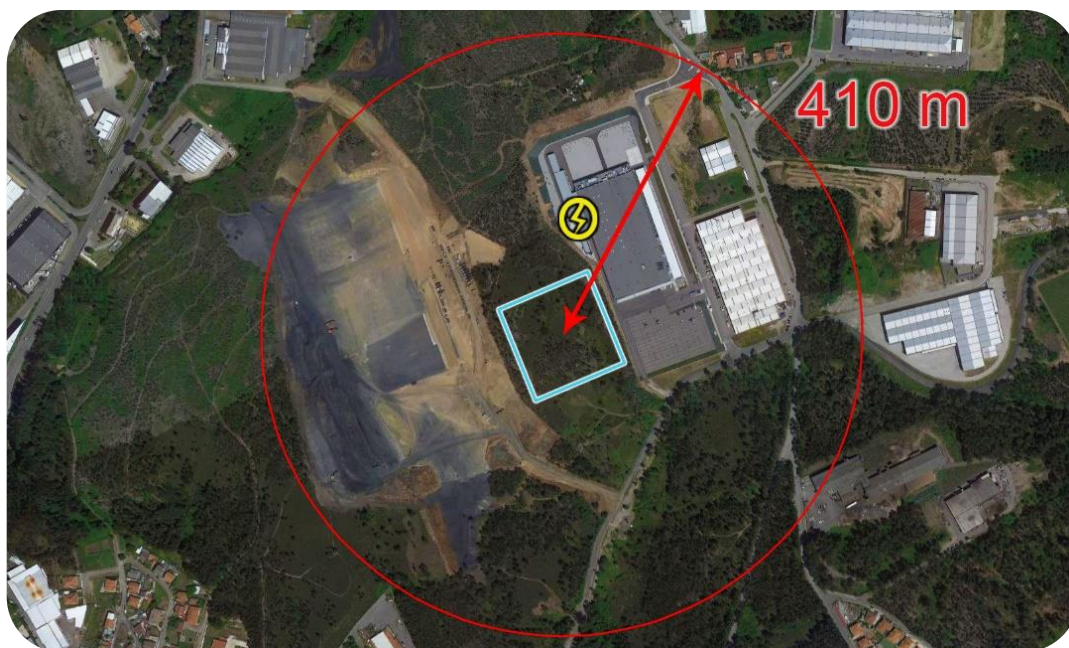


Figura 3-7 – Representação do local proposto para a instalação

O espaço é unicamente ocupado por arvoredo com alturas de cerca de 12 m. O edifício adjacente mais alto ao terreno proposto é de 9,50 m. Após levantamento topográfico, verificou-se que este tem uma cota de mais 5 metros em relação ao pavimento do piso zero da fábrica, como indicado na figura.

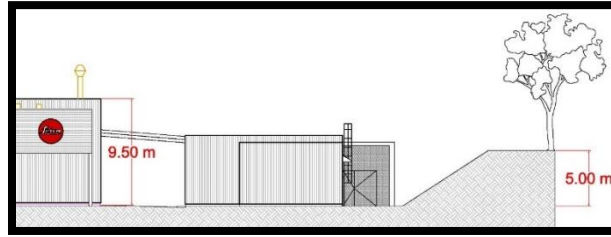


Figura 3-8 – Altura do edifício da Leica (à esquerda) em relação ao terreno adjacente (à direita)

### 3.4.2 Caracterização dos ventos no local

Para ser possível aferir com certeza se o local poderia ser propício à produção eólica, seria necessário colocar uma estação meteorológica no local durante pelo menos 2 anos, embora existam estudos restringidos a 1 ano devido a orçamentos reduzidos. Neste caso, dado o curto prazo de duração do estágio, não foi possível que tal acontecesse. No entanto, embora as condições possam variar de local para local, de forma a obter um indicador do local, mesmo que grosseiro, recorreu-se a mapas de isoventos, como os representados na figura 3-9. Deles se percebe que não existem, *à priori*, indicações de que o local tenha níveis de vento que permitam produções rentáveis. No retângulo vermelho da imagem em questão, à altura de instalação de uma turbina (60 m), os ventos são de 4 m/s.

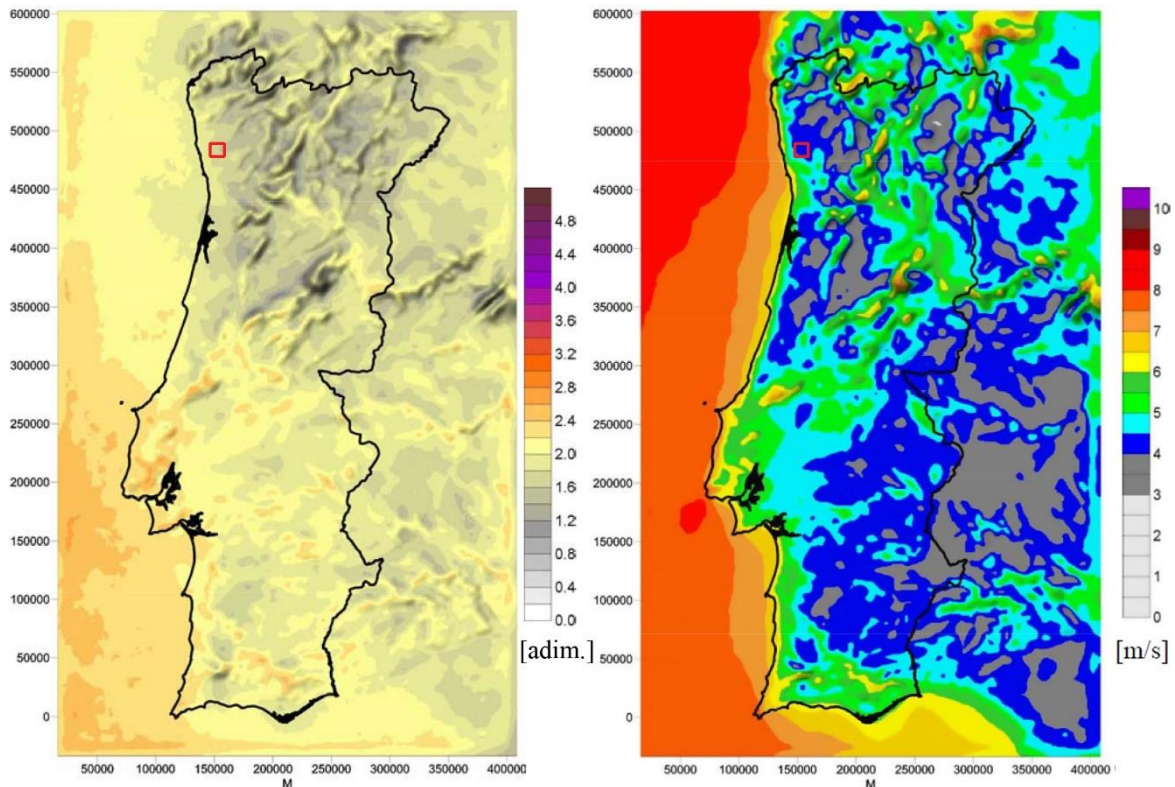


Figura 3-9 – Mapa médio do parâmetro de escala da distribuição de Weibull (à esquerda) e mapa médio simulado da intensidade do vento (m/s), ambos para 60 m de altura [13]

Do primeiro mapa da figura anterior obtém-se o parâmetro **k** (adimensional) de **1,6** e do segundo o parâmetro **c** de **4 m/s**.

### 3.4.3 Previsão probabilística dos ventos

De forma a prever a disponibilidade de vento no local quando na ausência de dados mais específicos recolhidos do local, recorreu-se à distribuição de Weibull [14]. Estes destinam-se a determinar a probabilidade de incidência dos ventos no local, para no subcapítulo seguinte determinar a Produção Anual de Energia (AEP) e, posteriormente, realizar o cálculo mais rigoroso.

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right] \quad (3-2)$$

Onde:

- $u$  é a velocidade do vento, expressa em m/s;
- $k$  é um parâmetro de escala obtido no mapa médio do parâmetro de escala da distribuição de Weibull, adimensional, que para este caso será de 1,6;
- $c$  é a velocidade do vento no local obtido no mapa médio simulado da intensidade do vento, expresso em m/s.

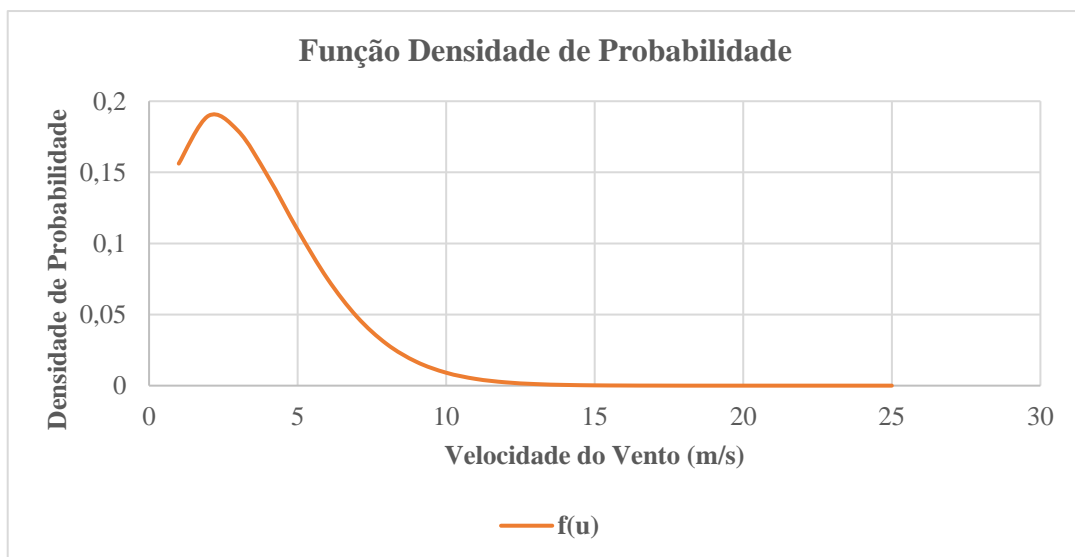


Figura 3-10 – Gráfico ilustrativo das funções de densidade de probabilidade de Weibull

No cálculo do AEP, usou-se a forma acumulada (equação 3-3) [14]. O gráfico anterior só aparece neste trabalho de forma a dar a entender a preponderância dos ventos abaixo dos 5 m/s.

$$F(u) = \exp \left[ - \left( \frac{u}{c} \right)^k \right] \quad (3-3)$$

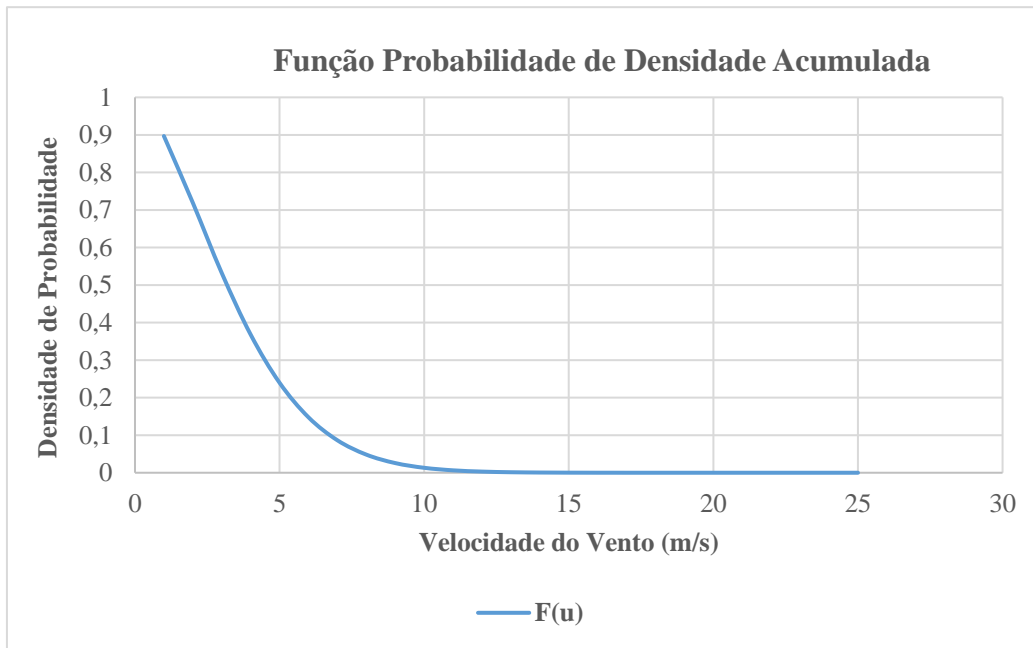


Figura 3-11 - Gráfico ilustrativo da função de densidade de probabilidade acumulada de *Weibull*

### 3.4.4 Característica tipo do equipamento a instalar

As características tipo que se adotaram, unicamente para fins de estudo, baseiam-se numa máquina de marca *Enercon*, modelo E-48, com potência nominal de 800 kW, 2198 m<sup>2</sup> de área de varrimento, 3 pás, velocidade de *cut-in* 2 m/s, velocidade média de 7,5 m/s, velocidade máxima de 28 a 34 m/s e uma altura de 60 m [15]. Na figura seguinte apresenta-se a curva de potência calculada e uma tabela resumo com algumas das características mais pertinentes.

