



Mestrado em Engenharia Mecânica

---

# **Sistema de Cobertura Fotovoltaica para Parques de Estacionamento**

Trabalho de Projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica - Especialização em Construção e Manutenção de  
Equipamentos Mecânicos

**Autor**

**José Mário Gomes dos Santos**

**Orientadores**

**Doutora Anabela Duarte de Carvalho**

**Doutor Urbano Oliveira Ramos**

Professores do Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

**Coimbra, abril, 2019**



## **AGRADECIMENTOS**

Aproveito esta oportunidade para manifestar o meu agradecimento à Professora Anabela Carvalho e ao Professor Urbano Ramos pelo apoio e empenho no acompanhamento deste projeto. A sua ajuda facilitou o desenvolvimento do trabalho e permitiu um avanço considerável na resolução de muitos entraves.

Agradeço de forma muito especial à minha família pelo apoio constante nesta caminhada. Deixo um agradecimento aos meus amigos, em especial ao Filipe Santos, por todo o apoio no decorrer desta etapa que teria sido muito mais difícil sem a sua ajuda. Por fim, um profundo agradecimento à minha namorada, por estar sempre do meu lado quando era necessário, pela paciência e constante motivação para a conclusão deste projeto.



## RESUMO

Com a aprovação do Decreto-lei n.º 153/2014 de 20 de outubro, qualquer empresa ou particular tem a possibilidade de produzir eletricidade de fonte renovável para autoconsumo ou venda à Rede Energética de Serviço Público.

Neste projeto pretende-se verificar a viabilidade de construir uma estrutura de estacionamento com módulos fotovoltaicos, colmatando algumas lacunas que existem no mercado em que as estruturas existentes não são adaptáveis a todos os locais de estacionamento.

As dificuldades encontradas em ambiente de trabalho levaram à criação de um modelo que permita produzir energia elétrica ao mesmo tempo que se protegem veículos das condições atmosféricas em locais onde outras estruturas não são viáveis. Este modelo prevê a criação de uma estrutura com duas inclinações: uma com a direção Este e outra com a direção Oeste. Desta forma, a produção de energia não se concentra no pico solar, altura em que muitas empresas não se encontram a laborar e parte da produção é desperdiçada. Em paralelo, esta orientação permite que a produção se inicie mais cedo no início do dia e se prolongue até mais tarde ao final do dia.

Para além da construção mecânica da estrutura, é também objetivo deste projeto otimizar a estrutura para a produção de eletricidade para autoconsumo a partir de painéis fotovoltaicos, tendo em consideração os custos dos materiais utilizados, das peças construídas e do sistema fotovoltaico. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a solução estudada apresenta viabilidade económica, tendo por isso potencial de aplicação no mercado dos sistemas fotovoltaicos, com o benefício adicional de proteger as viaturas das condições climatéricas.

Assim, é necessário verificar se, as peças construídas e os materiais utilizados são viáveis num contexto de produção de eletricidade para autoconsumo numa empresa, aproveitando o efeito de estacionamento para proteção de viaturas às condições climatéricas.

A estrutura construída vai de encontro aos objetivos traçados sendo viável a sua aplicação no mercado dos sistemas fotovoltaicos.

**Palavras Chave:** Estacionamento Fotovoltaico, Construção Mecânica, Autoconsumo de Eletricidade, Viabilidade Económica



## ABSTRACT

With the approval of the Law no. 153/2014 of October 20, any company or individual has the possibility to produce electricity from renewable or non-renewable sources for self-consumption or sale to the Public Service Energy Network.

This project intends to verify the viability of building a parking structure with photovoltaic modules, filling some gaps that exist in the market in which the existing structures are not adaptable to all the parking places.

The difficulties found in the work environment led to the creation of a model that allows to produce electric energy while protecting vehicles from atmospheric conditions in places where other structures are not feasible. This model predicts the creation of a structure with two inclinations: one with the East direction and the other with the West direction. In this way, energy production is not concentrated in the solar peak, when many companies are not working, and part of the production is wasted. In parallel, this orientation allows production to begin earlier in the day and to continue until later in the day.

In addition to the mechanical construction of the structure, it is also the objective of this project to optimize the structure to produce electricity for self-consumption from photovoltaic panels, taking into consideration the cost of the materials used, the built parts and the photovoltaic system. Based on the results obtained, it is concluded that the solution studied presents economic feasibility and therefore has potential of application in photovoltaic systems market, with the additional benefit of protecting the vehicles from climatic conditions.

To prove this, it is necessary to verify if the constructed parts and the materials used are feasible in a context of electricity production for self-consumption in a company, taking advantage of the parking effect to protect vehicles to the climatic conditions.

The built structure meets the objectives outlined and it is feasible to apply it in the market for photovoltaic systems.

**Keywords:** Photovoltaic Parking, Mechanical Engineering, Self-Consumption of Electricity, Economic Viability



## ÍNDICE

Agradecimentos .....	III
Resumo .....	V
Abstract.....	VII
Índice .....	IX
Índice de Figuras .....	XI
Índice de Quadros.....	XIII
Unidades .....	XV
Abreviaturas.....	XVII
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos do trabalho.....	2
2 Estado da arte.....	3
2.1 Panorama Energético Português - As Energias Renováveis em Portugal .....	3
2.2 Regulamentação da Tecnologia Solar Fotovoltaica – Evolução do Enquadramento Legal .....	6
2.3 Ferramentas para Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.....	8
2.4 Sistemas de Parqueamentos Fotovoltaicos Existentes no Mercado.....	9
3 Estudo de Estrutura de Parqueamento com Módulos fotovoltaicos com otimização para autoconsumo.....	11
3.1 Recolha de dados .....	11
3.2 Escolha dos Módulos .....	13
3.3 Escolha do Inversor.....	15
3.4 Sistema fotovoltaico.....	16
3.5 Dimensionamento da Inclinação Ideal.....	16
4 Construção Mecânica da Estrutura .....	19
4.1 Escolha dos Materiais .....	19
4.2 Construção das Peças.....	20
4.3 Resultados Obtidos .....	22
5 Análise de Viabilidade Económica do Sistema.....	37
5.1 Custos com Estrutura .....	37
5.2 Custos com Módulos.....	37
5.3 Custos com Inversor .....	38
5.4 Custos com Instalação.....	38

5.5	Custo Total do Sistema .....	38
5.6	Redução de Consumos Prevista .....	39
5.7	Rentabilidade .....	39
6	Conclusão .....	43
7	Referências bibliográficas .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Eletricidade Gerada em Portugal no ano 2016 (IEA,2017) .....	4
Figura 2.2: Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental (fevereiro 2019), (APREN, 2019) .....	5
Figura 2.3: Evolução da Energia Anual entregue à rede por tecnologia (GWh) (ERSE,2008) .6	
Figura 2.4: Exemplo de Estrutura de Parqueamento Fotovoltaico da Marca <i>Iziwalker</i> com Entrada de Veículos Paralela aos Módulos Fotovoltaicos (Catálogo <i>Iziwalker</i> , 2019).....	9
Figura 2.5: Exemplo de Várias Estruturas de Parqueamento Fotovoltaico da Marca <i>Iziwalker</i> com Entrada de Veículos Paralela aos Módulos Fotovoltaicos (Catálogo <i>Iziwalker</i> , 2019)....	10
Figura 3.1: Perfil de consumo elétrico diário da empresa durante o mês de Janeiro de 2016..	12
Figura 3.2: Módulo Fotovoltaico da marca <i>Jinko Solar</i> .....	13
Figura 3.3: Dimensões de cada módulo fotovoltaico (Ficha Técnica da marca <i>Jinko Solar</i> , modelo JKM265P-60) .....	14
Figura 3.4: Inversor SMA <i>Sunny Tripower 6kW</i> .....	15
Figura 3.5: Rendimento Energético do Sistema .....	17
Figura 3.6: Energia Autoconsumida na Instalação .....	18
Figura 3.7: Gráfico comparativo da energia elétrica excedente de ambas as direções em função do mês do ano .....	18
Figura 4.1: Imagem Ilustrativa do Pilar de Sustentação Vertical .....	20
Figura 4.2: Imagem Ilustrativa da Viga de Sustentação Horizontal .....	21
Figura 4.3: Imagem Ilustrativa de um dos Pilares Secundários de Fixação .....	21
Figura 4.4: Imagem Ilustrativa da Barra de Suporte “U” .....	21
Figura 4.5: Imagem Ilustrativa de um do Perfil de Fixação dos Módulos Fotovoltaicos.....	21
Figura 4.6: Imagem Ilustrativa do Casquilho .....	22
Figura 4.7: Imagem Ilustrativa da Estrutura Final .....	22
Figura 4.8: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos .....	23
Figura 4.9: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos .....	24
Figura 4.10: Imagem Ilustrativa da malha no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos ....	24
Figura 4.11: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos .....	24
Figura 4.12: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos .....	25
Figura 4.13: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira na barra de suporte “U” .....	25
Figura 4.14: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças na barra de suporte “U” .....	26
Figura 4.15: Imagem Ilustrativa da malha na barra de suporte “U” .....	26
Figura 4.16: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises na barra de suporte “U” .....	27
Figura 4.17: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento na barra de suporte “U” .....	27
Figura 4.18: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira nos pilares secundários de fixação .....	28

Figura 4.19: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças nos pilares secundários de fixação..	28
Figura 4.20: Imagem Ilustrativa da malha nos pilares secundários de fixação .....	29
Figura 4.21: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises em dois pilares secundários de fixação .....	29
Figura 4.22: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises em dois pilares secundários de fixação .....	30
Figura 4.23: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento nos pilares secundários de fixação .....	30
Figura 4.24: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira na viga de sustentação horizontal .....	31
Figura 4.25: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças na viga de sustentação horizontal ...	31
Figura 4.26: Imagem Ilustrativa da malha na viga de sustentação horizontal.....	32
Figura 4.27: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises na viga de sustentação horizontal.....	32
Figura 4.28: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento na viga de sustentação horizontal .....	33
Figura 4.29: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira no pilar de sustentação vertical ..	33
Figura 4.30: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças no pilar de sustentação vertical .....	34
Figura 4.31: Imagem Ilustrativa da malha no pilar de sustentação vertical .....	34
Figura 4.32: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises no pilar de sustentação vertical.....	35
Figura 4.33: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento no pilar de sustentação vertical .....	35

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1: Características mecânicas do painel fotovoltaico. Adaptado de Ficha Técnica da marca <i>Jinko Solar</i> , modelo JKM265P-60.....	13
Quadro 3.2: Características elétricas do painel fotovoltaico. Adaptado de Ficha Técnica da marca <i>Jinko Solar</i> , modelo JKM265P-60.....	14
Quadro 3.3: Características Elétricas de Entrada do Inversor. Adaptado de Ficha Técnica da marca SMA, modelo <i>Sunny Tripower 6.0</i> .....	15
Quadro 3.4: Características Elétricas de Saída do Inversor. Adaptado de Ficha Técnica da marca SMA, modelo <i>Sunny Tripower 6.0</i> .....	16
Quadro 3.5: Quota de autoconsumo e taxa de autonomia para as duas orientações com diferentes inclinações .....	17
Quadro 4.1: Principais Características do Aço Galvanizado – Adaptado de “Solidworks”.....	19
Quadro 4.2: Principais Características da Liga de Alumínio AW-6063 T5 - Adaptado de “Solidworks” .....	20
Quadro 4.3: Quadro Resumo das Quantidades e Pesos das Peças Utilizadas na Estrutura.....	23
Quadro 5.1: Custo das várias peças que constituem a estrutura .....	37
Quadro 5.2: Custo da instalação dos vários componentes.....	38
Quadro 5.3: Custo Total do Sistema.....	39
Quadro 5.4: Dados de energia elétrica obtidos na simulação.....	39
Quadro 5.5: Valores utilizados no cálculo da rentabilidade .....	39
Quadro 5.6: dados de produção de eletricidade do sistema fotovoltaico ao longo dos anos....	40
Quadro 5.7: Análise da rentabilidade do sistema a 25 anos .....	41



## UNIDADES

N – Unidade de Força, Newton

V – Unidade de Tensão, Volt

A – Unidade de Corrente, Ampere

Hz – Unidade de Frequência, Hertz

W – Unidade de Potência, Watt

Wp – Unidade de Potência Máxima, Watt Pico

kWh – Unidade de Energia, Quilowatt-hora

kg – Unidade de Peso, Quilograma

Mt – Unidade de Peso equivalente a 1000 Toneladas

Bcm – Unidade de Volume equivalente  $2 \times 10^9$  metros cúbicos

m<sup>2</sup> – Unidade de Área, Metro Quadrado

mm<sup>2</sup> - Unidade de Área, Milímetro Quadrado

m<sup>3</sup> – Unidade de Volume, Metro Cúbico

h – Unidade de Tempo, Hora

€ - Unidade de Moeda, Euro

m/s<sup>2</sup> – Unidade de Aceleração

MPa – Unidade de Pressão equivalente a  $1 \times 10^6$  Pascal



## ABREVIATURAS

CUR	Comercializador de Último Recurso
FER	Fontes de Energias Renováveis
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
UPP	Unidades de Pequena Produção
IEA	<i>International Energy Agency</i>
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
PRE	Produção em Regime Especial
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
EU	<i>European Union</i> (União Europeia)
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
VAL	Valor Atual Líquido
DC	Corrente Contínua
AC	Corrente Alternada
Hp	Horas de Ponta
Hc	Horas de Cheia



# 1 INTRODUÇÃO

A eletricidade representa um papel fundamental no desempenho da sociedade em geral e com grande impacto financeiro no desenvolvimento empresarial. Com os problemas associados ao consumo de combustíveis fósseis, desde a sua escassez, as variações dos preços, o serem provenientes de países problemáticos com instabilidade política aos efeitos nefastos para o meio ambiente da sua queima, as energias renováveis têm assumido um papel cada vez mais importante na economia, na diminuição da dependência energética e na proteção do meio ambiente.

Uma das fontes de energia renovável com maior crescimento nos últimos anos, em Portugal, foi a energia fotovoltaica. Em 2008, existiam 62MW de potência instalada e em 2016 já existiam 467MW. Neste período a produção de energia fotovoltaica cresceu de 41 GWh para 816 GWh (DGEG, 2016).

Nos últimos anos este crescimento deixou de estar centralizado em grandes centrais de produção fotovoltaica e passou a haver uma aposta na pequena produção descentralizada. Esta modalidade só passou a ter alguma expressão com a aprovação do Decreto-Lei 363/2007, que veio simplificar o regime de licenciamento existente para microprodução e mais tarde para uma escala superior, designada de miniprodução (DL 34/2011). No entanto, até 2014, toda a eletricidade produzida era vendida à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). A partir de 2014, com a aprovação do Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de Outubro, a pequena produção direcionou-se maioritariamente para a produção de energia fotovoltaica para autoconsumo permitindo a empresas e particulares produzir eletricidade para consumir instantaneamente.

Em 2020, prevê-se que a capacidade instalada de produção de energia fotovoltaica atinja valores próximos de 1200MW. Este aumento de capacidade pode ser efetivado com a instalação de módulos fotovoltaicos em zonas sem outro aproveitamento como telhados, terrenos não cultivados ou para sombreamento em parques de estacionamento. Instalação de módulos fotovoltaicos em telhados e terrenos já está implementada há bastante tempo enquanto que, a instalação em coberturas de estacionamento, não é tão usual. Apesar de existirem diversas soluções de estacionamento fotovoltaico no mercado, a sua versatilidade é limitada, não sendo possíveis de instalar em certos locais, e estão sobretudo direcionadas para maximizar a produção elétrica no pico solar (entre as 12h e as 14h), em que para as empresas com paragem para almoço, corresponde a um período de menor consumo de eletricidade.

Pelas razões apresentadas, considerou-se necessário estudar e propor uma solução de estacionamento fotovoltaico alternativa às existentes no mercado, para ultrapassar algumas das limitações existentes e assim, contribuir para um maior aproveitamento de espaços com potencial para instalação de sistemas fotovoltaicos.

## 1.1 Objetivos do trabalho

Os principais objetivos deste projeto serão a construção de uma estrutura de estacionamento que permita suportar módulos fotovoltaicos para produção de energia elétrica para autoconsumo, possibilitando assim a existência de mais uma solução deste tipo de tecnologia. Também é objetivo otimizar esta estrutura de forma a encontrar a inclinação ideal dos módulos fotovoltaicos. Por fim, este projeto tem o objetivo de juntar estas duas soluções para ter uma estrutura que para além de servir de proteção de veículos às condições atmosféricas, seja uma fonte de produção de energia elétrica e permita reduzir os custos com a fatura energética das empresas.

Para dar resposta a estes objetivos serão utilizadas ferramentas de cálculo para otimizar a solução. Para a construção mecânica da estrutura será utilizado o *software* de cálculo automático “*Solidworks*”. Com este *software* serão desenhadas e dimensionadas todas as peças que constituem a estrutura de forma a torná-la flexível para ser facilmente montada e desmontada e suficientemente robusta para suportar as cargas a que estará sujeita, nomeadamente o seu próprio peso e o peso dos módulos fotovoltaicos. Para a otimização da inclinação da estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos será utilizado o *software* “*Sunny Design*”. Este *software* permite calcular a produção de energia elétrica ao longo do ano e em função da direção e inclinação dos módulos fotovoltaicos. A descrição do funcionamento deste *software* e as suas mais valias serão descritas num dos capítulos deste relatório.

Os resultados obtidos neste projeto serão descritos em pormenor nos capítulos seguintes deste relatório onde, para além de enquadrar o tema do projeto, serão descritos todos os passos que levaram à escolha da estrutura de estacionamento, o dimensionamento das peças que constituem a estrutura, o cálculo da energia produzida pelos módulos fotovoltaicos e a otimização da sua inclinação, o estudo da viabilidade económica do sistema e as suas mais valias.

## 2 ESTADO DA ARTE

Este capítulo tem por objetivo apresentar o panorama das energias renováveis em Portugal e as metas a serem alcançadas, com principal ênfase na produção de eletricidade solar fotovoltaica e seu enquadramento legal. São também referidos alguns dos *softwares* utilizados para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Por outro lado, e como o principal objetivo deste trabalho é o dimensionamento de uma estrutura com integração de painéis fotovoltaicos para sombreamento de parques de estacionamento, são também apresentadas, neste capítulo, algumas das soluções de coberturas fotovoltaicas já existentes no mercado.

### 2.1 Panorama Energético Português - As Energias Renováveis em Portugal

A energia, seja térmica ou elétrica, é essencial nos dias que correm para qualquer atividade e varia o seu consumo e produção de acordo com as variações populacionais. Em Portugal, o panorama energético tem evoluído com maior ou menor intensidade ao longo dos anos, acompanhando as tendências mundiais.

A União Europeia tem traçado metas e estratégias para potenciar a produção de energia por via de fontes renováveis. Uma destas estratégias é conhecida como “Objetivo 20/20/20” e passará por reduzir as emissões de gases com efeitos de estufa em 20% em relação aos níveis de 1990 até ao ano 2020, aumentar para 20% a percentagem de energias renováveis no consumo energético final e aumentar 20% a eficiência energética na produção de energia. Por sua vez, Portugal estabeleceu um objetivo até 2020 de ter uma percentagem de 31% de energias renováveis no consumo final bruto de energia, incluindo as seguintes contribuições setoriais, 60% de FER na produção de eletricidade, 35,9% de FER na produção de energia térmica e 11,3% no consumo de energia dos transportes.

Portugal assumiu em 2016 o objetivo de atingir a neutralidade carbónica até 2050, ou seja, alcançar um balanço neutro entre as emissões de gases de efeito de estufa e o sequestro de carbono. Para isso, será necessária uma redução superior a 85% em relação às emissões de 2005.

Em 2016, segundo dados da IEA (*International Energy Agency*), Portugal contava com um consumo elétrico *per capita* de 4,85MWh. Este valor representava pouco mais de metade da média de consumo dos 30 países membros da IEA que era de 8,69MWh (IEA, 2017).

Nesse ano, Portugal atingiu também uma produção de eletricidade via fontes renováveis de 52% (Figura 2.1), bem acima da média dos países membros da União Europeia que ficou pelos 24%, produzindo um total de eletricidade de 56,6TWh (IEA, 2017).

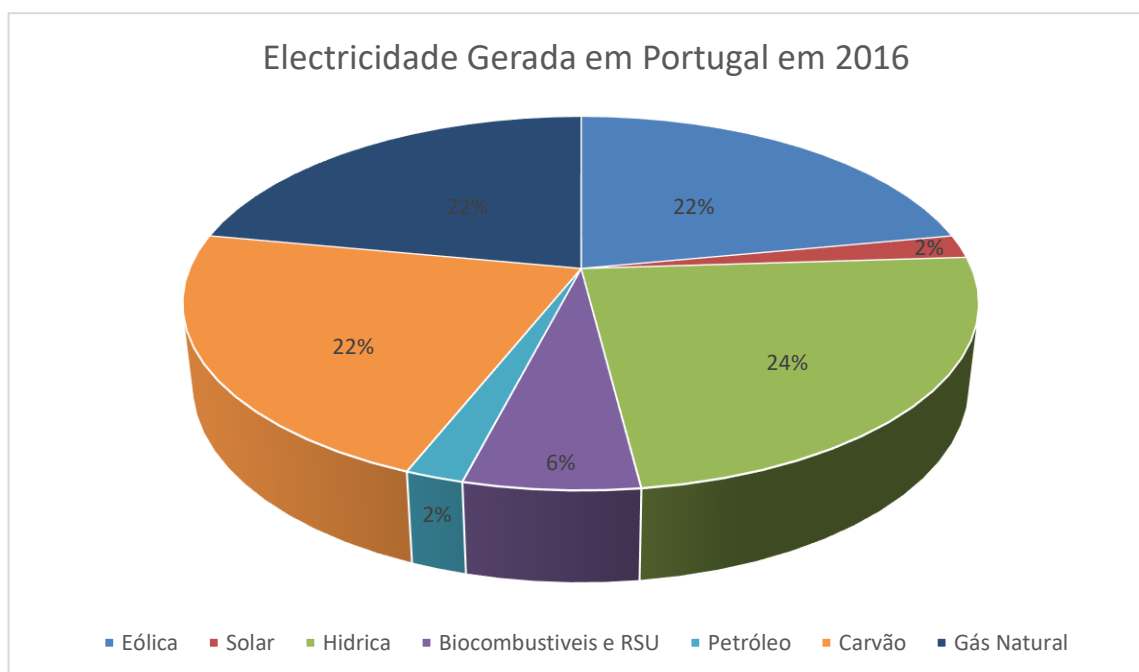


Figura 2.1: Eletricidade Gerada em Portugal no ano 2016 (IEA,2017)

A produção de energia elétrica por via de fontes renováveis é muito inconstante uma vez que está dependente da meteorologia. Se por um lado, em anos secos, a produção de energia solar fotovoltaica aumenta, por outro a produção hídrica diminui. Nesta situação, observa-se uma redução da produção de energia renovável em geral, uma vez que as fontes hídricas representam a maior parcela de produção renovável.

Em Portugal, no ano 2017, a potência instalada em fontes hídricas era superior a 50% do total instalado em fontes renováveis com 7.099MW instalados. Segue-se a energia eólica com 5.313 MW, a biomassa com 580MW e a energia solar fotovoltaica com 569MW instalados (DGEG, 2018). No que diz respeito à distribuição geográfica das instalações de produção de energias renováveis, é na região Norte e Centro de Portugal que se encontra 87% da potência instalada com 7.641MW e 4.080MW, respetivamente (DGEG, 2018).

A potência instalada em fontes de energia renovável tem vindo a crescer significativamente nos últimos anos com especial destaque para a solar fotovoltaica que teve o maior crescimento relativo com uma potência instalada em 2017 cinco vezes superior ao ano de 2009 (passou de 110MW instalados para 569MW instalados). Apesar disso, a fonte com maior crescimento efetivo foi a hídrica com um crescimento entre 2009 e 2017 de 2,2GW de potência instalada (DGEG, 2018).

Em 2017, Portugal tinha instalado em todo o território continental e ilhas, uma potência de 13.773MW que permitiu uma produção de energia elétrica por fonte renovável de 24.108MWh (DGEG, 2018). Em março de 2018, a eletricidade de origem renovável produzida em Portugal Continental (4.812 GWh), foi superior ao consumo (4.647 GWh). Este valor representou 103,6% do consumo elétrico nacional (APREN, 2018).

Em fevereiro de 2019, as fontes de energia renovável representavam 56,04% do mix de produção de eletricidade em Portugal Continental (Figura 2.2), correspondente à produção de 4.688 GWh de energia elétrica, num total de 8.361 GWh (APREN, 2019).

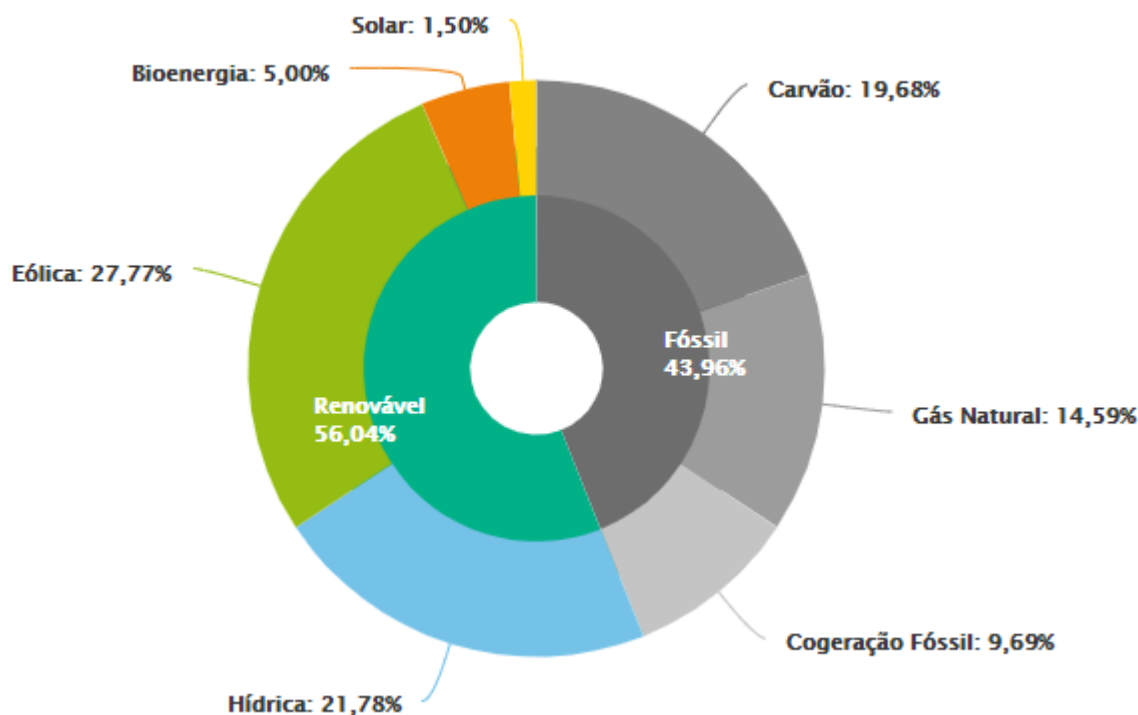


Figura 2.2: Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental (fevereiro 2019), (APREN, 2019)

De salientar que a contribuição da energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade é ainda pouco significativa, fruto da baixa capacidade instalada quando comparada com as outras FER.