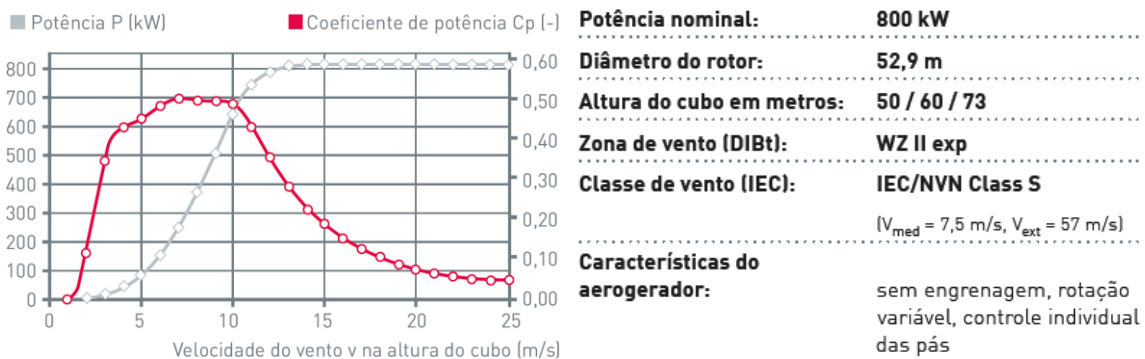


Figura 3-12 – Curva de Potência calculada e dados técnicos da máquina *Enercon* E-48, respetivamente [15]

### 3.4.5 Energia Anual Produzida (AEP)

Dos métodos existentes para realização do cálculo, escolheu-se aquele que, embora mais elaborado, é o que confere maior grau de fiabilidade e é proposto pela norma IEC 61400-12 representado pela equação 3-4 [14]:

$$Ea = 8760 \sum_{i=u_1}^{u_{max}} \left[ (F(i-1) - F(i)) \frac{P_e(i) + P_e(i-1)}{2} \right] \quad (3-4)$$

Em que:

- $Ea$  ou AEP é energia anual produzida em kWh;
- $u_0$  é a velocidade mínima do vento para operação da turbina;
- $u_{max}$  é a velocidade máxima do vento para operação da turbina;
- $f(u)$  é a função densidade de probabilidade da velocidade do vento;
- $P_e(u)$  é a curva de potência calculada fornecida pela Enercon e assinalada a cinzento na figura anterior.

O resultado do cálculo mostra que a produção anual esperada será de 625 MWh. Cerca de 8,48% da energia total consumida pela fábrica.

### 3.4.6 Possíveis restrições legais

O caso de estudo desta tese, que coloca a hipótese de um aerogerador de 800 kW com 60 m de altura, é algo que não é habitual ser aplicado em zonas industriais. Esse facto faz com que tenham de ter sido tidos em conta algumas questões legais como o ruído, o sombreamento, acessos com espaço suficiente para as manobras e o efeito *flicker*. Como exemplo de aplicação em Portugal, existe na Praia Norte em Viana do Castelo (imagem seguinte) uma turbina de capacidade superior à deste estudo, com 2 MW da *Enercon* (E82/2000). A moradia mais próxima da máquina situa-se a 463 m, mais 53 m do o local em estudo. Está em plenas condições de funcionamento e com uma previsão de produção de 5,73 MWh. [16]

Em termos de sombreamento e *flicker* terão de ser realizados estudos *in loco* para determinar possíveis perturbações aos trabalhadores do local. Acessos para o transporte dos aerogeradores estariam *a priori* facilitados dado tratar-se de uma zona industrial.

Em suma, existiriam hipóteses, se o projeto fosse economicamente viável, para ponderar um estudo deste género.



Figura 3-13 – Aerogerador da *Enercon* na Praia Norte em Viana do Castelo

### 3.5 Hipótese de aproveitamento Fotovoltaico

#### 3.5.1 Localização

A zona mais lógica e propícia para a colocação dos painéis seria no topo da fábrica com uma área disponível de 12529 m<sup>2</sup>. No entanto, também foi colocada a hipótese da instalação como cobertura do parque de estacionamento. Porém, seria um investimento mais avultado dada o tipo de estrutura que seria necessário e a área menor. Em termos de preço ficaria 20 a 38% mais dispendioso, com base na comparação dos valores obtidos de várias empresas consultadas para este estudo.



Figura 3-14 – Área para instalação dos painéis fotovoltaicos

A área também tem a particularidade de possuir uma inclinação de 5° como demonstrado na figura seguinte.

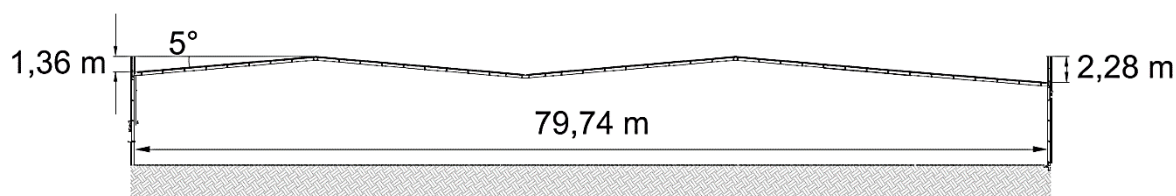


Figura 3-15 – Alçado visto do lado sul do edifício

### 3.5.2 Características especiais do local de instalação

O local descrito em 6.5.1 possui um piso próprio para a recolha de águas pluviais em tela asfáltica. Esse tipo de material necessita de cuidados especiais e não deve ser perfurado, para que não haja infiltrações. Como tal, por imposição da Leica, só foram consideradas opções em que a estrutura se apoiasse na tela como as seguintes:

- estrutura em triângulo com as sapatas de apoio coladas à tela;
- estrutura complanar com fixação apenas com o próprio peso de 17 kgf/m<sup>2</sup> em cada sapata.

Embora estas duas opções não envolvam perfuração, a primeira estrutura requeria que estas fossem coladas à tela e era um requisito que não foi aprovado pelo chefe de manutenção e, para além disso ficaria mais caro 22% do que a segunda opção.

É importante que a infraestrutura suporte o peso adicional de 17 kgf/m<sup>2</sup> e como tal analisou-se a estrutura e a sobrecarga máxima a considerar nas coberturas é de 30 kgf/m<sup>2</sup> [17], pelo que, é possível fazer a instalação.

### 3.5.3 Estudo técnico-económico

Para a área em questão tomou-se como ponto de partida os estudos pedidos pela Leica para a instalação de uma central de 1 MW. Optou-se pela escolha de módulos fotovoltaicos classificados com o *Bloomberg Tier 1* do tipo Silício Policristalino, com as seguintes características assinaladas na tabela 3-2.

Para se perceber qual a quantidade de painéis que seria possível instalar na cobertura, procedeu-se ao desenho de implantação de duas configurações dos painéis, com especial atenção ao distanciamento necessário entre painéis devido ao sombreamento causado entre filas.

Tabela 3-2 – Características do painel fotovoltaico Jinko Eagle 60 modelo JKM265PP-60

	STC (1000 W/m <sup>2</sup> )	NOCT (800 W/m <sup>2</sup> )
<b>P<sub>max</sub></b>	265 W <sub>p</sub>	198 W <sub>p</sub>
<b>U<sub>Pmáx</sub></b>	31,4 V	28,7 V
<b>I<sub>pmáx</sub></b>	8,44 A	6,91 A
<b>UOC</b>	38,6 V	35,3V
<b>ICC</b>	9,03 A	7,31 A

	Características mecânicas
<b>Tipo de célula</b>	Policristalino 156 x 156 mm
<b>Nº de células</b>	60 (6 x 10)
<b>Dimensões</b>	1650 x 992 x 40 mm
<b>Peso</b>	19,0 kg
<b>Vidro frontal</b>	3,2 mm, Alta transmissão, Pouco ferro, Vidro temperado
<b>Estrutura</b>	Liga de alumínio anodizado
<b>Caixa de Passagem</b>	IP67
<b>Cabos de Saída</b>	TÜV 1 x 4,0 mm <sup>2</sup> , comprimento: 900 mm or tamanho personalizado

Como tal, realizou-se o cálculo à análise geométrica da figura 3-16:

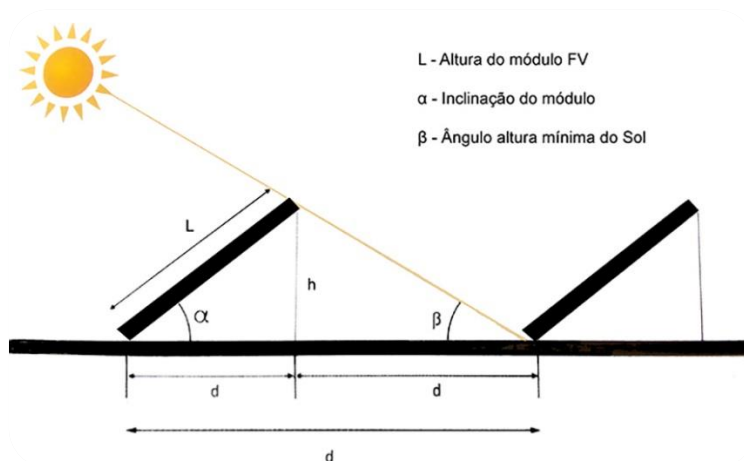


Figura 3-16 – Análise representativa da distância entre fileiras [7]

Para obter a altura mínima do Sol é necessário recorrer ao gráfico da figura 3-17 e, para este caso, foi considerado para fins de cálculo o pior caso que será o Solstício de Inverno. Como tal, traçou-se uma linha entre as 8 e as 16 horas do dia 21 de Dezembro, que será o pior caso.