Os objetivos traçados pela União Europeia para o sector energético podem ser um grande incentivo à produção de energia fotovoltaica uma vez que este objetivo propõe que em 2020, 20% da energia seja produzida por fonte renovável e em 2030 este valor suba para os 27%. O objetivo quanto à interligação elétrica também pode ser bastante importante. Neste caso, a UE tem como objetivo que 15% da eletricidade produzida pela UE possa ser transferida entre países membros. Portugal, com uma exposição solar bastante superior a outros países da UE pode aproveitar para exportar energia em alturas que outras produções renováveis se encontrem em baixa (União Europeia, 2018).

O Plano Nacional Energia e Clima (PNEC) 2030 estabelece medidas para atingir metas no que diz respeito à descarbonização, à eficiência energética, à segurança energética, ao mercado energético interno, à investigação, inovação e competitividade. Para atingir os objetivos definidos contribuirá a aposta nas energias renováveis cuja meta é incorporar 47% no consumo final de energia em 2030. A redução de gases de efeito de estufa em 45% a 55% e a melhoria da eficiência energética na produção de energia para 35% são outras duas metas deste plano.

O PENC 2030 define objetivos ambiciosos em relação aos anos anteriores, sobretudo no que diz respeito à Energia Solar prevendo que  $\frac{1}{4}$  da energia renovável produzida provenha desta fonte com uma potência instalada entre 8,1 e 9,9 GW me 2030. Desta forma, a energia solar passará a representar entre 31% e 35% da capacidade instalada com base renovável.

## 2.2 Regulamentação da Tecnologia Solar Fotovoltaica – Evolução do Enquadramento Legal

Ao longo dos anos o enquadramento legal da energia solar fotovoltaica tem sofrido diversas alterações influenciadas por diferentes fatores como a evolução da tecnologia, dependência energética ou até influências políticas.

A legislação da produção de energia através de fontes renováveis remonta à década de 80, estabelecida no Decreto-Lei nº189/88 de 27 de maio. Em 2001, com a aprovação do Decreto-Lei nº 339-C/2001 de 29 de dezembro, surge a primeira diferenciação do prémio atribuído a Produtores em Regime Especial (PRE), consoante a tecnologia utilizada e o regime de exploração, onde se incluía a energia fotovoltaica.

Em 2002, com o Decreto-Lei nº68/2002, foi regulada a microprodução de eletricidade, que permitia a um consumidor de energia em baixa tensão, utilizar equipamentos de pequena escala para produção de eletricidade e entrega à rede pública. No entanto, as medidas decretadas não foram suficientes para atingir as metas definidas e o número de sistemas de microgeração com licenciamento não tinham qualquer expressão até 2005. Apenas depois da aprovação do Decreto-Lei nº 33A/2005 que visava a atualização dos valores de remuneração de energia elétrica por via renovável, e do Decreto-Lei 363/2007 que simplificava o regime de licenciamento existente, é que se verifica um aumento da produção elétrica entregue à rede com base na tecnologia fotovoltaica (ERSE, 2008) - Figura 2.3.

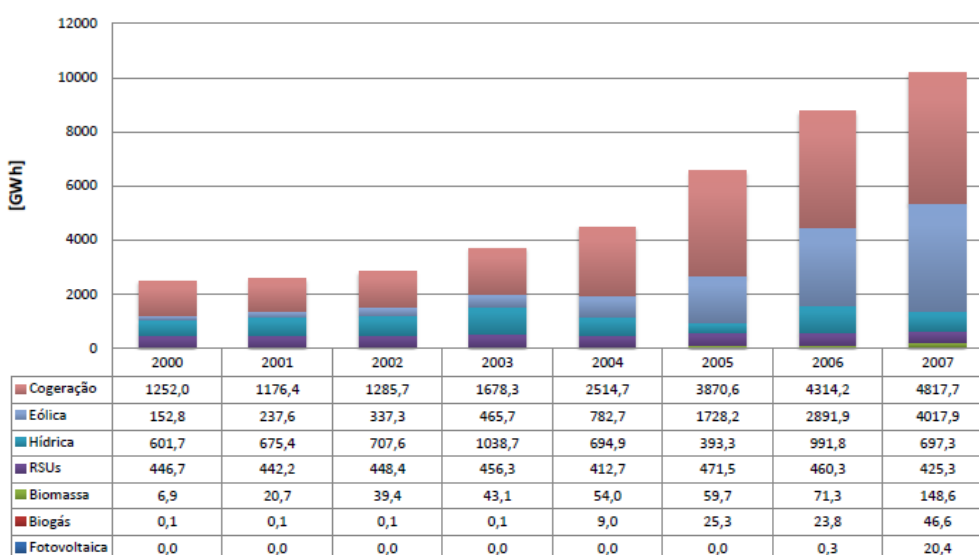


Figura 2.3: Evolução da Energia Anual entregue à rede por tecnologia (GWh) (ERSE,2008)

Até 2013 estes regimes não iriam sofrer alterações profundas baseando-se essencialmente no aumento das quotas de produção, na potência instalada, na introdução da Miniprodução (Decreto-Lei nº 118A/2010) e nas tarifas aplicadas à venda de eletricidade à RESP (Decreto-Lei nº 34/2011, Portaria nº 284/211, nº430/2012 e nº 431/2012). No entanto, as tarifas de venda à RESP diminuíram mais do que inicialmente previsto por imposição do governo, devido à conjuntura económica do país, tendo-se tornado cada vez menos apelativo para novos possíveis investidores.

Surge, então, o Decreto-Lei nº 153/2014 de 20 de Outubro, que permitia a qualquer consumidor produzir eletricidade. Com a entrada em vigor deste Decreto-Lei, o panorama das instalações fotovoltaicas em Portugal alterou-se. Deixou-se de produzir energia elétrica exclusivamente para vender ao comercializador de último recurso (CUR) para se abrir a possibilidade de consumir diretamente na instalação consumidora de energia elétrica a energia produzida pela instalação fotovoltaica. Desta forma surgem dois conceitos de unidades de produção: Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) e são Unidades de Pequena Produção (UPP).

As UPAC são Unidades de Produção para Autoconsumo e, como o nome indica, são instalações que permitem que a produção do sistema fotovoltaico seja consumida diretamente no ponto de ligação. Este conceito apresenta duas modalidades: produção exclusivamente para autoconsumo e produção para autoconsumo com venda do excedente à rede. Em ambos os casos, a única limitação legal à potência a instalar é de que esta não pode ser superior ou igual à potência contratada no local de consumo. Nas UPAC a produção local de energia elétrica não tem que ser obrigatoriamente de origem renovável.

As UPP são Unidades de Pequena Produção. Neste modelo, toda a energia produzida no sistema fotovoltaico é vendida à rede elétrica. A tarifa de referência de venda à RESP tem-se mantido constante desde 2014, que é de €/ kWh, embora esse valor seja publicado todos os anos em portaria. Existem bonificações adicionais na tarifa de venda à RESP para uma instalação com tomada de veículos elétricos ou com um coletor solar térmico de, no mínimo, 2m<sup>2</sup> de área útil. Neste conceito existem várias limitações legais: a potência instalada não pode ser superior à potência contratada no local de consumo até um limite máximo de 250kW, a energia consumida na instalação de consumo deve ser igual ou superior a 50% da energia produzida e existe uma quota anual de instalações inferior ou igual a 20MW.

Este Decreto-Lei vigora até aos dias de hoje tendo apenas sido complementado pela Portaria nº 15/2015 e nº 20/2017 para definir as tarifas de referência para UPP.

Os incentivos criados pela legislação, desde 2007, foram impulsionadores da instalação da tecnologia solar fotovoltaica em pequena e mini escala, tendo contribuído para um aumento significativo da capacidade instalada e para dinamização do mercado, o que contribuiu para uma redução significativa do custo da tecnologia nos últimos anos.

De 2008 (altura da consolidação dos incentivos à produção descentralizada – Microgeração) a 2015, a taxa média de crescimento anual desta produção foi de 68%, sendo que a produção fotovoltaica apresenta a maior expressão em relação a outras fontes renováveis (DGEG, 2015).

Em 2016, a produção descentralizada de energia fotovoltaica totalizava 270.665 MWh. Em 2017, ano em que começam a ser contabilizadas as produções em instalações fotovoltaicas ao

abrigo do Decreto-Lei nº153/2014, a produção descentralizada de energia fotovoltaica atinge os 370.633 MWh. Neste ano, as instalações de Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) e as Unidades de Pequena Produção (UPP), totalizavam já 88.428kW de potência instalada (DGEG, 2018).

### 2.3 Ferramentas para Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos

O dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, tanto para UPP como para UPAC, depende de diversos fatores que, conjugados, são aplicados em *softwares* que permitem relacionar todos os dados obtendo informações sobre o número de módulos fotovoltaicos, de inversores, a produção de energia elétrica conseguida com o sistema entre muitas outras informações.

Um dos *softwares* mais conhecidos e utilizados por arquitetos e engenheiros é o *PVSYST*. Desenvolvido na cidade de Genebra é um dos mais antigos e completos *softwares* de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Permite o desenho completo de instalações fotovoltaicas, associando dados completos de módulos fotovoltaicos, inversores e dados meteorológicos. Permite simular sombreamentos através de uma aplicação 3D e obter avaliações económicas da instalação (Tutorial *PVSYST*,2019).

Existem muitos outros simuladores como, por exemplo, o *PVSOL*, o *POLYSUN* ou o *Archelios*. Todos estes *softwares* têm licenças pagas podendo estas licenças variar o preço consoante as funcionalidades pretendidas.

Neste projeto foi utilizado o *software* de dimensionamento *Sunny Design*. Para além, de se tratar de um *software* gratuito e de ser o *software* utilizado pelo autor em ambiente de trabalho, apresenta um conjunto de vantagens, relativamente a outras ferramentas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos gratuitas, que se descrevem de seguida.

O *Sunny Design* é um *software* de dimensionamento fotovoltaico bastante simples, com uma interface intuitiva e prática. Foi desenvolvido pela conceituada marca de inversores *SMA Solar Technology AG* e permite relacionar os dados de consumo de qualquer instalação através do *upload* dos diagramas de carga anuais (35040 leituras com intervalos de 15 minutos) retirados do portal da empresa distribuidora de energia elétrica (EDP Distribuição). É dos poucos *softwares* existentes que permite esta facilidade de inserção de consumos automaticamente uma vez que, por norma, os *softwares* existentes, apenas permitem inserir valores na própria aplicação. Este *software* tem uma base de dados rica em modelos de módulos fotovoltaicos o que permite ao utilizador escolher uma vasta gama de fabricantes. Outra das mais valias do *Sunny Design* é a possibilidade de simular instalações ligadas à rede em regime de UPP, em regime de UPAC, instalações isoladas ou até instalações híbridas e permite obter uma série de resultados bastante completos. No caso das instalações UPAC, estudadas neste projeto, permite obter a energia produzida pelo sistema fotovoltaico, a energia que é autoconsumida na instalação ao longo do ano e a energia excedente. Permite saber o rendimento energético do sistema, a taxa de autonomia da instalação e a sua rentabilidade. Por fim, o *Sunny Design* também permite dimensionar os cabos de ligação tanto AC como CC e calcular as perdas em cada um dos casos em função da secção e da distância dos cabos (Tutorial *Sunny Design*,2019)

Apesar de todas as vantagens apresentadas o *Sunny Design* também tem desvantagens. Uma destas desvantagens é ter apenas pré-definidos dados meteorológicos de três cidades Portuguesas: Porto, Lisboa e Faro. Também não permite obter simulações 3D das instalações. Uma das maiores desvantagens deve-se ao facto de ser um *software* criado por uma marca de inversores pelo que, nestes equipamentos, está limitado a simulações apenas com inversores SMA não estando disponíveis inversores de outras marcas.

No rácio entre vantagens e desvantagens, conclui-se que o *Sunny Design* é uma ferramenta bastante útil e fiável que permite obter resultados fidedignos de instalações solares fotovoltaicas.

## 2.4 Sistemas de Parqueamentos Fotovoltaicos Existentes no Mercado

O mercado das coberturas fotovoltaicas não é recente e existem diversas soluções. Desde coberturas pré-fabricas para pavilhões com módulos fotovoltaicos integrados, coberturas para equipamentos ou estações de serviço, até às coberturas de estacionamento com módulos fotovoltaicos.

No que diz respeito a coberturas de estacionamento com módulos fotovoltaicos existem no mercado marcas com estruturas pré-fabricadas como é o caso da *Iziwalker*, da *Solius*, da *Constalica* ou da *Circuitor*. Estas marcas apresentam diversas alternativas de estruturas para estacionamento fotovoltaico com soluções modulares e versáteis. No entanto, todas as soluções existentes no mercado são fabricadas para permitirem que o estacionamento seja paralelo ao módulo fotovoltaico como é apresentado na Figura 2.4 ou na Figura 2.5.



Figura 2.4: Exemplo de Estrutura de Estacionamento Fotovoltaico da Marca *Iziwalker* com Entrada de Veículos Paralela aos Módulos Fotovoltaicos (Adaptado do Catálogo *Iziwalker*, 2019).

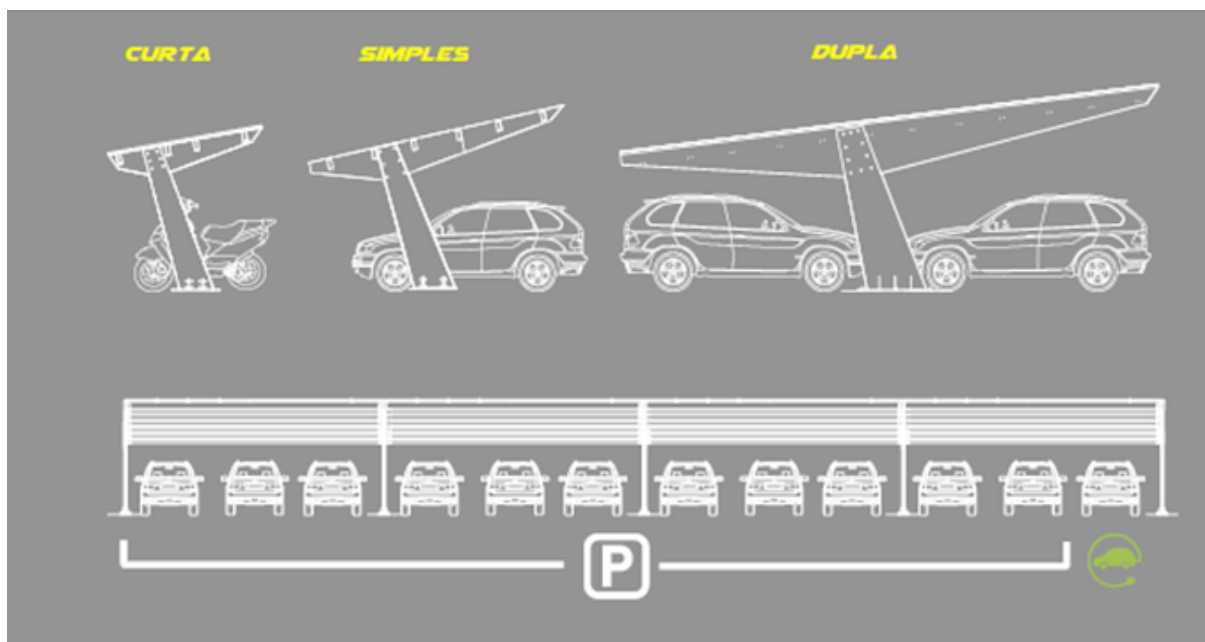


Figura 2.5: Exemplo de Várias Estruturas de Estacionamento Fotovoltaico da Marca *Iziwalker* com Entrada de Veículos Paralela aos Módulos Fotovoltaicos (Catálogo *Iziwalker*, 2019).

Estas soluções, em situações onde se pretenda que os módulos fotovoltaicos estejam orientados a Este e Oeste, e a entrada do estacionamento seja pelo lado Norte ou Sul, não é viável. Por isso, neste projeto, pretende-se criar uma alternativa a estas marcas e a estes modelos com uma estrutura que permita ter estacionamentos perpendiculares aos módulos fotovoltaicos. Desta forma, em situações de espaço lateral limitado, é possível estacionar por baixo de uma estrutura de estacionamento sem alterar a direção dos módulos fotovoltaicos.

### 3 ESTUDO DE ESTRUTURA DE PARQUEAMENTO COM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COM OTIMIZAÇÃO PARA AUTOCONSUMO

Para a escolha da estrutura de estacionamento começou por se definir o número de lugares a albergar. Definiu-se uma estrutura para três lugares de estacionamento com dimensões superiores ao convencional. Desta forma, definiu-se que cada lugar teria 2,60m de largura e 4,90m de comprimento coberto.

Estas dimensões da estrutura levaram à escolha do número de módulos fotovoltaicos a instalar na cobertura que, com estas medidas, são 24 módulos. Uma vez que o tamanho dos módulos não apresenta uma grande variação ao longo dos anos é possível utilizar esta estrutura com a maioria dos módulos fotovoltaicos produzidos, sendo que a única alteração será na potência total instalada. Neste projeto foram considerados módulos fotovoltaicos de 265Wp mas é possível usar qualquer módulo com as medidas de 0.99 x 1.63 metros.

Como referido anteriormente, já existe no mercado oferta de estruturas de estacionamento com integração de módulos fotovoltaicos. No entanto, existem situações em que as soluções existentes não têm a versatilidade de instalação necessária para a sua integração em determinados espaços.

Neste capítulo pretende-se determinar qual inclinação ideal dos módulos fotovoltaicos para uma orientação Este/Oeste e comparar o efeito na produção fotovoltaica com uma estrutura com 30º de inclinação e orientada a Sul.

Neste capítulo pretende-se dimensionar o sistema fotovoltaico que vai ser aplicado tendo em consideração as dimensões inicialmente previstas para a estrutura, desde a escolha dos módulos fotovoltaicos, do inversor mais adequado até à determinação da inclinação dos módulos fotovoltaicos com uma orientação Este/Oeste para maximizar o autoconsumo da produção de eletricidade solar fotovoltaica.

#### 3.1 Recolha de dados

Para o dimensionamento e otimização deste projeto foi necessário recolher dados reais de forma a tornar fidedigno todo o estudo da instalação. Para isso, foram usados diagramas de carga elétricos de uma empresa real, com consumos de eletricidade entre Setembro de 2015 e Agosto de 2016.

Em seguida são apresentados alguns dados que permitem identificar um sector exemplificativo da aplicação da estrutura deste projeto:

**Localização:** Aveiro

**Horário Laboral Normal:** 8h-18:30h

**Pausa Almoço:** 12h-13:30h

**Sector de Atividade:** Metalomecânica

**Consumo de Eletricidade Anual:** 37.118 kWh

**Custo Médio de Energia Elétrica Consumida:** 0,1158 €/kWh

**Nível de Tensão:** Média Tensão

**Ciclo Faturação:** Semanal

O custo médio de energia elétrica consumida é calculado com base nas tarifas de horas de ponta e nas tarifas de horas de cheia uma vez que são os períodos em que o sistema fotovoltaico terá impacto no custo de energia da empresa.

Com base numa fatura de eletricidade da empresa estudada, verifica-se que, em horas de ponta, a tarifa praticada é de 0,122449 €/kWh para um consumo médio mensal de 627 kWh. Já em horas de cheia, a tarifa praticada é de 0,113336€/kWh para um consumo médio mensal de 1.714 kWh.

Utilizando a fórmula seguinte, é possível calcular custo médio de energia elétrica consumida.

$$\text{Custo Médio Eletricidade} = \frac{THp \times \text{Consumo Hp} + THc \times \text{Consumo Hc}}{\text{Consumo Hp} + \text{Consumo Hc}}$$

Em que, THp representa a Tarifa em Horas de Ponta e THc a Tarifa em Horas de Cheia.

Assim, o custo médio da Eletricidade é de 0,1158 €/kWh.

A Figura 3.1 representa, como exemplo, o perfil de consumo elétrico diário da empresa durante o mês de Janeiro de 2016.

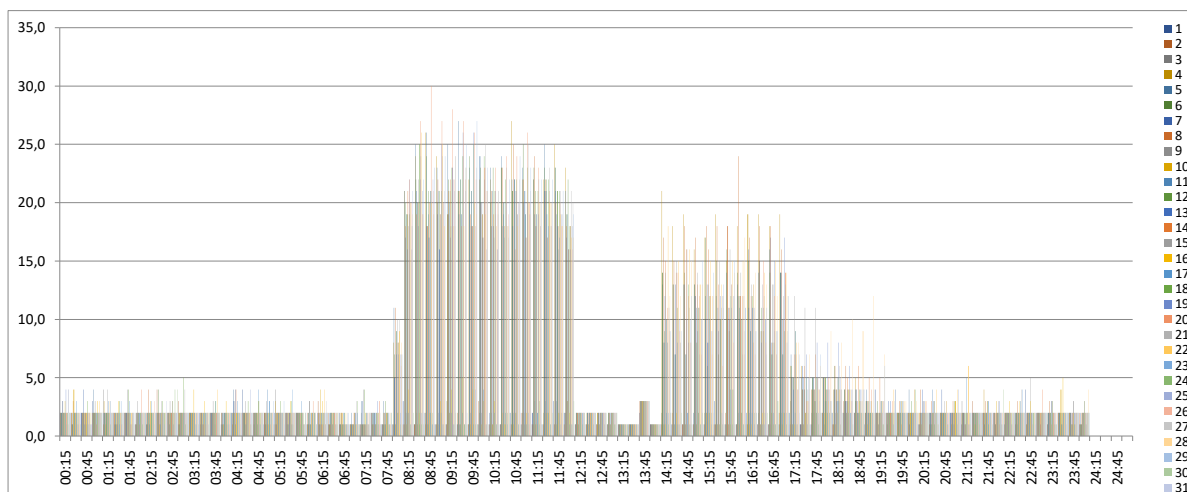


Figura 3.1: Perfil de consumo elétrico diário da empresa durante o mês de Janeiro de 2016

Verifica-se que, no período entre as 12:15h e as 14:00h há uma redução abrupta do consumo elétrico da empresa. Este facto deve-se ao horário de almoço dos trabalhadores que assim não utilizam os equipamentos de grande consumo elétrico.

### 3.2 Escolha dos Módulos

O principal critério utilizado para a escolha do tipo de painel fotovoltaico a aplicar na estrutura estudada foi o da melhor relação qualidade-preço. Da experiência adquirida em ambiente de trabalho e após diversas consultas de mercado optou-se por um módulo da marca *Jinko Solar* com 265Wp. Este módulo, modelo JKM265P-60, apresenta uma eficiência de 15,89% com células policristalinas. Um dos fatores para a escolha do módulo prendeu-se com a escolha de uma marca presente na lista “*Tier-One*”. Esta lista, organizada pela *Bloomberg* e que não tem qualquer relação com a qualidade dos módulos, classifica os fabricantes mundiais de módulos com base em fatores financeiros e quantidade de módulos produzidos. Desta forma, esta lista permite ter uma percepção da estabilidade financeira da marca e, de certa forma, uma garantia de continuidade de produção. Assim, a marca *Jinko*, por figurar constantemente no topo desta lista e por ter um dos melhores preços de mercado, foi a marca escolhida. A Figura 3.2 representa o módulo fotovoltaico da marca *Jinko Solar*.



Figura 3.2: Módulo Fotovoltaico da marca *Jinko Solar*

No Quadro 3.1 são apresentadas as características mecânicas dos módulos e no Quadro 3.2 são apresentadas as características elétricas.

Quadro 3.1: Características mecânicas do painel fotovoltaico. Adaptado de Ficha Técnica da marca *Jinko Solar*, modelo JKM265P-60

<b>Características Mecânicas</b>	
Tipo de Célula	Policristalina 156 x 156mm (6'')
Número de Células	60 (6 x 10)
Dimensões	1650 x 992 x 40 mm (65.00'' x 39.05'' x 1.57'')
Peso	19.0 kg (41.9 lbs)
Vidro Frontal	3.2mm, Alta Transmissão, Baixo em Ferro, Vidro Temperado
Moldura	Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	IP67
Cabos de Saída	TUV 1x4.0mm <sup>2</sup> , 900mm comprimento

Quadro 3.2: Características elétricas do painel fotovoltaico. Adaptado de Ficha Técnica da marca *Jinko Solar*, modelo JKM265P-60

Características Elétricas		
Modelo	JKM265P	
	STC	NOCT
Potência Máxima ( $P_{max}$ )	265Wp	197Wp
Máxima Tensão ( $V_{mp}$ )	31,4V	29,0V
Máxima Corrente ( $I_{mp}$ )	8,44A	6,78A
Tensão Circuito Aberto ( $V_{OC}$ )	38,6V	35,3V
Corrente Curto Circuito ( $I_{SC}$ )	9,03A	7,36A
Eficiência STC (%)	16,19%	
Temperatura de Funcionamento	-40°C~+85°C	
Tensão Máxima do Sistema	1000VDC (IEC)	
Máxima Corrente em Série	15A	
Tolerância de Potência	0~+3%	
Coeficiente de Temperatura em $P_{max}$	-0,41%/°C	
Coeficiente de Temperatura em $V_{OC}$	-0,31%/°C	
Coeficiente de Temperatura em $I_{SC}$	0,06%/°C	
Temperatura Nominal de Funcionamento da Célula	45+- 2°C	

Na Figura 2.1 são apresentadas as dimensões de cada módulo fotovoltaico.