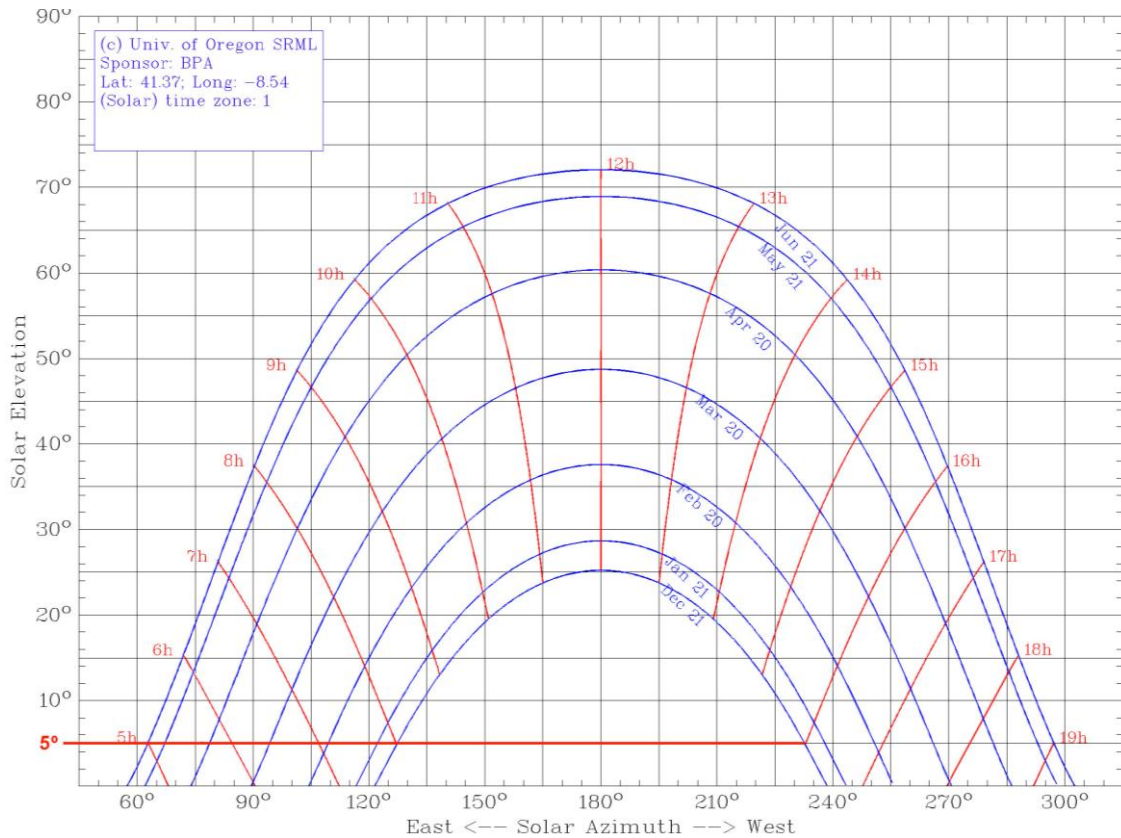


Figura 3-17 – Ângulo altura mínima do Sol entre as 8h e as 16h do Solstício de Inverno (pior dos casos)

Seguidamente considerou-se um ângulo de inclinação dos painéis de 5° e para  $\beta$  um ângulo de 5°, conforme indicado a vermelho na figura 3-17. O cálculo do afastamento foi feito através da equação (3-5) [7].

$$d = L \times \left( \cos(\alpha) + \frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{tg}(\beta)} \right) = 0,992 \times \left( \cos(5^\circ) + \frac{\text{sen}(5^\circ)}{\text{tg}(5^\circ)} \right) \cong 1,98 \text{ m} \quad (3-5)$$

Por questões técnicas não se optou pelo afastamento máximo em detrimento do melhor rendimento, dado que o objetivo é obter melhor eficiência nos meses de Verão.

Desenhou-se, em planta, os painéis na área estipulada com o objetivo de prever com mais precisão o número de módulos a instalar, visto que existem obstruções físicas e possíveis sombreamentos no local. Foram estudadas duas disposições: horizontal e vertical. A configuração que permitia instalar mais painéis, seria com os painéis dispostos na horizontal conforme demonstrado nas figuras 3-18 e 3-19.

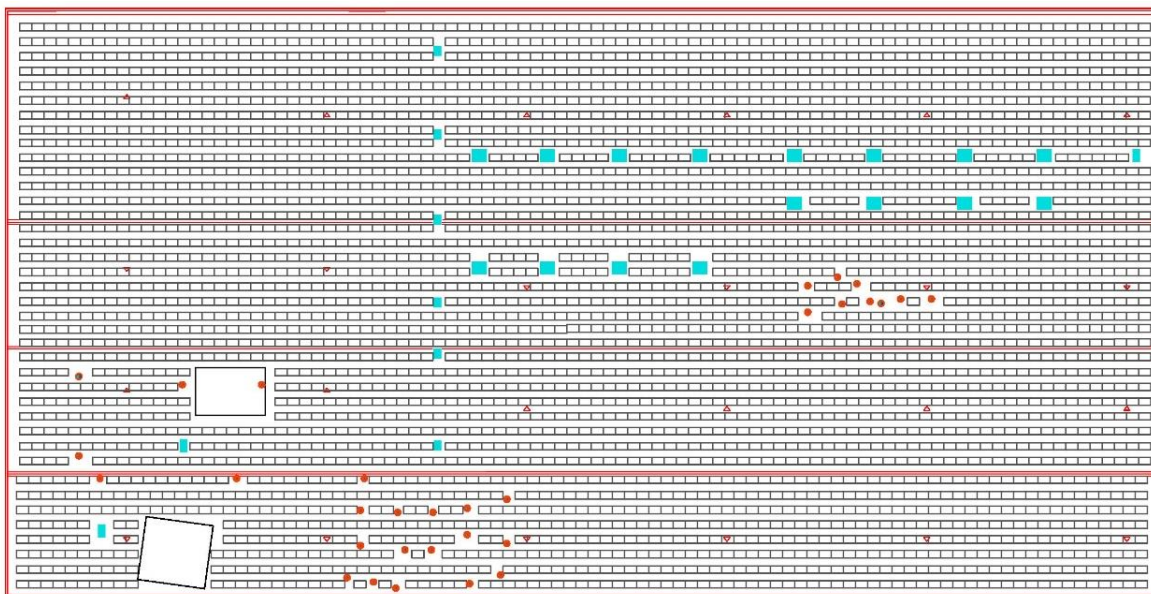


Figura 3-18 – Disposição de 3477 painéis na horizontal com 1 metro entre fileiras

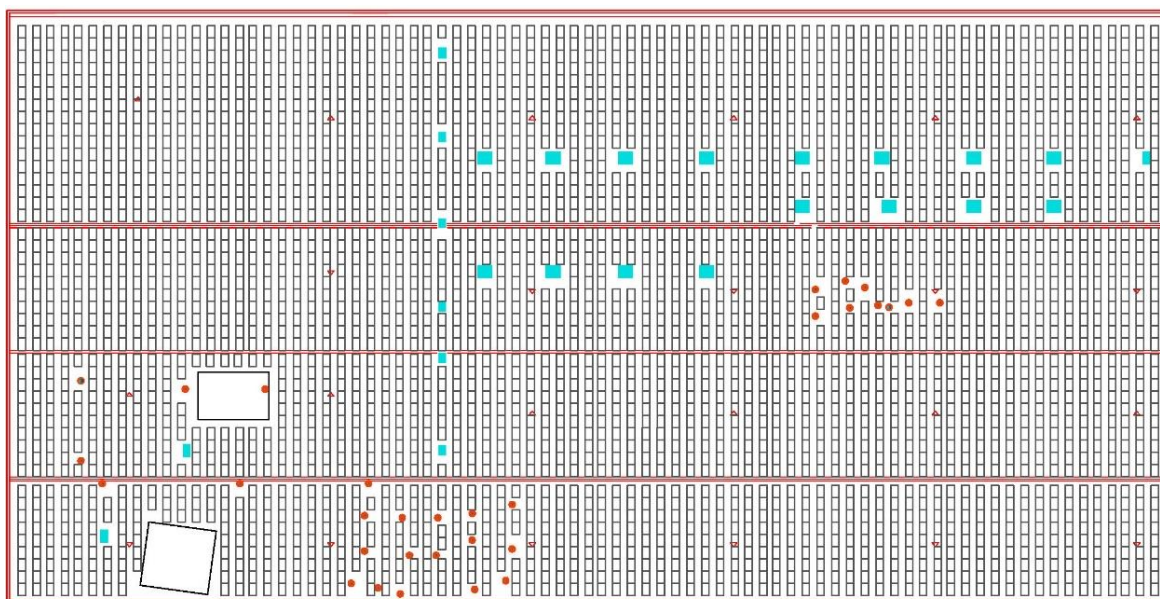


Figura 3-19 - Disposição de 3392 painéis na vertical com 1 metro entre fileiras

Através software *Solaris PV* simulou-se os sombreamentos acumulados ao fim de 1 ano entre as 8.00 horas e as 16.00 horas. Esta simulação teve grande utilidade neste estudo, pois, posteriormente, mais para o final permitiu efetuar o cálculo dos ganhos térmicos de forma a determinar se existirá alguma contribuição para a poupança a adicionar à dos painéis. Para além disso, permite um estudo mais real com plena imersão nas condições do local.

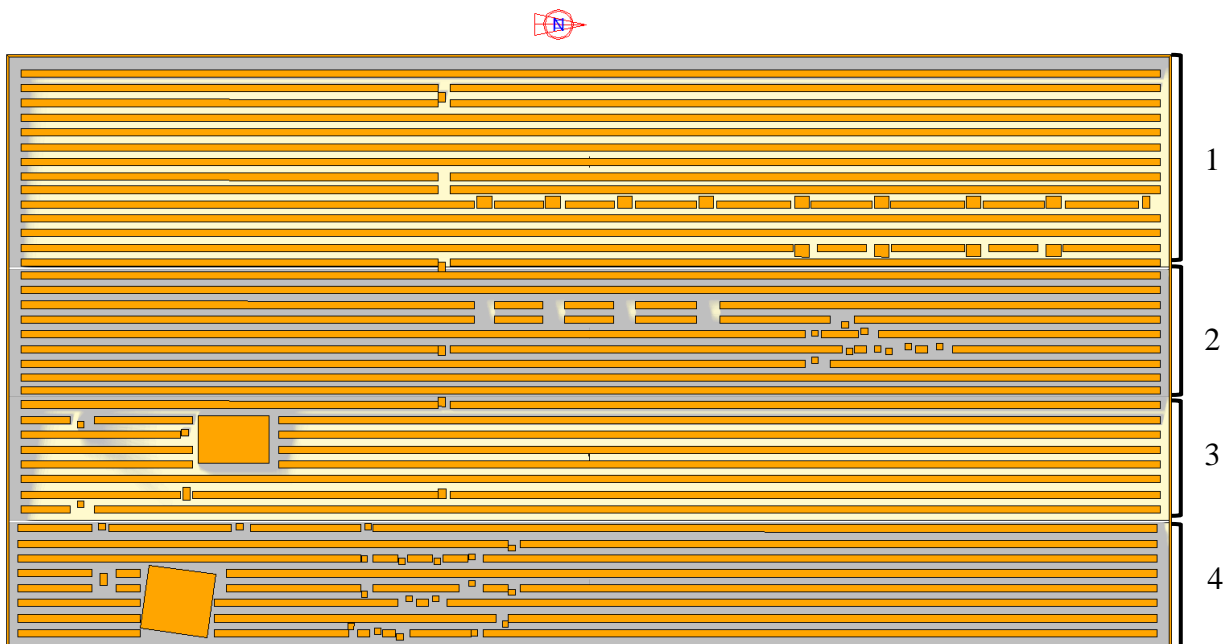


Figura 3-20 – Sombreamento a cinzento, contrastado sobre o amarelo da superfície

De salientar que a imagem 3-20 apenas representa o acumulado de sombras ao longo de 1 ano, daí que seja necessário perceber mais a pormenor se as zonas assinaladas a 2 e 4 possui sombreamento entre fileiras.

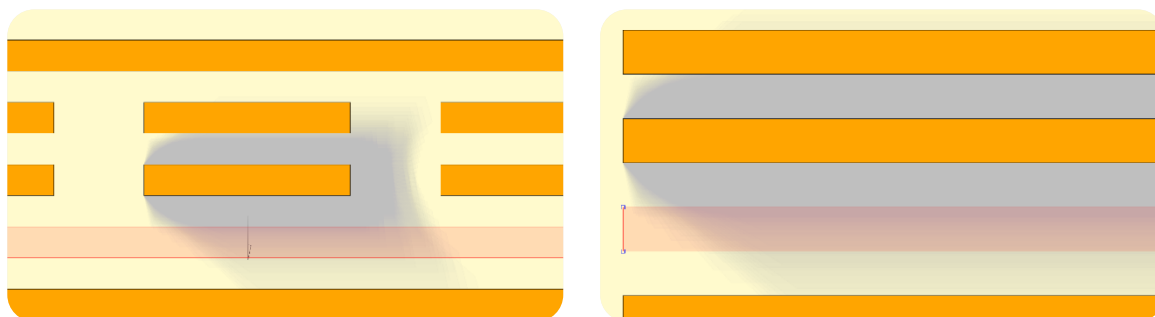


Figura 3-21 – Pormenor em planta do sombreamento provocado pelos painéis na zona 2

Como se observa na imagem 3-21, para a zona 2, existe efetivamente sombreamento entre fileiras. No entanto, note-se que perde intensidade a partir do momento que cruza o painel. O tom mais claro de cinza revela um valor acumulado mais baixo. Seguidamente, observa-se a zona quatro mais a pormenor. Na zona quatro também é explícita a mesma situação que na zona 2. Assim, confirma-se como decisão acertada de manter a distância de 1 metro ao invés do valor obtido pelo cálculo da equação 3-5.

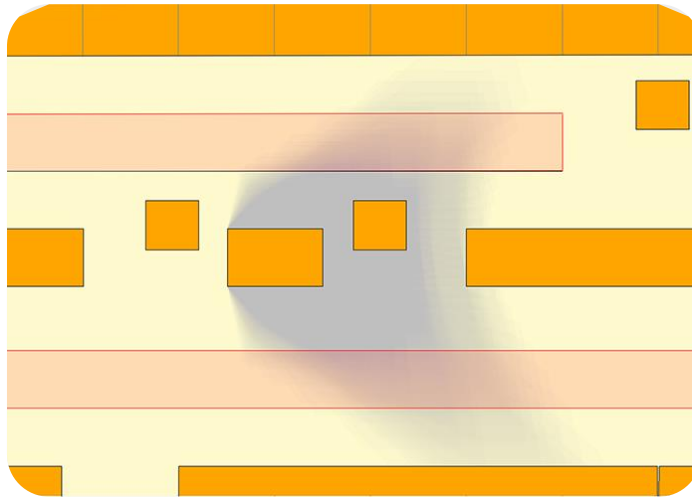


Figura 3-22 – Pormenor em planta do sombreamento provocado pelos painéis na zona 4

Após obter o número de painéis, multiplica-se pela potência dos módulos 265 Wp e sabe-se a potência instalada será de 921,41 kW. Seguidamente, recorrendo à aplicação online creditada pela Comissão Europeia, o PVGIS ou *Photovoltaic Geographical Information System*, inseriram-se as coordenadas do local e este valor último valor na potência fotovoltaica de pico, o valor de perdas estimadas foi 14%, optou-se pela integração em edifício, introduziu-se uma inclinação de 5° e por fim obteve-se os dados de:

- Média mensal de produção de eletricidade do sistema;
- Irradiância global num plano fixo (G);
- Irradiância difusa num plano fixo (Gd);
- Irradiância global a céu-aberto num plano fixo (Gc);
- Irradiância direta normal (DNI);
- Irradiância direta normal a céu-aberto (DNIc).

Com estes dados obtidos mais os dados de consumo de 15 minutos em 15 minutos do distribuidor de energia elétrica, criou-se uma folha de Excel (Anexo I) de forma a estimar a produção da instalação por mês, com o intuito de perceber o que se esperaria deste investimento (tabela 3-3). Considerou-se um aumento da energia de 3% ao ano no pior dos casos, visto o défice tarifário que existe até à data da elaboração deste relatório. A atualização do capital ficou-se por 1%.

Tabela 3-3 – Consumo versus Produção prevista do parque Fotovoltaico

Mês	Consumo Leica (kWh)	Produção Fotovoltaica Autoconsumida (kWh)
Janeiro	621 365	45 300
Fevereiro	557 145	62 700
Março	602 065	96 700
Abril	571 663	107 000
Maio	635 820	130 000
Junho	681 540	137 000
Julho	792 810	144 000
Agosto	425 663	132 000
Setembro	748 855	106 000
Outubro	695 733	75 800
Novembro	615 758	49 700
Dezembro	510 483	40 300
<b>Total</b>	<b>7 458 898</b>	<b>1 126 500</b>

A energia produzida para autoconsumo corresponde a aproximadamente 15% da energia total consumida. Para além disso, dado o facto de se tratar de um tarifário industrial, está dividida em 4 ciclos horários com a tarifa mais alta associada aos ciclos de cheias e ponta, 0,0937 € e 0,1046 € respetivamente.

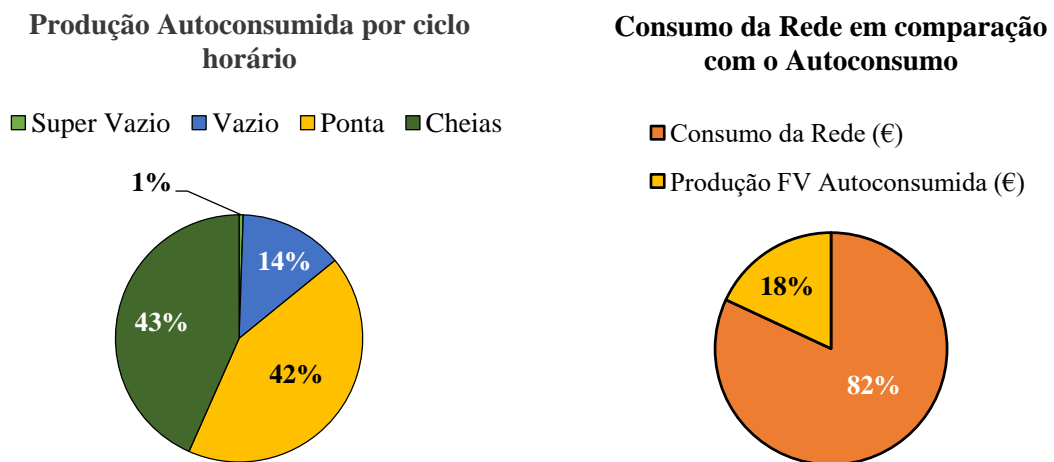


Figura 3-23 – Gráficos representativos de produção e consumo

Sendo o horário de funcionamento descrito no capítulo 6.2 coincidente com a altura em que os painéis estariam a produzir, cerca de 85% da produção total é consumida neste período, traduzindo-se em cerca de 18% de poupança nos custos com a eletricidade. Na tabela 3-4 tem-se a comparação entre o custo antes e depois da instalação do parque fotovoltaico e a poupança da Potência em Horas de Ponta (PHP).

Tabela 3-4 – Despesa com a eletricidade em 2016 e a Poupança esperada

Mês	Custo s/ Fotovoltaico	Poupança PHP	Produção Fotovoltaica Autoconsumo	Poupança Total	Custo c/Fotovoltaico
Janeiro	59 809,10 €	763,40 €	4 084,50 €	4 847,90 €	54 961,80 €
Fevereiro	53 289,60 €	984,00 €	5 593,80 €	6 577,80 €	46 741,90 €
Março	55 395,20 €	1 812,00 €	8 492,30 €	10 304,30 €	45 246,80 €
Abril	54 128,50 €	2 561,20 €	10 073,90 €	12 635,20 €	41 689,50 €
Mai	56 891,80 €	2 874,40 €	12 051,10 €	14 925,50 €	42 345,30 €
Junho	64 551,30 €	2 985,50 €	12 817,20 €	15 802,70 €	49 024,70 €
Julho	74 240,40 €	3 393,10 €	12 648,40 €	16 041,60 €	58 306,10 €
Agosto	36 200,20 €	2 355,50 €	11 199,30 €	13 554,80 €	24 095,80 €
Setembro	70 724,00 €	2 913,80 €	10 388,20 €	13 302,00 €	57 473,70 €
Outubro	62 884,90 €	2 322,80 €	7 521,90 €	9 844,70 €	53 060,40 €
Novembro	56 226,50 €	824,40 €	4 463,60 €	5 288,00 €	50 941,00 €
Dezembro	45 880,20 €	678,60 €	3 616,00 €	4 294,60 €	41 585,70 €
<b>Total</b>	<b>690 221,70 €</b>	<b>24 468,76 €</b>	<b>102 950,20 €</b>	<b>127 419,10 €</b>	<b>565 472,82 €</b>

Em termos de rentabilidade do projeto, espera-se uma amortização do investimento, nestas condições, em cerca de 5,18 anos com um investimento inicial de 681 839,70 €, uma TIR a 20 anos de 20,93% e um VAL de 2 377 419,41 €.

Tabela 3-5 – Tabela-resumo da rentabilidade do projeto

<b>Amortização</b>	<b>5,18 anos</b>
<b>TIR a 20 Anos</b>	20,93%
<b>VAL a 20 Anos</b>	2 377 419,41 €
<b>Rentabilidade Global Anual</b>	127 419,10 €
<b>Poupança Total a 20 Anos</b>	3 423 798,88 €

A poupança prevista até ao fim da vida útil dos painéis é de 3 423 798,88 € com uma Rentabilidade Global Anual de 127 419,10 €.

Tabela 3-6 – Dados Económicos do parque fotovoltaico

Ano	Produção (kWh)	Investimento	Cash-flow	Cash-flow Atualizado	Cash-flow Acumulado
0	-	-681 839,70	-681 839,70	-681 839,70	-681 839,70
1	1 126 500,00	-	127 419,10	126 157,52	-555 682,18
2	1 115 235,00	-	131 241,67	128 655,69	-427 026,49
3	1 104 082,65	-	135 178,92	131 203,33	-295 823,16
4	1 093 041,82	-	139 234,29	133 801,41	-162 021,74
5	1 082 111,41	-	143 411,32	136 450,95	-25 570,80
6	1 071 290,29	-	147 713,66	139 152,95	113 582,15
7	1 060 577,39	-	152 145,07	141 908,45	255 490,60
8	1 049 971,61	-	156 709,42	144 718,52	400 209,12
9	1 039 471,90	-	161 410,70	147 584,23	547 793,35
10	1 029 077,18	-	166 253,02	150 506,69	698 300,04
11	1 018 786,41	-	171 240,61	153 487,02	851 787,07
12	1 008 598,54	-	176 377,83	156 526,37	1 008 313,44
13	998 512,56	-	181 669,17	159 625,90	1 167 939,34
14	988 527,43	-	187 119,24	162 786,81	1 330 726,15
15	978 642,16	-	192 732,82	166 010,31	1 496 736,46
16	968 855,74	-	198 514,80	169 297,64	1 666 034,10
17	959 167,18	-	204 470,25	172 650,07	1 838 684,18
18	949 575,51	-	210 604,35	176 068,89	2 014 753,06
19	940 079,75	-	216 922,48	179 555,40	2 194 308,46
20	930 678,95	-	223 430,16	183 110,95	2 377 419,41

Como demonstrado na tabela 3-6 e pelo gráfico 3-24, nos *cash-flows* acumulados, do quinto para o sexto ano é que o fluxo de caixa torna-se positivo.