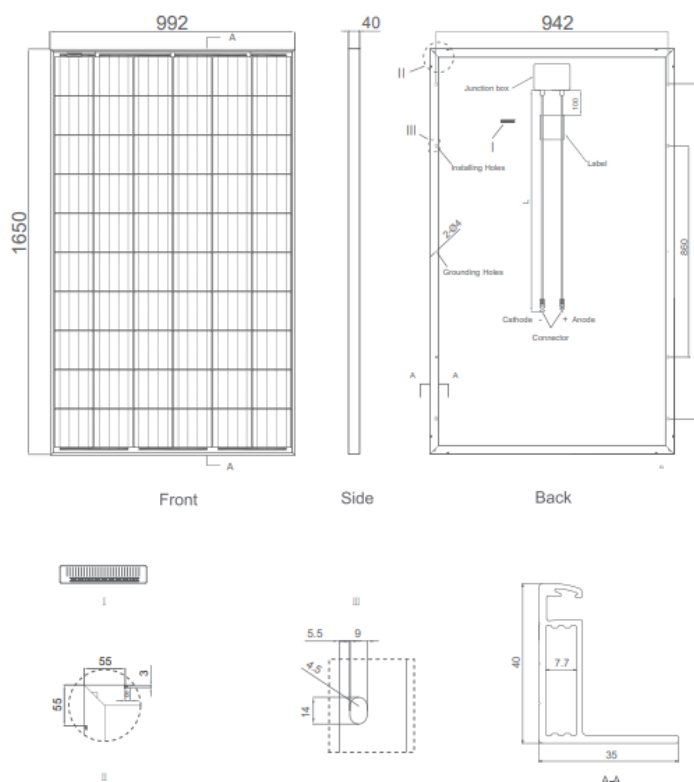


Figura 3.3: Dimensões de cada módulo fotovoltaico (Ficha Técnica da marca *Jinko Solar*, modelo JKM265P-60)

### 3.3 Escolha do Inversor

Sendo o inversor o “coração” de todo o sistema, optou-se por um equipamento de elevada qualidade, mas que tivesse um preço competitivo. Assim, a escolha recaiu sobre a marca SMA, por se tratar de uma das melhores marcas no mercado de inversores solares. As principais vantagens dos equipamentos SMA são a sua elevada eficiência e a sua versatilidade. No caso da aplicação neste projeto, o inversor escolhido tem uma potência nominal de saída de 6000W. Esta escolha deve-se ao facto de a potência pico da instalação ser de 6360Wp (24 módulos fotovoltaicos de 265Wp) Com uma eficiência de 97,6% o modelo SMA Sunny Tripower 6.0 permite a ligação de módulos até uma potência máxima de 9 kW DC.

A Figura 3.4 representa o inversor escolhido para este projeto.



Figura 3.4: Inversor SMA *Sunny Tripower* 6kW

As principais características elétricas de entrada e de saída são apresentadas no Quadro 3.3 e no Quadro 3.4.

Quadro 3.3: Características Elétricas de Entrada do Inversor. Adaptado de Ficha Técnica da marca SMA, modelo *Sunny Tripower* 6.0

<b>Características Elétricas de Entrada</b>	
Número de MPP	2
Corrente Máxima ( $I_{dc\ max}$ )	12 / 12 A
Máxima Corrente Curto Circuito (Matriz de Módulos)	18 / 18 A
Tensão Máxima de Entrada	800,0 V
Tensão Nominal de Entrada ( $U_{dc,r}$ )	580,0 V
Gama de Tensão MPP ( $U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$ )	260 – 800 V
Potência Máxima do Gerador Fotovoltaico ( $P_{dc\ max}$ )	9,0 kWp

Quadro 3.4: Características Elétricas de Saída do Inversor. Adaptado de Ficha Técnica da marca SMA, modelo *Sunny Tripower 6.0*

<b>Características Elétricas de Saída</b>	
Potência Nominal de Saída AC ( $P_{ac,r}$ )	6000,0 W
Potência Máxima de Saída ( $P_{ac,max}$ )	6000,0 VA
Corrente de Saída AC ( $I_{ac,nom}$ )	9,1 A
Ligação à Rede ( $U_{ac,r}$ )	3~NPE 400/230, 3~NPE 380/220 V
Gama de Tensão AC	180 -280 V
Frequência ( $f_r$ )	50 / 60 Hz
Gama de Frequências	45 – 65 Hz
Fator de Potência ( $\cos \theta_{ac,r}$ )	0,88 – 1 ind./cap.

### 3.4 Sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico aplicado nesta estrutura será composto por 24 módulos sobrepostos perpendicularmente ao perfil de fixação. Destes 24 módulos, 12 serão colocados na estrutura com direção Oeste e os restantes 12 na estrutura com direção Este.

Quanto às ligações elétricas, serão criadas duas matrizes de 12 módulos em série. Cada matriz será então ligada ao inversor.

### 3.5 Dimensionamento da Inclinação Ideal

Neste projeto, pretende-se otimizar a produção de energia elétrica numa estrutura de parqueamento com módulos fotovoltaicos para autoconsumo numa empresa de laboração a um turno diurno e paragem para almoço. Com base nos dados recolhidos anteriormente, nomeadamente os diagramas de carga possível de instalar na estrutura com as dimensões previamente definidas, simulou-se no *software* de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos *Sunny Design*, o impacto desta instalação nos consumos de energia elétrica da empresa. Com uma potência pico definida de 6360 Wp e considerando as variações de um consumo anual de eletricidade de 37.118 kWh, simularam-se diversas inclinações com a direção fixa Este/Oeste e comparou-se com as simulações da mesma potência com diferentes inclinações com a direção fixa a Sul.

Dada a limitação do *software* na escolha da localização da instalação e uma vez que a empresa se situa em Aveiro, escolheu-se como localização de estudo a cidade do Porto uma vez que é a cidade mais próxima pré-definida no *Sunny Design*.

Os resultados para as duas orientações com diferentes inclinações são apresentados no Quadro 3.5.

Quadro 3.5: Quota de autoconsumo e taxa de autonomia para as duas orientações com diferentes inclinações

Pdc [Wp]	Pac [Wp]	Inclinação [°]	Direção	Rendimento Energético [kWh] * <sub>1</sub>	Quota Autoconsumo [%] * <sub>2</sub>	Taxa Autonomia [%] * <sub>3</sub>
6360	6000	3	Oeste	8691	76,7	18
			Este			
		4	Oeste	8687	76,7	18
			Este			
		5	Oeste	8680	76,7	18
			Este			
		6	Oeste	8672	76,8	17,9
			Este			
		7	Oeste	8663	76,8	17,9
			Este			
6360	6000	25	Sul	9757	74	19,4
		30	Sul	9780	73,8	19,4
		35	Sul	9742	73,8	19,4

\*1 – Produção Fotovoltaica

\*2 – Percentagem de energia produzida que é autoconsumida

\*3 – Percentagem de Redução de Consumo da Rede

Pdc – Potência Pico Instalada (DC) no sistema fotovoltaico

Pac – Potência de Ligação (AC) do Inversor

Com base nos resultados obtidos, optou-se pela inclinação de 5° para a estrutura com orientação Este/Oeste. Em percentagem, os resultados são idênticos aos de inclinação de 4° e 3°, mas a inclinação de 5° apresenta vantagens relativamente à limpeza e escoamento da água da chuva. A inclinação de 5° impede a deposição da água da chuva que, depois de secar, deixa depósitos de sujidade que reduzem a produção fotovoltaica.

Na Figura 3.5 é apresentado o rendimento energético do sistema com uma inclinação de 5° e na Figura 3.6 é apresentada a energia autoconsumida na instalação nos diferentes meses do ano.

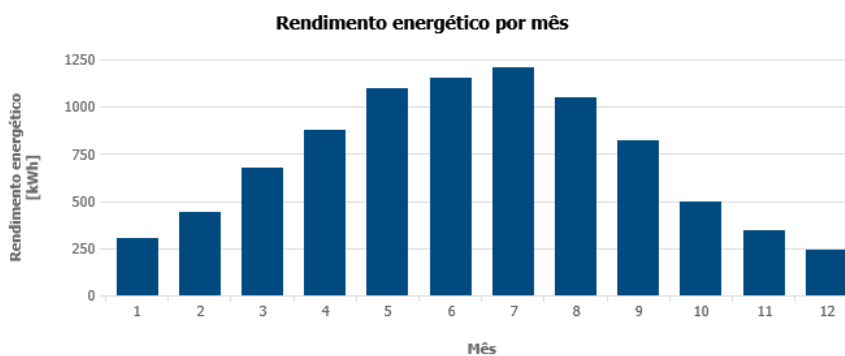


Figura 3.5: Rendimento Energético do Sistema

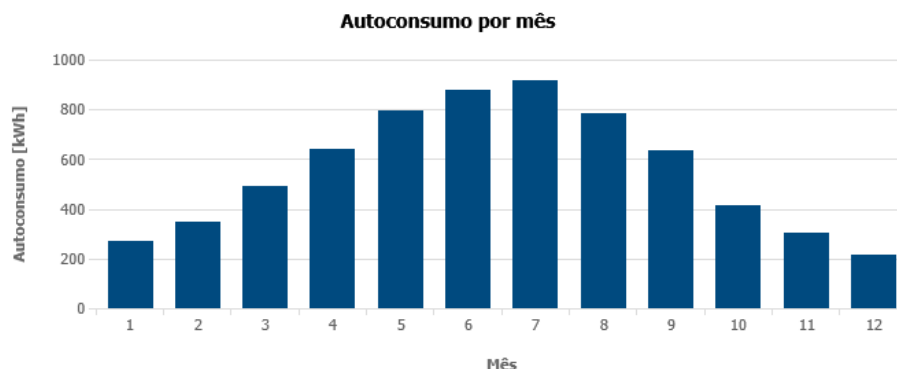


Figura 3.6: Energia Autoconsumida na Instalação

Em termos de comparação da produção de energia e da taxa de autoconsumo entre a orientação típica (orientação a Sul) e a orientação proposta neste projeto (orientação Este/Oeste) verifica-se que existe um equilíbrio. Se, por um lado, a estrutura com direção a sul apresenta uma produção total ligeiramente superior, por outro a estrutura com direção Este/Oeste apresenta maior taxa de autoconsumo. Significa isto que, com a estrutura com direção Este/Oeste não existe tanto desperdício de energia, sobretudo junto à hora de almoço em que a empresa está parada.

Do ponto de vista da durabilidade dos equipamentos a solução Este/Oeste também apresenta mais vantagens uma vez que, não havendo consumo de energia no período de almoço, os equipamentos sofriam risco de sobreaquecimento uma vez que não iriam transformar a energia produzida nos módulos fotovoltaicos por não haver consumo na instalação que o justificasse.

O gráfico da Figura 3.7 representa o excedente de energia elétrica de ambas as situações em função do mês do ano.

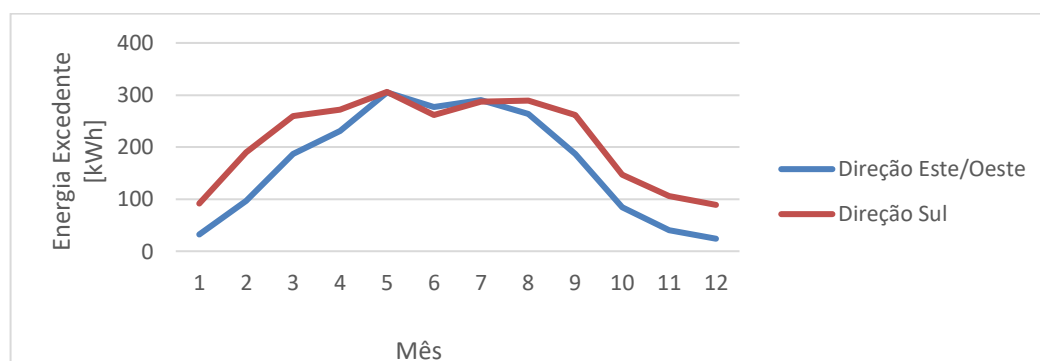


Figura 3.7: Gráfico comparativo da energia elétrica excedente de ambas as direções em função do mês do ano

## 4 CONSTRUÇÃO MECÂNICA DA ESTRUTURA

Neste estudo pretende-se criar uma estrutura que seja de fácil montagem e permita a sua desmontagem caso seja necessário. Também é objetivo ter uma estrutura leve, mas resistente às forças a que está sujeita nomeadamente o peso dos módulos fotovoltaicos, da própria estrutura e às condições atmosféricas (sobretudo a força do vento e o peso da neve).

### 4.1 Escolha dos Materiais

A escolha dos materiais a utilizar na estrutura teve por base três objetivos: o peso, a resistência mecânica dos materiais e o custo destes materiais. No que diz respeito ao peso, o objetivo é conseguir uma estrutura o mais leve possível para facilitar a instalação e o transporte de toda a estrutura. A resistência mecânica é de maior importância nas barras de fixação dos módulos uma vez que vão estar sujeitas a esforços de flexão elevados devido ao peso dos módulos e serão de dimensões bastante inferiores aos pilares. O fator preço é também de grande importância para tornar viável um sistema que envolve valores elevados e que se pretende competitivo face às soluções existentes.

Tendo em conta estes três fatores optou-se pela seguinte escolha de materiais:

- Pilares de Sustentação Vertical e Vigas de Sustentação Horizontal: Aço Galvanizado. A elevada resistência a intempéries e a facilidade de trabalhar o material são os principais fatores de escolha deste material para uma peça onde o peso não é o fator mais importante. Além disso, é um material com um preço competitivo face às características exigidas para esta aplicação.

As principais características do aço galvanizado são apresentadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Principais Características do Aço Galvanizado – Adaptado de “Solidworks”

Propriedade	Valor	Unidade
Módulo de Elasticidade	200000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0,29	N/A
Densidade	7870	kg/m <sup>3</sup>
Resistência à Tração	356,9	N/mm <sup>2</sup>
Resistência à Compressão	203,94	N/mm <sup>2</sup>

- Restantes peças: Liga de Alumínio AW-6063 T5. A escolha desta liga prendeu-se com três aspetos fundamentais: material leve, que permite ter uma estrutura com um peso bastante moderado; resistência à corrosão, que permite uma maior durabilidade da estrutura; Utilização no mercado nacional, por ser a Liga de Alumínio já utilizada nas estruturas de fixação de módulos fotovoltaicos permite ter peças standardizadas que implicam uma redução no custo final de construção da estrutura.