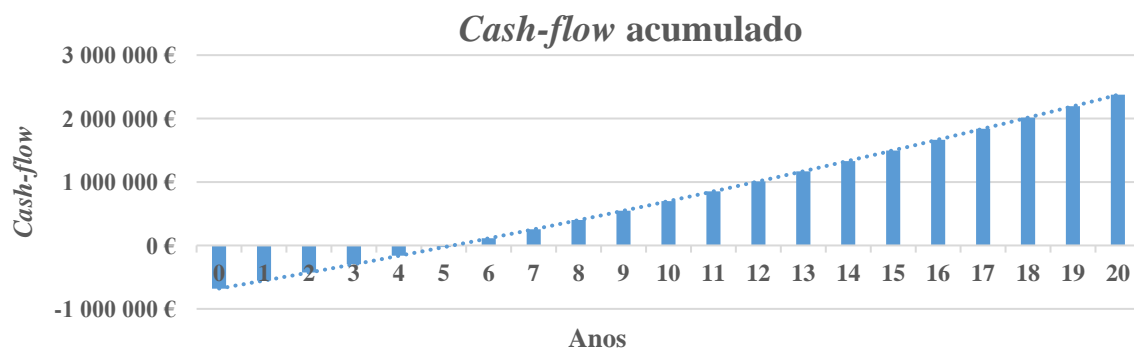


Figura 3-24 - Gráfico *Cash-flow* do ano 0 ao 20

### 3.5.4 Estudo do efeito do sombreamento dos painéis fotovoltaicos na cobertura da fábrica

Um fator importante a ter em conta e de grande influência é o sombreamento provocado pelos painéis fotovoltaicos. Para o estudo do impacto que os painéis solares exercem nas necessidades de arrefecimento e aquecimento do edifício, recorreu-se ao programa de cálculo de cargas térmica certificado, o *Carrier HAP 4.80* cujo relatório final do estudo encontra-se no Anexo II.

Atualmente, a cobertura está exposta diretamente à intempérie, nomeadamente à radiação solar direta e difusa, vento e chuva. As características da envolvente do edifício e condições de projeto são as seguintes:

- Paredes exteriores:
  - Tipo: painel *sandwich*;
  - Marca: *Metecno*;
  - Modelo: *Hipertec Wall*;
  - Coeficiente de transmissão térmica:  $U = 0,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .
- Cobertura:
  - Tipo: painel *sandwich*;
  - Marca: *Metecno*;
  - Modelo: *Glamet A40 P1000*;
  - Coeficiente de transmissão térmica:  $U = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .
- Condições de projeto:
  - Temperatura exterior de bolbo seco no Verão:  $32,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - Temperatura exterior de bolbo húmido no Verão:  $21,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - Temperatura exterior de bolbo seco no Inverno:  $-0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - Humidade relativa exterior: 85 %;
  - Temperatura interior de bolbo seco no Verão:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - Humidade relativa interior no Verão: 50 %, não controlada;
  - Temperatura exterior de bolbo seco no Inverno:  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - Humidade relativa interior no Inverno: 50 %, não controlada.

Com os dados acima mencionados e outros, fez-se um cálculo de cargas térmicas para o edifício com a cobertura atual, isto é, sem painéis solares. Posteriormente, fez-me o mesmo cálculo, mas acrescentando os painéis solares na cobertura, com o intuito de perceber qual o impacto nas cargas térmicas. Neste cálculo não foram considerados os ganhos térmicos pelas

pessoas e equipamentos, uma vez que o objetivo não seria o de encontrar um valor, mas sim encontrar um rácio para o Verão e outro para o Inverno.

Na solução com a cobertura atual, isto é, sem painéis, obteve-se uma necessidade de arrefecimento de 118882 W total e aquecimento de 93062 W. Na solução com painéis, verificou-se uma necessidade de arrefecimento de 83793 W total e aquecimento de 82377 W. Portanto, feitos os rácios, verifica-se que, as necessidades de arrefecimento reduzem cerca de 30 % e as de aquecimento cerca de 10 %.

As cargas de arrefecimento reduzem principalmente pelo sombreamento que os painéis provocam, eliminando grande parte da radiação solar direta e difusa. As cargas de aquecimento reduzem essencialmente pela caixa de ar que se forma (se bem que nos dias ventosos o resultado não será tão linear) entre a face exterior da cobertura e os painéis solares, reduzindo as perdas térmicas, isto é, funcionando como um isolante térmico.

Aplicando agora esta redução ao modelo em Excel (Anexo III), como unicamente temos um rácio e não um valor da poupança de 15 minutos em 15 minutos como nos restantes cálculos, fez-se o produto da média ponderada do preço da eletricidade nos meses de Inverno (Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março) e Verão (Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto, Setembro e Outubro) pela poupança de 10% e 30% respetivamente. O resultado foi de 5589,36 € para o Inverno e de 26 612,02 € para o Verão, num total de 31 801,38 € de poupança com os ganhos térmicos no local.

Em termos de rentabilidade do projeto, registou-se uma alteração determinante para os objetivos deste estudo que seria obter uma amortização do investimento abaixo dos 5 anos. O retorno de investimento passou para 4,23 anos, a TIR a 20 anos para 25,39% e a VAL para 2 951 292,92 €. Ao fim dos 20 anos de vida útil da instalação terão sido poupados cerca de 4 059 826,50 €.

Tabela 3-7 – Tabela-resumo da rentabilidade do projeto

<b>Amortização</b>	<b>4,23 Anos</b>
<b>TIR a 20 Anos</b>	<b>25,39%</b>
<b>VAL a 20 Anos</b>	<b>2 951 292,92 €</b>
<b>Rentabilidade Global Anual</b>	<b>159 220,48 €</b>
<b>Poupança Total a 20 Anos</b>	<b>4 059 826,50 €</b>

Tabela 3-8 - Dados económicos do parque fotovoltaico com os ganhos proporcionados pelos ganhos térmicos

Ano	Produção (kWh)	Investimento	Cash-flow	Cash-flow Atualizado	Cash-flow Acumulado
0	-	-681 839,70	-681 839,70	-681 839,70	-681 839,70
1	1 126 500,00	-	159 220,48	157 644,04	-524 195,66
2	1 115 235,00	-	163 043,05	159 830,46	-364 365,20
3	1 104 082,65	-	166 980,30	162 069,44	-202 295,77
4	1 093 041,82	-	171 035,67	164 361,92	-37 933,85
5	1 082 111,41	-	175 212,70	166 708,87	128 775,02
6	1 071 290,29	-	179 515,04	169 111,29	297 886,31
7	1 060 577,39	-	183 946,45	171 570,17	469 456,48
8	1 049 971,61	-	188 510,80	174 086,56	643 543,04
9	1 039 471,90	-	193 212,08	176 661,50	820 204,54
10	1 029 077,18	-	198 054,40	179 296,07	999 500,61
11	1 018 786,41	-	203 041,99	181 991,35	1 181 491,96
12	1 008 598,54	-	208 179,21	184 748,48	1 366 240,45
13	998 512,56	-	213 470,55	187 568,59	1 553 809,03
14	988 527,43	-	218 920,62	190 452,83	1 744 261,87
15	978 642,16	-	224 534,20	193 402,41	1 937 664,28
16	968 855,74	-	230 316,18	196 418,54	2 134 082,82
17	959 167,18	-	236 271,63	199 502,44	2 333 585,26
18	949 575,51	-	242 405,74	202 655,39	2 536 240,65
19	940 079,75	-	248 723,87	205 878,67	2 742 119,33
20	930 678,95	-	255 231,54	209 173,60	2 951 292,92

Como demonstrado na tabela 3-8 e pelo gráfico, nos Cash-Flows acumulados (figura 3-25), do quarto para o quinto ano, o fluxo de caixa torna-se positivo.

### Cash-flow acumulado

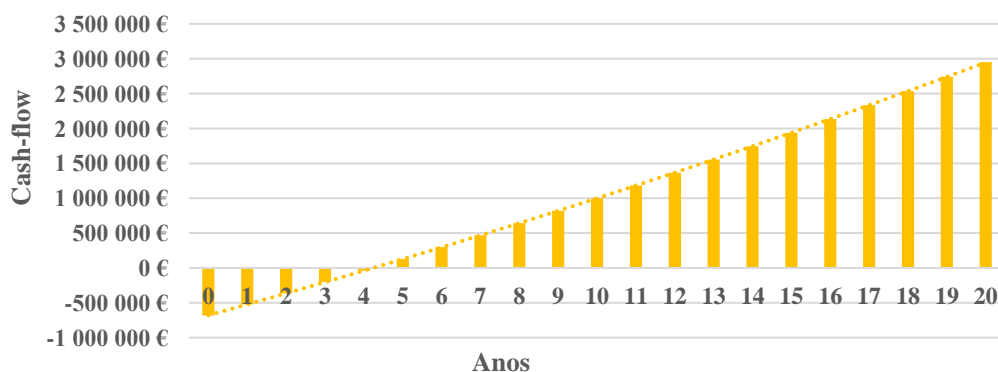


Figura 3-25 – Cash-flow acumulado com as poupanças com os ganhos térmicos

## 4. Conclusão

Qualquer indústria tem como pilar fundamental da sua atividade a energia elétrica. Consequentemente, todos os custos associados a esta deverão ser sempre acompanhados e geridos com recurso a tecnologias de otimização, previsão, controlo e eficiência. No âmbito desta tese surgiu a oportunidade para a Leica – Aparelhos Óticos em Famalicão, baixar os seus encargos com a eletricidade e o impacto ambiental da sua produção com recurso a tecnologias renováveis. Colocou-se assim a hipótese de tornar a fábrica autónoma em termos energéticos, ou seja, independente da ligação à rede pública. Assim sendo, recorreu-se aos recursos à disposição: a hídrica, eólica e solar. Apesar de não serem os únicos a poderem ser usados numa situação deste género, foram os escolhidos por serem os mais utilizados e para tentar perceber até que ponto estes estão preparados para grandes consumidores como este. A fábrica não tem nenhum resíduo que pudesse ser usado como combustível, como acontece na indústria do papel, dado que os principais materiais e excedentes produzidos são metálicos ou tóxicos.

Sabendo que as tecnologias estudadas possuem rendimentos entre os 14% e os 90%, o desafio passava por estudar a viabilidade da sua implementação. Começou-se por analisar o pequeno caudal sugerido pelo Sr. Álvaro, mas acabaria por não ser suficiente para cativar o investimento. Apesar de a estimativa de produção ser de aproximadamente 250 W, a verdade é que não era suficiente para alimentar o quadro elétrico das bombas que enviavam a água para dentro da fábrica. Isto mostrou a importância de uma apreciação técnica com aparelhagem específica de forma a eliminar falsas suposições. Esta seria a opção com mais rendimento, mas na maioria das vezes só será possível quando é aplicada a um caudal de um rio ou afluente.

No segundo estudo, a hipótese surgiu pelo facto de existir espaço para a instalação, os acessos necessários e o facto de uma zona industrial que tem circunstâncias especiais em termos de planeamento e ordenamento do território. Fator determinante para se proceder ao estudo seria os dados dos ventos no local que não existiam. A estação meteorológica mais próxima era na Trofa, mas não o suficiente para ser admissível para o estudo, pois cada local tem a sua especificidade e conta com várias variáveis como a pressão atmosférica do local e a dinâmica dos ventos influenciada pelas condições geográficas no local. Assim sendo, a opção recaía sobre o estudo no mínimo de dois anos das condições meteorológicas do local com a instalação de um anemómetro ou numa estimativa com base em cálculo estatístico

recorrendo ao mapa médio do parâmetro de escala da distribuição de Weibull e ao mapa médio simulado da intensidade do vento obtidos através de um estudo realizado em Portugal em 1999. Este foi o método, que dadas as circunstâncias económicas do projeto, permitiu obter um indicador de viabilidade que pudesse ser apresentado à empresa como futuro investimento. É convicção do autor deste trabalho de que é uma solução rápida e económica de obter uma estimativa para qualquer um que queira ponderar o investimento num projeto deste género. Para além de ter sido enriquecedor em termos de experiência para o mestrando, também oferece a qualquer responsável de uma empresa uma ferramenta de análise. Porém, o indicador não foi favorável dado que sendo um investimento com um valor de cerca de 1 milhão de euros por *Megawatt* e com base em valores unicamente probabilísticos, 625 MWh por ano, não chega para cativar um investimento naquele local. Local esse que enfrenta possíveis complicações em termos de aprovação dado que tem habitações a menos de 500 m e que poderão a vir a ser afetadas pelo ruído ou os operários pela tremulação. Mais ainda, seria necessário a aquisição do terreno no valor de cerca de 500 000 €. A recomendação que se deixa é de que não existem indícios que motivem um investimento num estudo para a empresa.

Finalmente, o aproveitamento da energia solar através da instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura do edifício foi aquele que acabou por revelar-se interessante para investir. Apesar de um rendimento de cerca de 14% das células policristalinas usadas no estudo, o preço do *Watt-pico* e as condições do projeto foram determinantes para o sucesso desta proposta. A empresa já tinha pedido orçamentos para a execução do projeto, mas tanto a administração como o chefe da manutenção não teriam encontrado uma solução viável por duas razões: a primeira porque o retorno de investimento era de 6,84 anos na cobertura e 8,35 anos para a instalação no parque de estacionamento, ficando claramente fora de questão, sendo a cobertura do parque um investimento não prioritário. No entanto, qualquer que fosse o investimento, o *payback* teria de ser igual ou inferior a 5 anos de forma a cumprir os requisitos da empresa. Porém, a solução dada para a instalação sobre a cobertura em tela asfáltica no topo da fábrica não interessava, pois podê-la-ia comprometer (já tinham tido problemas com infiltrações no passado). Assim sendo, a solução passou pelo estudo da influência do sombreamento causado pelos painéis nos consumos de AVAC da fábrica e pela pesquisa e negociação com uma empresa que tivesse um preço de *Watt-pico* mais barato aliada a uma estrutura para os painéis que assentasse na cobertura unicamente com o peso, sem necessidade de furações ou cortes na tela. Essa empresa foi encontrada e começou-se por avaliar se aquela zona estaria preparada para aguentar com o peso da estrutura,

confirmando-se que sim e realizaram-se os cálculos descritos no capítulo do estudo técnico económico. Para tornar o estudo mais real em termos de resultados, consideraram-se as obstruções na área, beneficiando com maior certeza algumas das opções tomadas, como a do cálculo do distanciamento entre painéis. Concluiu-se que, o facto de nenhuma das propostas ter contabilizado o impacto da caixa de ar criada pelos painéis e o impedimento da incidência direta dos raios solares na cobertura, teria um efeito de cerca de 31 801,38 € por ano. E isso fica comprovado pela amortização do investimento que passou dos 5,18 para os 4,23 anos.

A recomendação que fica deste estudo para a Leica – Aparelhos Óticos é a de que seria vantajoso para a empresa a instalação dos painéis fotovoltaicos.

#### **4.1 Algumas críticas decorrentes do estudo**

Na pesquisa e estudo para este relatório, o mestrando deparou-se com alguns condicionalismos que do seu ponto de vista não ajudam em nada ao crescimento e cativação de investimento no país.

A primeira sendo a demora de no mínimo 1 ano na obtenção da licença de exploração, de carácter obrigatório, a partir de 1 MW. Isto num mercado em constante alteração como o dos painéis fotovoltaicos pode levar à inviabilização do investimento pelo aumento do preço de compra.

A segunda sendo a aplicação de custos aos dados meteorológicos necessários para elaboração de estudos como o desta tese. Informações como estas deveriam ser tornadas públicas, com vista a incentivar o investimento em aerogeradores para uso em pequena ou grande escala. Apesar de existir sempre a necessidade de medições no local, para pequenos investidores é um desincentivo.

#### **4.2 Propostas futuras**

Um dos aspetos que ficou subjacente a este estudo foi a de que existe alguma dificuldade na aplicação de tecnologias renováveis para a autonomia energética. É uma tecnologia cara, pouco eficiente e que ocupa muita área útil. No caso da tecnologia fotovoltaica é necessário um espaço de cerca de 12500 m<sup>2</sup> para instalar 1 MW.

A proposta que se deixa é a de um investimento no estudo e não na implementação de sistemas renováveis como até à data desta tese é política da União Europeia.

Em termos académicos, como futura proposta de dissertação seria o estudo da viabilidade de implementação de uma célula de hidrogénio numa unidade fabril como esta.

## *Referências Documentais*

- [1] T. J. M. Gonçalves, “Metodologia para dimensionamento de turbinas Banki para aplicação microhídricas em antigos moinhos,” Universidade do Minho, Braga, 2011.
- [2] IREM, “IREM,” IREM SpA a socio unico, [Online]. Available: <https://www.irem.it/en/hydro-turbines/>. [Acedido em 22 09 2017].
- [3] “Energy Classroom,” Xcel Energy, Inc., 2017. [Online]. Available: <http://energyclassroom.com/climb-a-turbine/>. [Acedido em 22 09 2017].
- [4] R. M. G. Castro, INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA, Lisboa: IST, 2003.
- [5] T. Al-Shemmeri, Wind Turbines, República Checa: bookboon, 2010.
- [6] D. S. N. Maia, “Ruído de Parques Eólicos - Análise e Caracterização,” FEUP, Porto, 2010.
- [7] J. L. Morais, Sistemas Fotovoltaicos da Teoria à Prática, Porto: Publindustria, 2009.
- [8] M. A. Maehlum, “Energy informative,” 5 08 2017. [Online]. Available: <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>. [Acedido em 26 09 2017].
- [9] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, “Decreto-Lei n.º 153/2014,” Estado Português, Lisboa, 2014.
- [10] SolarWaters, “FOTOVOLTAICO AUTOCONSUMO,” SolarWaters, [Online]. Available: <http://www.solarwaters.pt/autoconsumo/autoconsumo-empresas>. [Acedido em 25 09 2017].
- [11] Governo da República Portuguesa, “Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída,” Governo da República Portuguesa, 09 2014. [Online]. Available: [http://www.portugal.gov.pt/media/1513250/enquadramento\\_do\\_novo\\_regime\\_de\\_produ\\_o\\_distribu\\_da.pdf](http://www.portugal.gov.pt/media/1513250/enquadramento_do_novo_regime_de_produ_o_distribu_da.pdf). [Acedido em 25 09 2017].
- [12] T. Nogueira, Estudo da Energia Minihídrica - Disciplina de Produção Distribuída, Porto: ISEP, 2015.
- [13] P. A. d. S. Costa, Atlas do Potencial Eólico para Portugal Continental, Lisboa: FCUL, 2004.
- [14] D. M. M. Raposo, Estudo da solução da Eólica Offshore, Lisboa: IST, 2014.
- [15] Enercon GmbH, ENERCON product overview, Aurich, Germany: Enercon, 2017.
- [16] “The Wind Power - Wind Energy Market Intelligence,” 17 Julho 2017. [Online]. Available: [http://www.thewindpower.net/windfarm\\_en\\_19797\\_praia-norte.php](http://www.thewindpower.net/windfarm_en_19797_praia-norte.php). [Acedido em 30 Agosto 2017].

- [17] Ministério das Obras Públicas - Gabinete do Ministro, “DRE - Diário da República Eletrónico,” 18 11 1961. [Online]. Available: <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/181610/details/maximized?perPage=50&sort=whenSearchable&q=Lei+n.%C2%BA%2010%2F97&sortOrder=DESC%2Fen%2Fen>. [Acedido em 06 09 2017].
- [18] A. Ritchie, Sustainable Urban Design: An Environmental Approach, EUA: Taylor & Francis, 2013.
- [19] SGCIE, “SGCIE - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia,” ADENE, 2017. [Online]. Available: [http://sgcie.publico.adene.pt/\\_layouts/SGCIE\\_ExternalEntities/ConversorSGCIE.aspx](http://sgcie.publico.adene.pt/_layouts/SGCIE_ExternalEntities/ConversorSGCIE.aspx). [Acedido em 11 09 2017].
- [20] R. J. O. C. Faria, “ESTUDO TÉCNICO RELATIVO À INSTALAÇÃO DE MICRO EÓLICAS EM EDIFÍCIOS URBANOS PARA MICROPRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA,” ISEP, Porto, 2010.





## Anexo I Folha de cálculo do Estudo Económico dos painéis fotovoltaicos

Neste anexo são descritos alguns dos pormenores dos cálculos realizados na folha de cálculo descrita no capítulo 3.5.3.

- Nesta folha introduzem-se alguns dados pertinentes da instalação como a área disponível e os dados das perdas

Preço Wp	0,740 €
<b>Coluna1</b>	<b>Coluna2</b>
Área Disponível (m2)	12529
Pot máx disponível (kW)	1000
Pot a instalar (kW)	921,405
Custo	681 840 €
Aumento Energia E.	3,00%
Act. Capital	1,00%
<b>rend. Global</b>	<b>99,00%</b>
Perdas painéis	0,35%
Outras perdas	0,65%
Aumento custo manut	0,00%
Poupança Anual	127 419,10 €
Payback Simples	5,4
P_Mercad	Sim
Ciclo	Semanal
Tarifário	Fixo
K	-7

- Introdução dos preços obtidos das faturas da empresa para os diferentes períodos.

Período	€/kWh	€/kW/dia	Período	€/kWh	€/kW/dia
Ponta	0,1046 €	0,2263 €	Ponta	0,1046 €	0,2263 €
Cheias	0,0937 €	- €	Cheias	0,0937 €	- €
Vazio	0,0679 €	- €	Vazio	0,0679 €	- €
Super Vazio	0,0603 €	- €	Super Vazio	0,0603 €	- €

- Folha com os dados do diagrama de cargas para os consumos de 15 em 15 min da fábrica.