As principais características da liga de alumínio AW-6063 T5 são apresentadas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2: Principais Características da Liga de Alumínio AW-6063 T5 - Adaptado de “Solidworks”

Propriedade	Valor	Unidade
Módulo de Elasticidade	69000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0,33	N/A
Módulo de Cisalhamento	25800	N/mm <sup>2</sup>
Densidade	2700	Kg/m <sup>3</sup>
Resistência à Tração	185	N/mm <sup>2</sup>
Resistência à Compressão	145	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Expansão Térmica	2,34e-005	K <sup>-1</sup>
Condutividade Térmica	209	W/(m.K)
Calor Específico	900	J/(kg.K)

## 4.2 Construção das Peças

Da escolha dos materiais e dimensões adequadas à estrutura pretendida resultaram as seguintes peças:

Pilar de Sustentação Vertical (Figura 4.1)– Apoio vertical de toda a estrutura de estacionamento. Tem a função de interligação entre a estrutura de fixação superior e o solo. Tem a robustez adequada a suportar esforços de compressão.

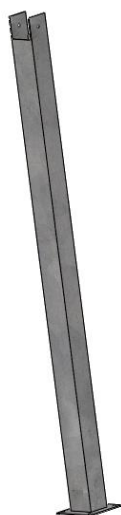


Figura 4.1: Imagem Ilustrativa do Pilar de Sustentação Vertical

Viga de Sustentação Horizontal (Figura 4.2) – Trata-se de um dos elementos mais sujeitos a esforços, principalmente de flexão. Permite a ligação entre os pilares de sustentação verticais e toda a envolvente de fixação dos módulos.

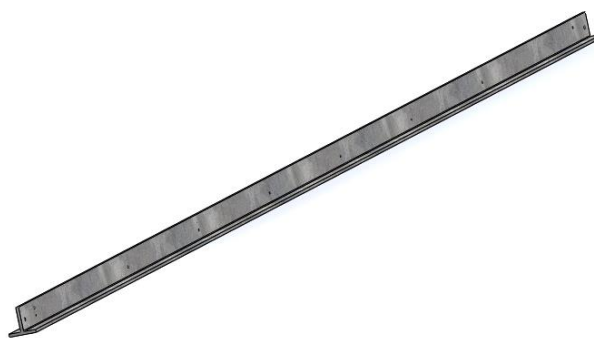


Figura 4.2: Imagem Ilustrativa da Viga de Sustentação Horizontal

Pilar Secundário de Fixação (Figura 4.3) – Tem a função de proporcionar um desnível na cobertura do estacionamento através da utilização de perfis metálicos de quatro dimensões diferentes unidos à viga de sustentação horizontal em diferentes posições.



Figura 4.3: Imagem Ilustrativa de um dos Pilares Secundários de Fixação

Barra de Suporte “U” (Figura 4.4) – Permite apoiar os perfis de fixação dos módulos que, em conjunto com os pilares secundários, dão forma à inclinação da cobertura.

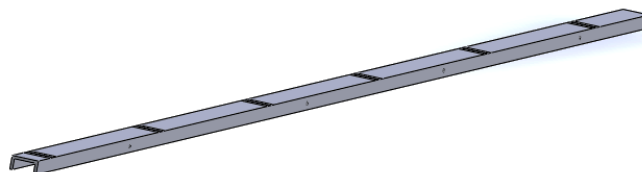


Figura 4.4: Imagem Ilustrativa da Barra de Suporte “U”

Perfil de Fixação dos Módulos Fotovoltaicos (Figura 4.5) – Apoiado na cantoneira de suporte, é este perfil que suporta e onde se fixam os módulos fotovoltaicos. Necessita de elevada resistência à flexão por servir de apoio à principal carga da estrutura e por ter um comprimento elevado.



Figura 4.5: Imagem Ilustrativa de um do Perfil de Fixação dos Módulos Fotovoltaicos

Casquilho (Figura 4.6)– Elemento menos sujeito a esforços, no entanto, permite que o pilar de sustentação vertical não sofra deformações com o aperto à viga de sustentação horizontal.

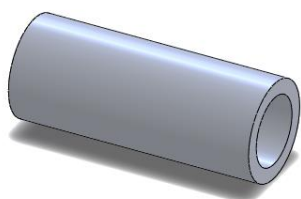


Figura 4.6: Imagem Ilustrativa do Casquilho

Estrutura Final (Figura 4.7) – Da fixação de todos os elementos resulta uma estrutura de estacionamento que permite a aplicação de módulos fotovoltaicos com a direção Este e Oeste divididos uniformemente.

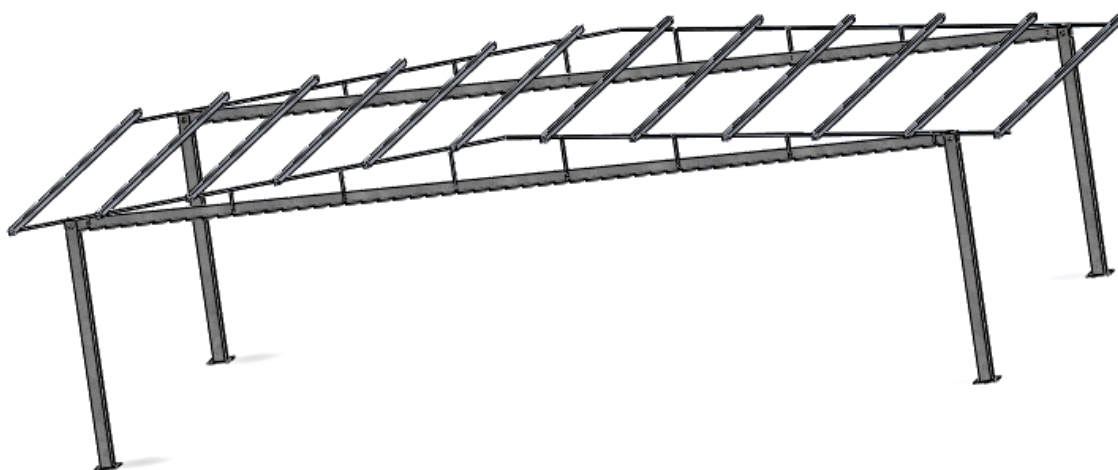


Figura 4.7: Imagem Ilustrativa da Estrutura Final

### 4.3 Resultados Obtidos

Definidos os materiais a utilizar e dimensionadas as peças, o próximo passo é testar a resistência mecânica e estabilidade das peças às cargas a que estarão sujeitas. Estas cargas serão essencialmente o peso da própria estrutura e o peso dos módulos fotovoltaicos.

No Quadro 4.3 são apresentados os pesos de cada peça que constitui a estrutura e os módulos fotovoltaicos.

Quadro 4.3: Quadro Resumo das Quantidades e Pesos das Peças Utilizadas na Estrutura

Quantidade	Peça	Peso (kg)	Total (kg)
4	Pilar de Sustentação Vertical	36,006	144,02
2	Viga de Sustentação Horizontal	131,04	262,08
4	Pilar Secundário 1	0,09758	0,390
4	Pilar Secundário 2	0,22	0,88
4	Pilar Secundário 3	0,314	1,26
4	Pilar Secundário 4	0,409	1,64
4	Barra de Suporte “U”	2,912	11,65
12	Perfil Fixação dos Módulos	22,491	269,89
8	Casquilho	0,021	0,17
24	Módulos Fotovoltaicos	19	456
	<b>TOTAL</b>		<b>1147,974</b>

Devido à complexidade e ao elevado número de fixações da estrutura, não é possível simular a sua resistência mecânica no conjunto. Assim, serão testadas todas as peças ou conjuntos de peças, estudando o seu comportamento individualmente.

Deve começar-se o estudo pelas peças sujeitas ao menor peso e avançar seguindo a mesma lógica. Assim, a primeira peça estudada será o Perfil de Fixação dos Módulos Fotovoltaicos.

O primeiro passo será definir as condições de fronteira da peça. Neste caso, o perfil estará fixo com parafusos à cantoneira de suporte não permitindo que este se mova em qualquer sentido, conforme ilustra a Figura 4.8.

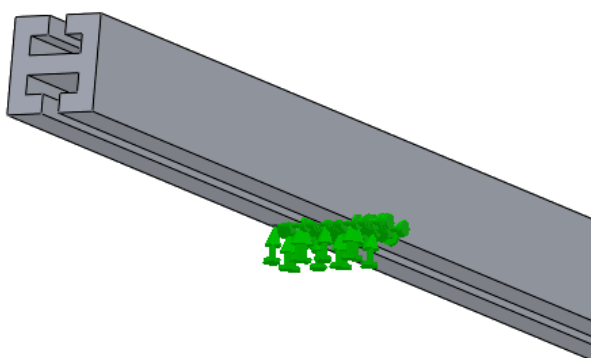


Figura 4.8: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos

Definidas as fixações é necessário aplicar a carga a que estará sujeito este perfil. Para calcular a força aplicada deve referir-se que cada par de perfis de fixação irá suportar quatro módulos fotovoltaicos. Aplicando a fórmula de cálculo da força ( $F = P \times G$ ) em que cada par de perfis suportará 76kg e uma força gravitacional de  $9,81 \text{ m/s}^2$ , obtém-se uma força total de 745,56N.

Uma vez que o pretendido é estudar o comportamento de cada peça individualmente, a carga aplicada deve ser dividida pelo par de perfis de fixação. Assim, cada perfil está sujeito a uma força de 372,78N, conforme está representado na Figura 4.9.

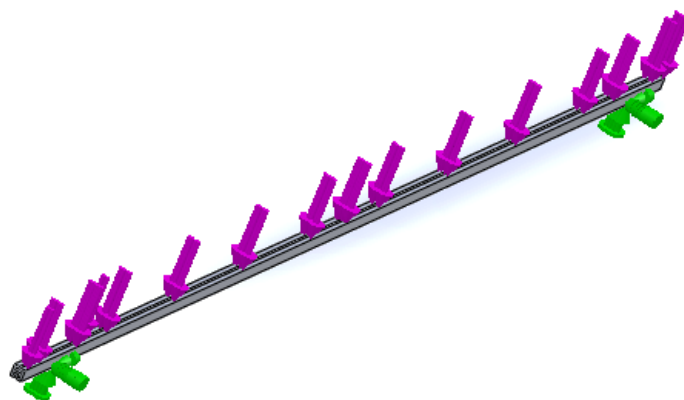


Figura 4.9: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos

O próximo passo é definir a malha aplicada a este elemento, conforme representado na Figura 4.10.

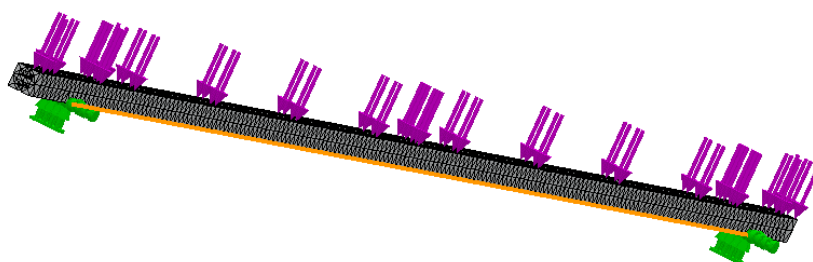


Figura 4.10: Imagem Ilustrativa da malha no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos  
 Definida a malha estão reunidas as condições para realizar o estudo numérico da peça.  
 A distribuição de tensões de Von-Mises resultante é a representada na Figura 4.11.

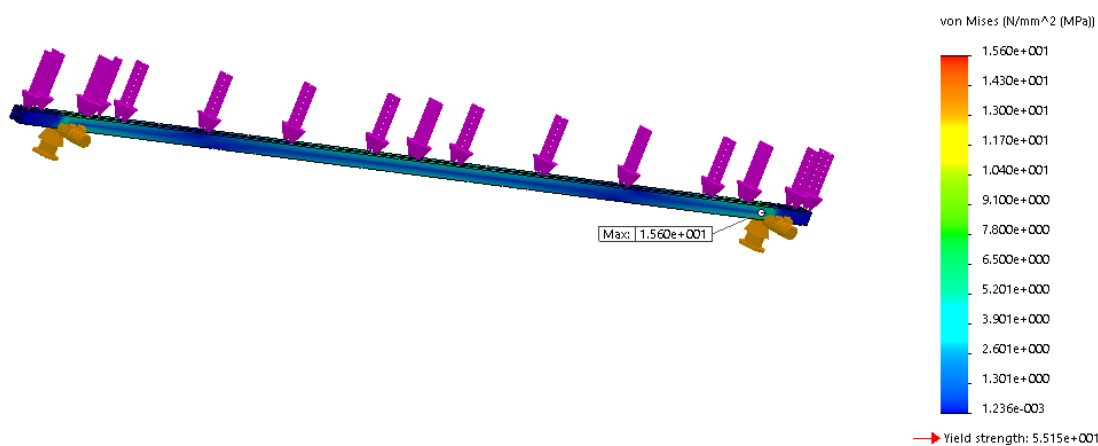


Figura 4.11: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos

Analisando a distribuição das tensões resultantes é perceptível que é na zona de fixação à cantoneira que estão concentradas as tensões mais elevadas.

Do resultado obtido conclui-se que a tensão máxima de 15,60 MPa obtida não tem qualquer efeito negativo na peça uma vez que a tensão de cedência da peça é de 55,15 MPa.

É importante referir que este estudo não inclui todos os esforços a que a peça pode estar sujeita como ventos e chuvas. Todavia, pode afirmar-se que estes fatores não comprometerão a resistência mecânica da peça uma vez que a tensão de cedência do material é cerca de 3,5 vezes superior à tensão máxima estudada.

Além das tensões geradas é, também, importante analisar o deslocamento que lhe deram origem. A Figura 4.12 representa o campo de deslocamentos obtidos.