	01/ian	02/ian	03/ian	04/ian	05/ian	06/ian	07/ian	08/ian	09/ian	10/ian	11/ian	12/ian
00:15	350	300	250	340	730	740	790	830	650	350	300	770
00:30	330	370	290	330	710	760	770	810	710	410	260	750
00:45	280	350	340	340	750	780	770	840	700	410	220	740
01:00	310	280	340	360	760	810	800	870	710	350	260	710
01:15	380	290	250	390	800	820	820	870	680	350	320	760
01:30	380	360	260	380	810	810	830	930	620	430	260	750
01:45	310	320	330	390	820	840	820	900	670	420	240	820
02:00	280	270	330	310	810	820	820	870	680	340	330	790
02:15	340	320	260	300	780	830	820	850	630	350	320	720
02:30	350	370	250	370	790	810	810	850	620	410	250	770
02:45	280	360	340	400	780	830	820	840	640	390	260	730
03:00	290	270	330	340	780	810	820	840	650	340	320	790
03:15	360	290	270	310	780	810	820	860	620	360	290	800
03:30	330	360	240	350	740	810	830	860	590	430	250	740
03:45	270	320	320	410	830	800	810	860	630	400	280	790
04:00	320	280	340	410	820	820	830	880	570	340	350	700
04:15	360	330	290	340	820	810	820	820	540	360	320	790
04:30	310	360	250	330	820	790	830	880	570	420	280	770
04:45	270	270	300	400	810	810	830	830	580	370	310	690
05:00	340	290	350	420	800	830	830	830	490	350	350	750
05:15	350	360	330	400	830	820	850	830	550	400	300	720
05:30	280	290	260	440	870	840	900	880	480	370	360	810
05:45	290	270	250	640	890	870	900	930	510	300	610	810
06:00	380	360	350	930	1040	1070	1100	1160	480	250	930	1010
06:15	330	320	330	1040	1090	1110	1150	1220	440	290	990	1120
06:30	290	270	270	1090	1100	1110	1160	1190	530	300	1030	1020
06:45	340	310	250	1080	1090	1110	1130	1190	460	220	1050	1080
07:00	360	330	310	1070	1080	1120	1150	1160	470	220	1050	1070
07:15	300	260	340	1120	1090	1140	1180	1180	520	310	1050	1040
07:30	300	260	280	1210	1200	1230	1260	1260	450	300	1100	1150
07:45	380	340	250	1340	1400	1400	1420	1460	450	230	1270	1380
08:00	380	330	290	1400	1420	1400	1480	1540	510	210	1380	1390
08:15	330	310	340	1440	1440	1410	1540	1520	450	300	1330	1410
08:30	290	290	320	1450	1400	1400	1520	1470	450	270	1340	1370
08:45	360	290	250	1470	1360	1410	1510	1500	520	220	1320	1380
09:00	370	260	260	1540	1410	1410	1520	1510	480	240	1370	1390
09:15	310	300	330	1530	1420	1390	1520	1510	420	300	1410	1410
09:30	280	320	340	1520	1440	1410	1510	1520	450	280	1360	1410
09:45	370	250	280	1490	1430	1420	1480	1440	470	210	1350	1400
10:00	370	270	240	1400	1370	1400	1460	1410	410	230	1340	1340
10:15	320	340	300	1420	1410	1390	1440	1420	430	290	1390	1360
10:30	290	270	350	1450	1410	1390	1500	1470	470	250	1380	1310
10:45	350	240	340	1440	1470	1440	1510	1460	460	210	1400	1400
11:00	370	330	320	1490	1440	1380	1480	1470	420	260	1390	1400
11:15	300	340	330	1450	1400	1410	1460	1470	470	300	1350	1390
11:30	290	250	320	1470	1410	1450	1520	1510	480	250	1410	1380
11:45	370	250	320	1440	1450	1420	1530	1510	410	210	1400	1390
12:00	380	350	320	1400	1460	1430	1490	1470	430	250	1380	1330
12:15	350	330	320	1390	1410	1390	1440	1460	490	280	1380	1390
12:30	300	260	320	1420	1410	1440	1490	1460	460	230	1410	1390
12:45	320	240	320	1390	1410	1410	1440	1460	400	230	1350	1410
13:00	380	330	330	1390	1350	1390	1460	1450	440	310	1350	1380
13:15	350	350	330	1390	1350	1330	1450	1420	460	310	1310	1390
13:30	290	300	320	1380	1370	1350	1470	1480	410	300	1340	1430
13:45	310	250	320	1380	1390	1390	1510	1500	390	300	1380	1410
14:00	370	310	330	1390	1370	1380	1500	1460	490	300	1400	1410
14:15	370	340	350	1340	1380	1370	1500	1430	450	300	1430	1440
14:30	300	340	340	1320	1430	1420	1500	1460	390	300	1410	1460
14:45	300	250	340	1390	1420	1410	1490	1510	370	300	1370	1500
15:00	270	250	330	1330	1460	1380	1470	1470	430	300	1370	1410
15:15	370	330	390	1340	1400	1410	1500	1430	430	300	1380	1390
15:30	300	340	400	1360	1360	1350	1490	1410	370	300	1380	1360
15:45	280	270	400	1360	1380	1380	1500	1460	410	310	1360	1350
16:00	390	240	370	1350	1370	1350	1530	1370	450	320	1330	1350
16:15	380	330	340	1330	1300	1270	1470	1360	420	300	1270	1330
16:30	310	330	350	1110	1130	1060	1210	1170	370	300	1100	1120
16:45	280	270	360	1040	1100	1070	1120	1130	400	310	1030	1090
17:00	370	240	350	1020	1100	1060	1120	1120	440	300	1010	1050
17:15	390	320	340	1010	1050	1040	1170	1050	400	330	1020	1060
17:30	360	340	370	960	1020	1060	1120	1040	370	300	1020	1070
17:45	290	280	360	950	1020	1060	1100	1020	450	310	1010	1040
18:00	310	250	340	950	1000	1040	1110	1040	460	330	930	1020
18:15	380	310	340	950	970	1010	1070	990	390	330	960	1000
18:30	380	350	370	980	970	1020	1100	1040	370	300	970	1000
18:45	310	330	360	950	980	990	1060	990	450	300	930	1000
19:00	280	250	340	970	950	1000	1050	970	430	340	970	990
19:15	360	270	360	990	990	1040	1060	990	380	320	970	1000
19:30	380	340	370	980	980	1030	1070	980	390	310	880	990
19:45	310	320	350	990	980	1020	1090	970	460	300	940	1010
20:00	290	250	330	960	990	990	1080	980	460	310	900	1010
20:15	350	260	350	970	970	1000	1050	970	380	300	1000	1020
20:30	380	340	370	970	990	1040	1060	950	380	310	990	1020
20:45	320	330	350	970	980	1000	1060	940	450	250	960	1000
21:00	280	250	340	960	1000	970	1070	910	410	220	950	1010
21:15	350	270	360	960	980	990	990	880	350	250	950	1010
21:30	380	340	360	940	990	970	1040	860	430	290	940	990
21:45	340	330	340	920	950	980	980	810	450	230	930	950
22:00	290	260	360	900	920	930	980	780	420	210	850	940
22:15	310	260	350	850	890	870	930	750	360	300	810	900
22:30	370	340	350	830	830	840	920	770	400	300	800	850
22:45	360	340	350	800	850	850	900	760	420	220	780	840
23:00	280	250	360	810	800	810	860	720	390	220	790	800
23:15	290	260	340	760	790	800	840	710	340	280	700	780

- Um excerto com os dados provenientes do PVGIS para todos os meses do ano.

W/m2	Janeiro						
	Time	G	Gd	Gc	DNI	DNIc	
00:15		0	0	0	0	0	
00:30		0	0	0	0	0	
00:45		0	0	0	0	0	
01:00		0	0	0	0	0	
01:15		0	0	0	0	0	
01:30		0	0	0	0	0	
01:45		0	0	0	0	0	
02:00		0	0	0	0	0	
02:15		0	0	0	0	0	
02:30		0	0	0	0	0	
02:45		0	0	0	0	0	
03:00		0	0	0	0	0	
03:15		0	0	0	0	0	
03:30		0	0	0	0	0	
03:45		0	0	0	0	0	
04:00		0	0	0	0	0	
04:15		0	0	0	0	0	
04:30		0	0	0	0	0	
04:45	04:52	0	0	0	0	0	
05:00	05:07	0	0	0	0	0	
05:15	05:22	0	0	0	0	0	
05:30	05:37	0	0	0	0	0	
05:45	05:52	0	0	0	0	0	
06:00	06:07	0	0	0	0	0	
06:15	06:22	0	0	0	0	0	
06:30	06:37	0	0	0	0	0	
06:45	06:52	0	0	0	0	0	
07:00	07:07	0	0	0	0	0	07:07
07:15	07:22	0	0	0	0	0	07:22
07:30	07:37	52	35	57	166	413	07:37
07:45	07:52	75	45	95	210	522	07:52
08:00	08:07	109	62	148	246	611	08:07
08:15	08:22	135	72	194	274	680	08:22
08:30	08:37	160	80	239	296	734	08:37
08:45	08:52	184	88	284	314	778	08:52
09:00	09:07	206	95	326	328	814	09:07
09:15	09:22	228	101	367	340	843	09:22
09:30	09:37	247	106	404	350	867	09:37
09:45	09:52	265	111	439	358	888	09:52
10:00	10:07	280	115	471	365	905	10:07
10:15	10:22	294	118	499	370	919	10:22
10:30	10:37	306	121	523	375	930	10:37
10:45	10:52	316	123	544	379	939	10:52
11:00	11:07	325	125	560	382	946	11:07
11:15	11:22	331	126	573	384	952	11:22
11:30	11:37	335	127	581	385	955	11:37
11:45	11:52	337	127	586	386	957	11:52



- Continuação do estudo financeiro com recurso ao *Solver* para otimização de resultados.

Ano	Produção (MWh)	Pequena no Fatura (€)	Receita do Excedente (€)	Investimento	Cash-Flow	Cash-Flow att	Cash-Flow acum	Column1
0	0	691.840 €	691.840 €	0	691.840 €	691.840 €	691.840 €	0
1	1.176.000	131.245 €	2.570 €	0	131.245 €	131.245 €	823.085 €	0
2	1.116.285	128.491 €	2.850 €	0	131.245 €	128.658 €	-422.024 €	0
3	1.104.983	132.346 €	2.833 €	0	135.179 €	131.205 €	-295.823 €	0
4	1.093.042	136.316 €	2.518 €	0	139.234 €	138.801 €	-169.022 €	0
5	1.087.111	140.206 €	3.005 €	0	143.411 €	138.453 €	-35.571 €	0
6	1.080.577	144.045 €	3.488 €	0	147.612 €	141.966 €	235.493 €	5,18
7	1.069.972	153.429 €	3.284 €	0	156.709 €	144.713 €	400.209 €	0
8	1.059.472	158.029 €	3.383 €	0	161.413 €	147.984 €	547.793 €	0
9	1.049.076	162.845 €	3.482 €	0	166.124 €	151.292 €	698.985 €	0
10	1.038.786	167.652 €	3.580 €	0	171.241 €	155.449 €	851.782 €	0
11	1.028.599	172.682 €	3.676 €	0	176.378 €	159.526 €	1.008.313 €	0
12	998.513	177.862 €	3.607 €	0	181.669 €	159.626 €	1.169.399 €	0
13	988.247	183.194 €	3.592 €	0	187.113 €	162.726 €	1.335.726 €	0
14	988.247	188.526 €	3.577 €	0	192.726 €	165.826 €	1.507.400 €	0
15	988.247	194.355 €	4.160 €	0	198.515 €	169.296 €	1.686.024 €	0
16	988.856	200.185 €	4.285 €	0	204.470 €	172.655 €	1.878.684 €	0
17	953.167	206.191 €	4.413 €	0	210.604 €	176.065 €	2.074.763 €	0
18	945.576	212.397 €	4.541 €	0	216.949 €	179.516 €	2.274.249 €	0
19	937.985	218.744 €	4.662 €	0	223.435 €	183.111 €	2.377.419 €	0
20	930.679			0				

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9	Column10	Column11	Column12	Column13	Column14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	45300	62700	96700	107000	130000	137000	144000	132000	106000	75800	49700	40300	1.126.500
2	76,32%	76,00%	74,15%	72,26%	73,59%	69,99%	71,98%	71,70%	71,26%	75,64%	75,43%	75,72%	73,67%
3	621.365	557.145	602.065	571.663	635.820	681.540	792.810	425.663	748.855	695.733	615.758	510.483	7.458.898
4	45.300	62.700	96.700	107.000	130.000	137.000	144.000	132.000	106.000	75.800	49.700	40.300	1.126.500
5	13	671	3.465	4.358	8.423	5.578	2.092	29.303	1.045	449	55	1	55.483
6	45.287	62.029	93.235	102.642	121.577	131.422	141.908	107.697	104.955	75.351	49.645	40.299	1.071.047
7	576.078	495.116	508.830	469.021	514.243	550.118	650.902	322.966	643.900	620.382	566.113	470.184	6.387.850

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9	Column10	Column11	Column12	Column13	Column14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2.877.452,41 €	20,93%	5,18	3,0%	1,0%								
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9	Column10	Column11	Column12	Column13	Column14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	59.809 €	53.290 €	55.395 €	54.128 €	56.892 €	64.551 €	74.240 €	36.200 €	70.724 €	62.885 €	56.227 €	45.880 €	690.222 €
2	1 €	30 €	156 €	196 €	379 €	276 €	107 €	1.451 €	52 €	20 €	2 €	0 €	2.670 €
3	763 €	984 €	1.812 €	2.561 €	2.874 €	2.985 €	3.393 €	2.356 €	2.914 €	2.323 €	824 €	679 €	24.669 €
4	4.084 €	5.564 €	8.336 €	9.878 €	11.672 €	12.541 €	12.541 €	9.749 €	10.336 €	7.502 €	4.461 €	3.616 €	100.280 €
5	54.703 €	41.559 €	40.075 €	38.422 €	39.178 €	52.188 €	62.296 €	25.437 €	56.102 €	51.045 €	43.821 €	35.792 €	540.618 €
6	54.962 €	46.742 €	45.247 €	41.689 €	42.345 €	49.025 €	58.306 €	24.096 €	57.474 €	53.060 €	50.941 €	41.586 €	565.473 €
7	0%	11%	11%	8%	7%	-6%	-7%	-6%	2%	2%	4%	14%	4%
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

# Anexo II Resultados obtidos da simulação no programa de cálculo de cargas térmica certificado Carrier HAP 4.80

Ventilation Sizing Summary for Sistema									
Project Name: Leica Prepared by: João Silva									
09/20/2017 12:22									
1. Summary Ventilation Sizing Method ..... Sum of Space OA Airflows									
2. Space Ventilation Analysis Table									
Zone Name / Space Name	Mult.	Floor Area (m <sup>2</sup> )	Maximum Occupants	Maximum Supply Air (L/s)	Required Outdoor Air (L/s/person)	Required Outdoor Air (L/(s-m <sup>2</sup> ))	Required Outdoor Air (L/s)	Required Outdoor Air (% of supply)	Uncorrected Outdoor Air (L/s)
Zone 1									
Cobertura Original	1	12415.0	0.0	9961.9	0.00	0.00	322.0	0.0	322.0
Cobertura + Painéis	1	12415.0	0.0	7021.5	0.00	0.00	322.0	0.0	322.0
<b>Totals (incl. Space Multipliers)</b>				<b>16983.4</b>					<b>644.0</b>

### Air System Design Load Summary for Sistema

Project Name: Leica  
Prepared by: João Silva

09/20/2017  
12:22

	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1500			HEATING DATA AT DES HTG		
	COOLING OA DB / WB 32,0 °C / 21,4 °C			HEATING OA DB / WB -0,8 °C / -1,9 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	45 m²	4910	-	45 m²	-	-
Wall Transmission	235 m²	756	-	235 m²	3022	-
Roof Transmission	19244 m²	188674	-	19244 m²	149276	-
Window Transmission	45 m²	729	-	45 m²	2808	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	5586 m²	4972	-	5586 m²	20333	-
Overhead Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	0 W	0	-	0	0	-
People	0	0	0	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
<b>&gt;&gt; Total Zone Loads</b>	-	<b>200041</b>	<b>0</b>	-	<b>175439</b>	<b>0</b>
Zone Conditioning	-	137212	0	-	172571	0
Plenum Wall Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Roof Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Lighting Load	0%	0	-	0	0	-
Exhaust Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Ventilation Load	644 L/s	5765	-115	644 L/s	15669	10
Ventilation Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Space Fan Coil Fans	-	0	-	-	0	-
Duct Heat Gain / Loss	0%	0	-	0%	0	-
<b>&gt;&gt; Total System Loads</b>	-	<b>142977</b>	<b>-115</b>	-	<b>188240</b>	<b>10</b>
Terminal Unit Cooling	-	142977	0	-	0	0
Terminal Unit Heating	-	0	-	-	188240	-
<b>&gt;&gt; Total Conditioning</b>	-	<b>142977</b>	<b>0</b>	-	<b>188240</b>	<b>0</b>
Key:	Positive values are clg loads Negative values are htg loads			Positive values are htg loads Negative values are clg loads		

### Zone Design Load Summary for Sistema

Project Name: Leica  
Prepared by: João Silva

09/20/2017  
12:22

Zone 1	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jun 1400 COOLING OA DB / WB 31,0 °C / 21,3 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB -0,8 °C / -1,9 °C		
	OCCUPIED T-STAT 24,0 °C			OCCUPIED T-STAT 20,0 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	45 m²	5089	-	45 m²	-	-
Wall Transmission	235 m²	648	-	235 m²	3022	-
Roof Transmission	19244 m²	192443	-	19244 m²	149276	-
Window Transmission	45 m²	591	-	45 m²	2808	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	5586 m²	3848	-	5586 m²	20333	-
Overhead Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	0 W	0	-	0	0	-
People	0	0	0	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
<b>&gt;&gt; Total Zone Loads</b>	-	<b>202618</b>	<b>0</b>	-	<b>175439</b>	<b>0</b>

## Space Design Load Summary for Sistema

Project Name: Leica  
Prepared by: João Silva

09/20/2017  
12:22

TABLE 1.1.A. COMPONENT LOADS FOR SPACE "Coertura Original" IN ZONE "Zone 1"						
	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
	COOLING DATA AT Jun 1400 COOLING OA DB / WB 31,0 °C / 21,3 °C OCCUPIED T-STAT 24,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB -0,8 °C / -1,9 °C OCCUPIED T-STAT 20,0 °C		
<b>SPACE LOADS</b>						
Window & Skylight Solar Loads	23 m²	2544	-	23 m²	-	-
Wall Transmission	117 m²	324	-	117 m²	1511	-
Roof Transmission	12415 m²	115718	-	12415 m²	90147	-
Window Transmission	23 m²	296	-	23 m²	1404	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	0 W	0	-	0	0	-
People	0	0	0	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
<b>&gt;&gt; Total Zone Loads</b>		<b>118882</b>	<b>0</b>		<b>93062</b>	<b>0</b>

TABLE 1.1.B. ENVELOPE LOADS FOR SPACE "Coertura Original" IN ZONE "Zone 1"						
	Area (m²)	U-Value (W/(m²·K))	Shade Coeff.	COOLING	COOLING	HEATING
				TRANS (W)	SOLAR (W)	TRANS (W)
<b>SSE EXPOSURE</b>						
WALL	6	0,619	-	16	-	73
<b>ENE EXPOSURE</b>						
WALL	57	0,619	-	278	-	734
WINDOW 1	18	3,000	0,750	236	1924	1123
<b>NNW EXPOSURE</b>						
WALL	38	0,619	-	11	-	491
<b>WSW EXPOSURE</b>						
WALL	17	0,619	-	19	-	213
WINDOW 1	5	3,000	0,750	59	620	281
<b>H EXPOSURE</b>						
ROOF	12415	0,349	-	115718	-	90147

## Space Design Load Summary for Sistema

Project Name: Leica  
Prepared by: João Silva

09/20/2017  
12:22

TABLE 1.2.A. COMPONENT LOADS FOR SPACE " Cobertura + Painéis " IN ZONE " Zone 1 "						
	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1400 COOLING OA DB / WB 31,6 °C / 21,3 °C OCCUPIED T-STAT 24,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB -0,8 °C / -1,9 °C OCCUPIED T-STAT 20,0 °C		
SPACE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	23 m²	2450	-	23 m²	-	-
Wall Transmission	117 m²	334	-	117 m²	1511	-
Roof Transmission	6829 m²	76219	-	6829 m²	59129	-
Window Transmission	23 m²	333	-	23 m²	1404	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	5586 m²	4457	-	5586 m²	20333	-
Overhead Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	0 W	0	-	0	0	-
People	0	0	0	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
<b>&gt;&gt; Total Zone Loads</b>	-	<b>83793</b>	<b>0</b>	-	<b>82377</b>	<b>0</b>

TABLE 1.2.B. ENVELOPE LOADS FOR SPACE " Cobertura + Painéis " IN ZONE " Zone 1 "						
	Area (m²)	U-Value (W/(m²·°K))	Shade Coeff.	COOLING	COOLING	HEATING
				TRANS (W)	SOLAR (W)	TRANS (W)
<b>SSE EXPOSURE</b>						
WALL	6	0,619	-	20	-	73
<b>ENE EXPOSURE</b>						
WALL	57	0,619	-	274	-	734
WINDOW 1	18	3,000	0,750	266	1806	1123
<b>NNW EXPOSURE</b>						
WALL	38	0,619	-	17	-	491
<b>WSW EXPOSURE</b>						
WALL	17	0,619	-	24	-	213
WINDOW 1	5	3,000	0,750	67	644	281
<b>H EXPOSURE</b>						
ROOF	6829	0,416	-	76219	-	59129

## System Psychrometrics for Sistema

Project Name: Leica  
Prepared by: João Silva

09/20/2017  
12:22

July DESIGN COOLING DAY, 1500

**TABLE 1: SYSTEM DATA**

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Ventilation Air	Inlet	32,0	0,01179	644	400	5765	-115
Vent - Return Mixing	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	-	-
Ventilation Fan	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	0	-
Zone Air	-	24,5	0,01185	16983	0	137212	0
Return Plenum	Outlet	-17,8	0,01185	16983	0	0	-

*Air Density x Heat Capacity x Conversion Factor: At sea level = 1,207; At site altitude = 1,193 W/(L/s-K)*

*Air Density x Heat of Vaporization x Conversion Factor: At sea level = 2947,6; At site altitude = 2913,8 W/(L/s)*

*Site Altitude = 97,0 m*

**TABLE 2: ZONE DATA**

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
<b>Zone 1 (Cooling)</b>							
Ventilation Air	-	-	-	644	-	-	-
Cooling Coil Inlet	-	24,8	0,01186	16983	0	-	-
Cooling Coil Outlet	-	17,7	0,01186	16983	0	142977	0
Heating Coil Inlet	-	17,7	0,01186	16983	0	-	-
Heating Coil Outlet	-	17,7	0,01186	16983	0	0	-
Zone Air	-	24,5	0,01185	16983	0	137212	-

## System Psychrometrics for Sistema

Project Name: Leica  
Prepared by: João Silva

09/20/2017  
12:22

### WINTER DESIGN HEATING

**TABLE 1: SYSTEM DATA**

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Ventilation Air	Inlet	-0,8	0,00281	644	400	-15669	-10
Vent - Return Mixing	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	-	-
Ventilation Fan	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	0	-
Zone Air	-	19,6	0,00282	16983	0	-172571	0
Return Plenum	Outlet	-17,8	0,00282	16983	0	0	-

*Air Density x Heat Capacity x Conversion Factor: At sea level = 1,207; At site altitude = 1,193 W/(L/s-K)*

*Air Density x Heat of Vaporization x Conversion Factor: At sea level = 2947,6; At site altitude = 2913,8 W/(L/s)*

*Site Altitude = 97,0 m*

**TABLE 2: ZONE DATA**

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
<b>Zone 1 ( Heating )</b>							
Ventilation Air	-	-	-	644	-	-	-
Cooling Coil Inlet	-	18,8	0,00282	16983	0	-	-
Cooling Coil Outlet	-	18,8	0,00282	16983	0	0	0
Heating Coil Inlet	-	18,8	0,00282	16983	0	-	-
Heating Coil Outlet	-	28,1	0,00282	16983	0	188240	-
Zone Air	-	19,6	0,00282	16983	0	-172571	-

## Anexo III Folha de cálculo do Estudo Económico dos painéis dos fotovoltaicos com dados do estudo das cargas térmicas

Neste anexo são descritos alguns dos pormenores dos cálculos realizados na folha de cálculo descrita no capítulo 3.5.4.

- Os mesmos parâmetros que o Anexo I, mas com novos valores obtidos para “Poupança Anual” e “Payback Simples”.

Preço Wp	0,740 €
<b>Coluna1</b>	<b>Coluna2</b>
Área Disponível (m2)	12529
Pot máx disponível (kW)	1000
Pot a instalar (kW)	921,405
Custo	681 840 €
Aumento Energia E.	3,00%
Act. Capital	1,00%
<b>rend. Global</b>	<b>99,00%</b>
Perdas painéis	0,35%
Outras perdas	0,65%
Aumento custo manut	0,00%
Poupança Anual	159 220,48 €
Payback Simples	4,3
P_Mercad	Sim
Ciclo	Semanal
Tarifário	Fixo
K	-7



# Anexo IV Comprovativo PVGIS



## Performance of Grid-connected PV

### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 41°22'0" North, 8°32'8" West, Elevation: 97 m a.s.l.,  
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 921.4 kW (crystalline silicon)  
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 13.9% (using local ambient temperature)  
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.6%  
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
Combined PV system losses: 28.6%

Fixed system: Inclination=5 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	1460.00	45300	2.11	65.4
Feb	2240.00	62700	3.23	90.3
Mar	3120.00	96700	4.63	144
Apr	3560.00	107000	5.43	163
May	4180.00	130000	6.47	201
Jun	4570.00	137000	7.16	215
Jul	4640.00	144000	7.32	227
Aug	4270.00	132000	6.73	209
Sep	3520.00	106000	5.44	163
Oct	2450.00	75800	3.67	114
Nov	1660.00	49700	2.42	72.7
Dec	1300.00	40300	1.89	58.6
Year	3080.00	93800	4.72	143
Total for year		1130000		1720

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

#### Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

#### This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.