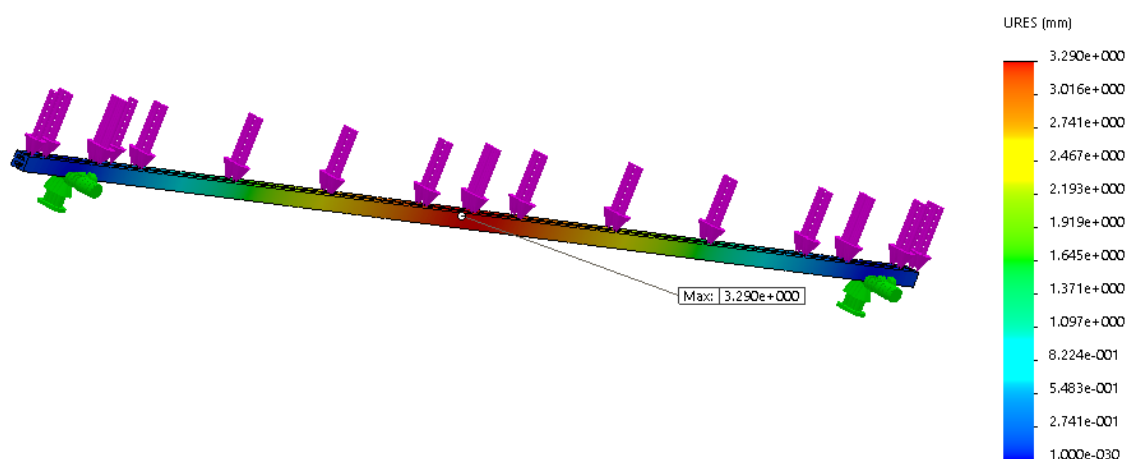


Figura 4.12: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento no perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos

Como era expectável, o deslocamento máximo ocorre no ponto médio do perfil. Neste ponto verifica-se um deslocamento de 3,29mm. Num perfil com 4500mm de comprimento, pode concluir-se que um deslocamento de 3,29mm não coloca em causa a estabilidade da estrutura nesta peça.

Concluída a análise ao perfil de fixação dos módulos fotovoltaicos e comprovada a sua resistência, continuam-se os estudos nas peças seguintes.

A seguinte peça com maior peso suportado será a barra de suporte “U”. Esta peça, para além do peso dos módulos, também suporta o peso dos perfis de fixação dos módulos.

Numa primeira fase são definidas as condições de fronteira desta peça. Neste caso, a peça será fixa em quatro pontos de interligação com os pilares secundários da estrutura, conforme representado na Figura 4.13.

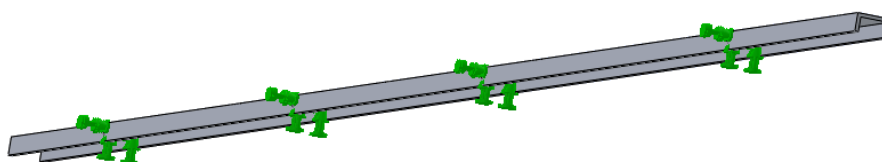


Figura 4.13: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira na barra de suporte “U”

Concluído este passo, é necessário calcular o peso suportado pela barra. Cada par de barras suporta o peso de doze módulos fotovoltaicos e seis perfis de fixação dos módulos. No total, o peso suportado em cada par de barras é de 362,956 kg, que totaliza 3560,60N de força aplicada. Assim, em cada barra suporta uma força de 1780,30N. Esta força está representada na Figura 4.14.

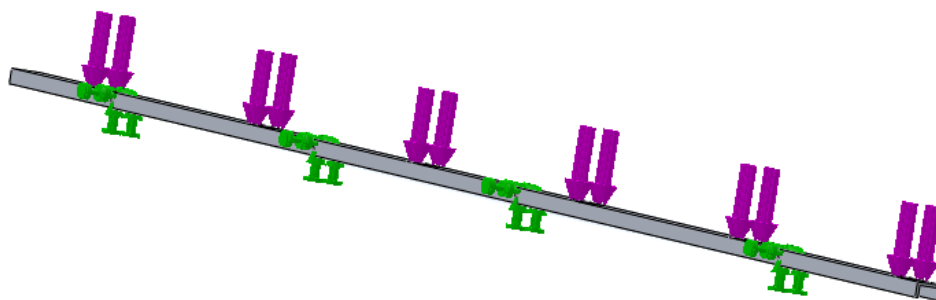


Figura 4.14: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças na barra de suporte “U”

Aplicadas as forças aplicadas na barra, define-se a malha, conforme representado na Figura 4.15.

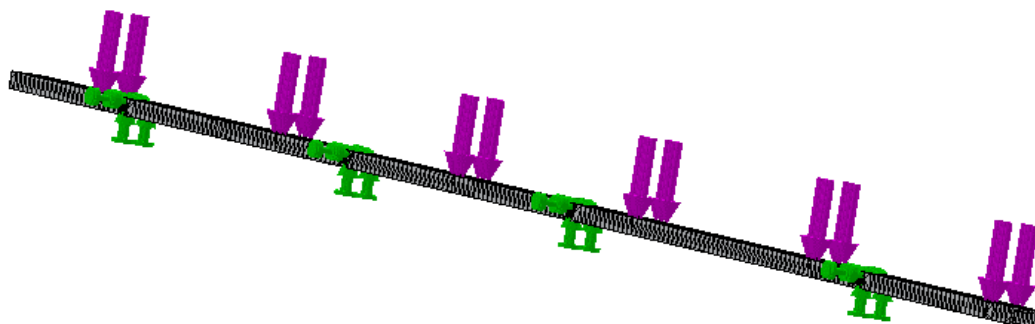


Figura 4.15: Imagem Ilustrativa da malha na barra de suporte “U”

O passo seguinte será determinar as tensões de Von-Mises, conforme representado na Figura 4.16.

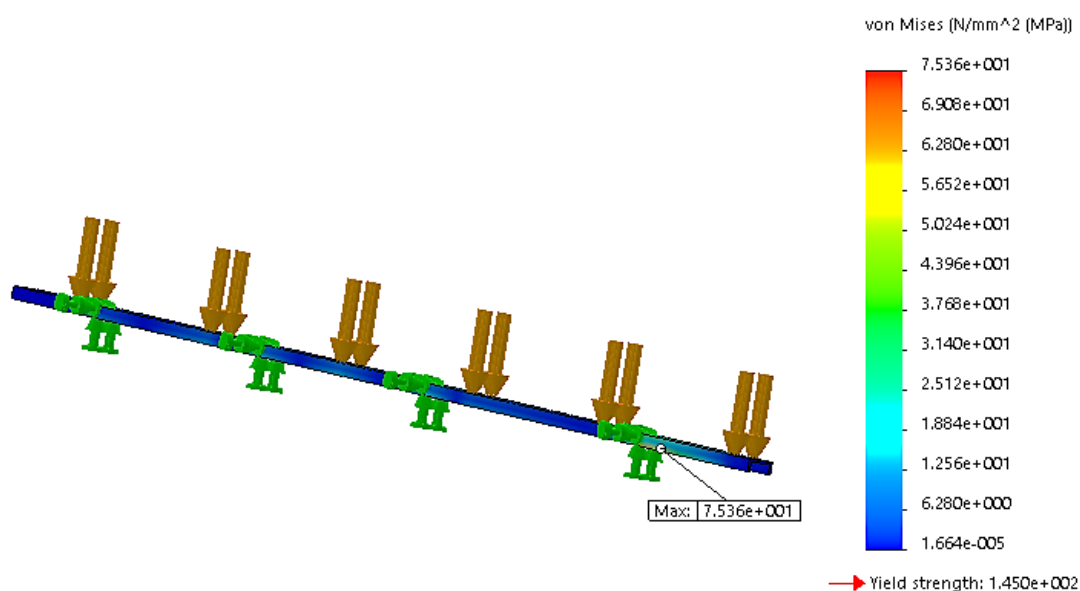


Figura 4.16: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises na barra de suporte “U”

Com a análise ao resultado obtido é perceptível que a tensão mais elevada encontra-se na fixação da barra mais baixa em relação ao cume da estrutura, com o valor de 75,35 MPa. Uma vez que a tensão de cedência do material é de 145 MPa, o coeficiente de segurança é de 1,92.

O deslocamento resultante deste esforço está representado na Figura 4.17.

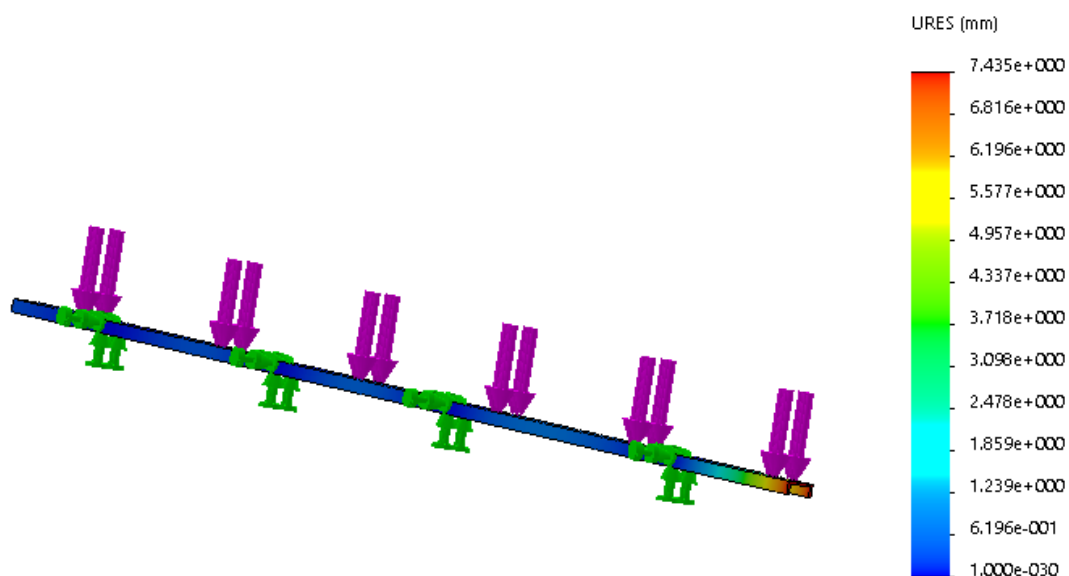


Figura 4.17: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento na barra de suporte “U”

O deslocamento máximo é de 7,435mm e dá-se na extremidade da peça. Tal acontece devido à distância entre a fixação e a extremidade da peça que, no último apoio, está sujeita a uma força de 296,7N.

Seguidamente serão estudados os quatro pilares secundários. A força aplicada em cada um deles será a mesma sendo a diferença a sua dimensão. Serão, por isso, apresentados os quatro resultados em simultâneo.

As condições de fronteira definidas estão representadas na Figura 4.18.

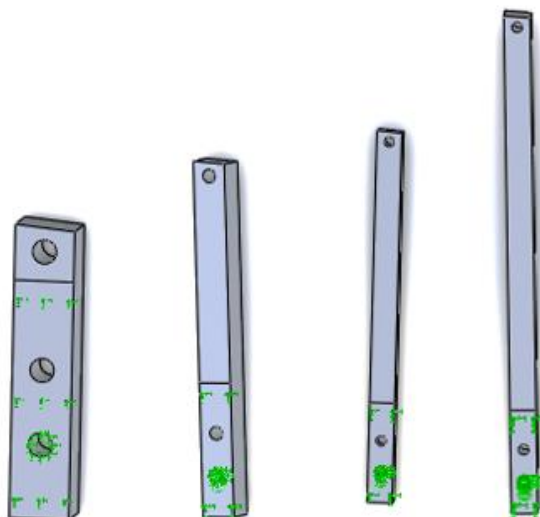


Figura 4.18: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira nos pilares secundários de fixação

A força suportada por cada perfil é calculada em função do peso de todos os elementos que estes suportam. Assim, os quatro perfis suportam um total de 184,385 kg. Ou seja, cada perfil suporta 452,20N. A força aplicada em cada perfil está representada na Figura 4.19.

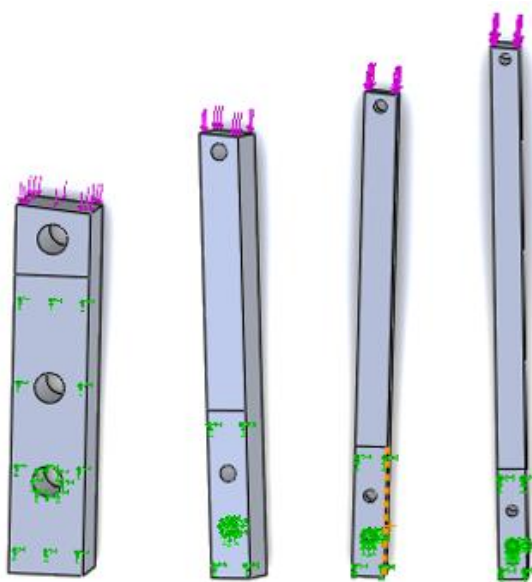


Figura 4.19: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças nos pilares secundários de fixação

O passo seguinte é definir a malha, conforme está representado na Figura 4.20.

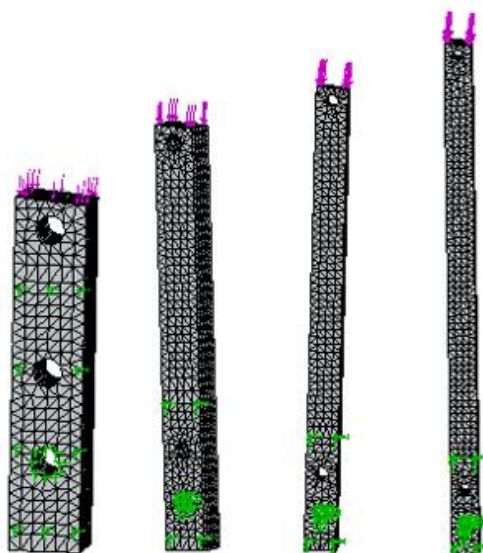


Figura 4.20: Imagem Ilustrativa da malha nos pilares secundários de fixação

Definida a malha determinam-se as tensões de Von-Mises, conforme a Figura 4.21e a Figura 4.22.

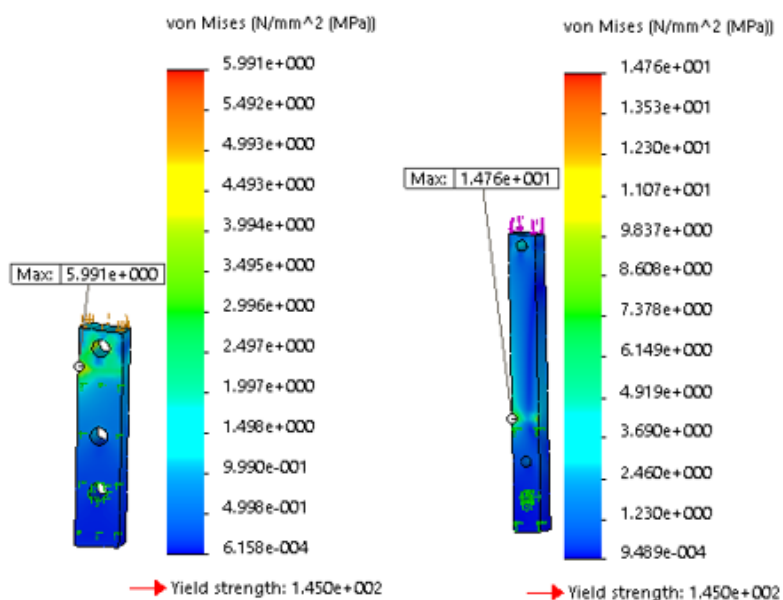


Figura 4.21: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises em dois pilares secundários de fixação

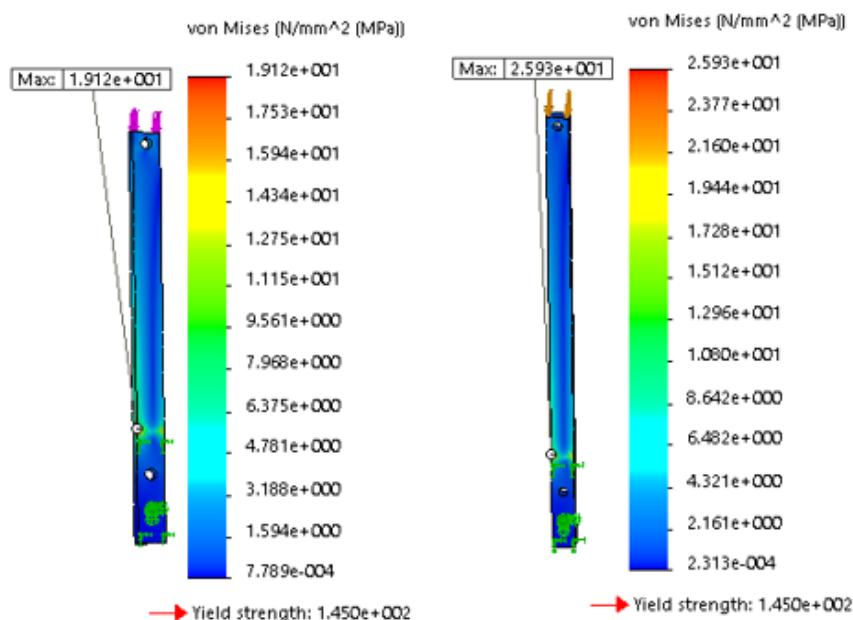


Figura 4.22: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises em dois pilares secundários de fixação

Da análise aos resultados das tensões de Von-Mises é possível verificar que nenhum dos pilares secundários está em risco de instabilidade. A tensão de cedência do material é de 145MPa e a tensão máxima em cada um dos pilares é, respetivamente, 5,991 MPa, 14,76 MPa, 19,12 MPa e 25,93 MPa. Em qualquer um dos casos o resultado é bastante inferior à tensão de cedência.

A Figura 4.23 representa o deslocamento nos pilares secundários de fixação.

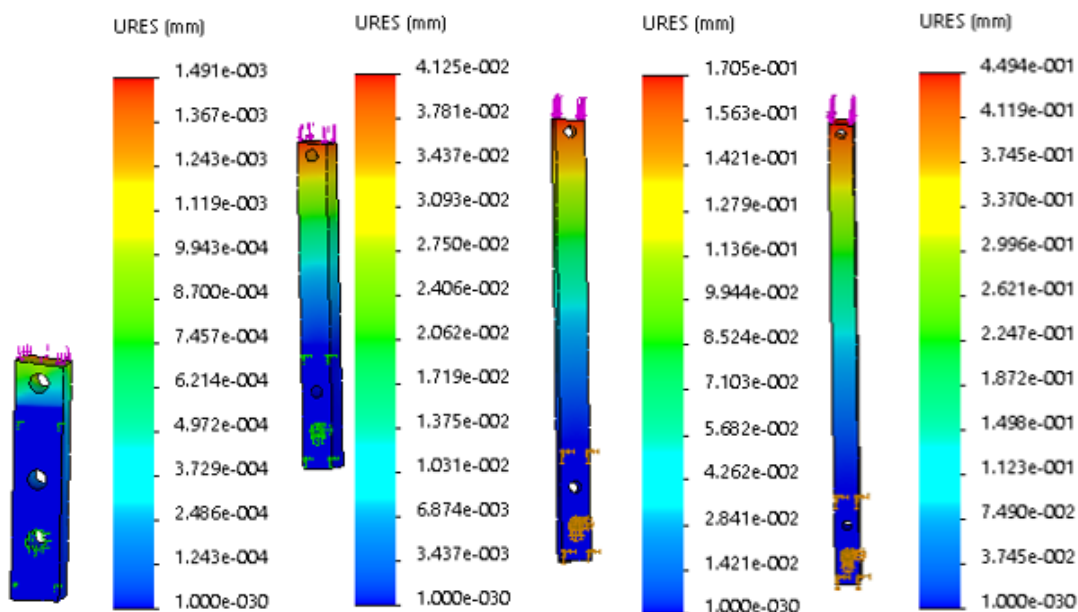


Figura 4.23: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento nos pilares secundários de fixação

De seguida, será analisada a peça que sustenta horizontalmente toda a estrutura. A viga de sustentação horizontal é o elemento que está sujeito ao maior esforço de flexão por suportar todos os elementos da estrutura, à exceção dos pilares de sustentação verticais.

A fim de iniciar o estudo da viga de sustentação horizontal, começa-se por definir as condições de fronteira, conforme representado na Figura 4.24.

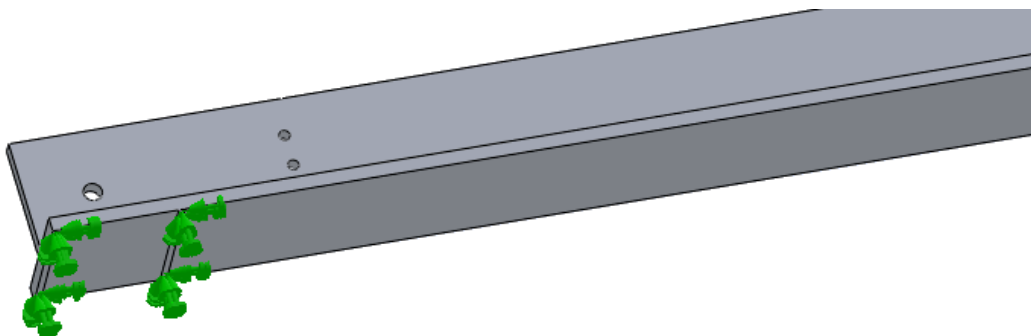


Figura 4.24: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira na viga de sustentação horizontal

Depois de definidas as condições de fronteira definem-se as forças aplicadas na peça. No caso, a peça suporta o peso de todos os elementos da estrutura à exceção do pilar de sustentação vertical e dos casquilhos. Ou seja, esta peça suporta um total de 370,85 kg que corresponde a 3638,04 N. Esta força está representada na Figura 4.25.

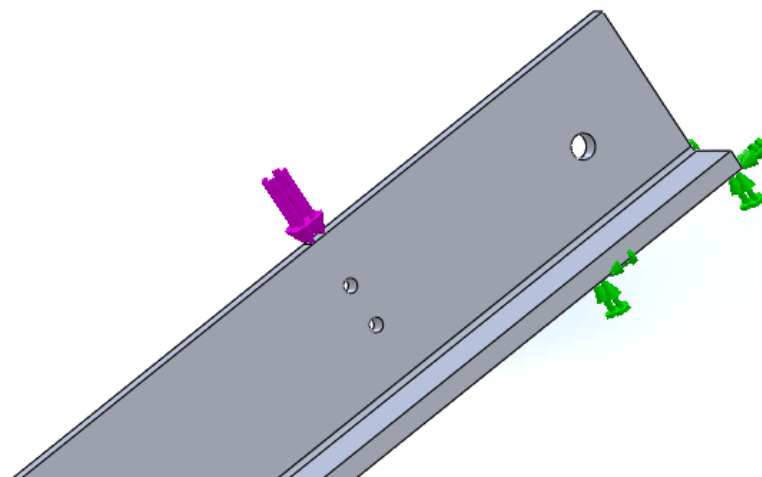


Figura 4.25: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças na viga de sustentação horizontal

Calculadas e localizadas as forças aplicadas na peça, define-se a malha a aplicar conforme representado na Figura 4.26.

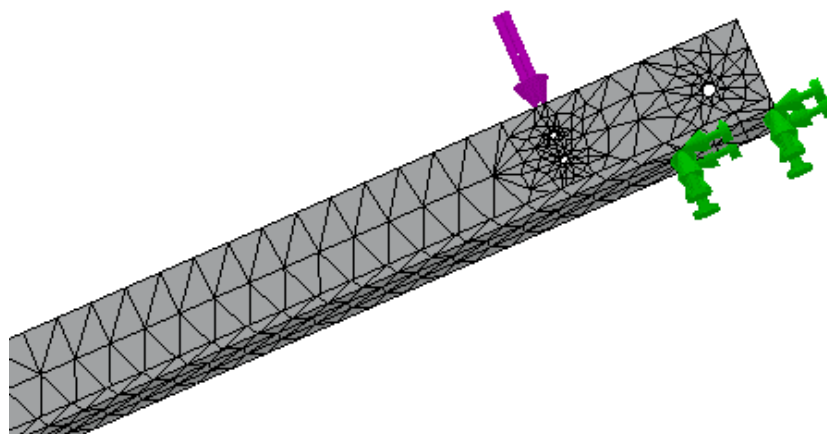


Figura 4.26: Imagem Ilustrativa da malha na viga de sustentação horizontal

Concluído este passo, determinam-se as tensões de Von-Mises. Os resultados obtidos estão representados na Figura 4.27.

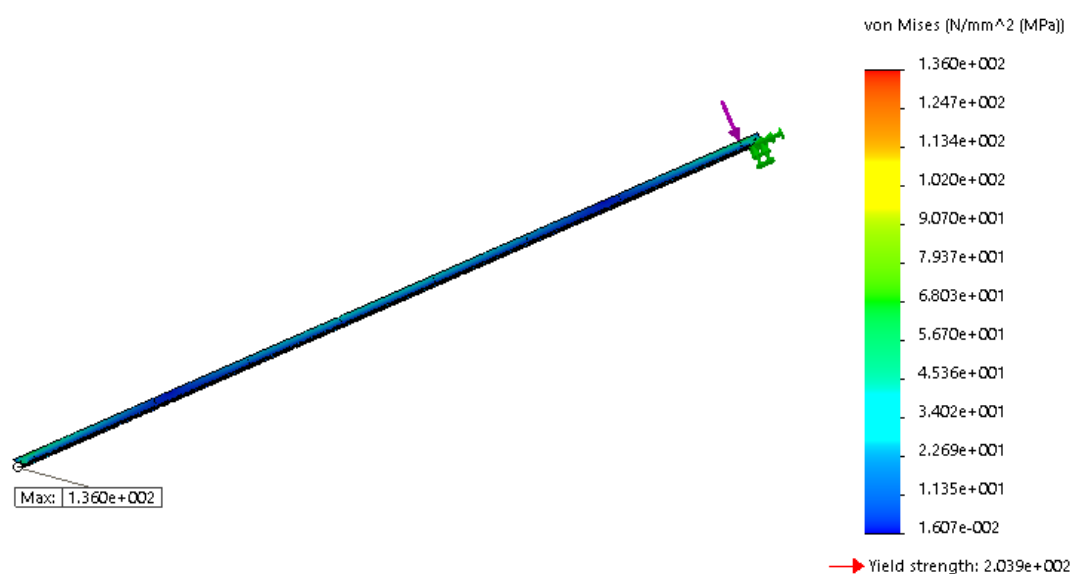


Figura 4.27: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises na viga de sustentação horizontal

Com os resultados obtidos verifica-se que a tensão máxima de 136 MPa é inferior à tensão de cedência de 203,9 MPa pelo que se pode afirmar que a peça é estável e resistente às cargas a que está sujeita.

Quanto ao deslocamento obtido, está representado na Figura 4.28.

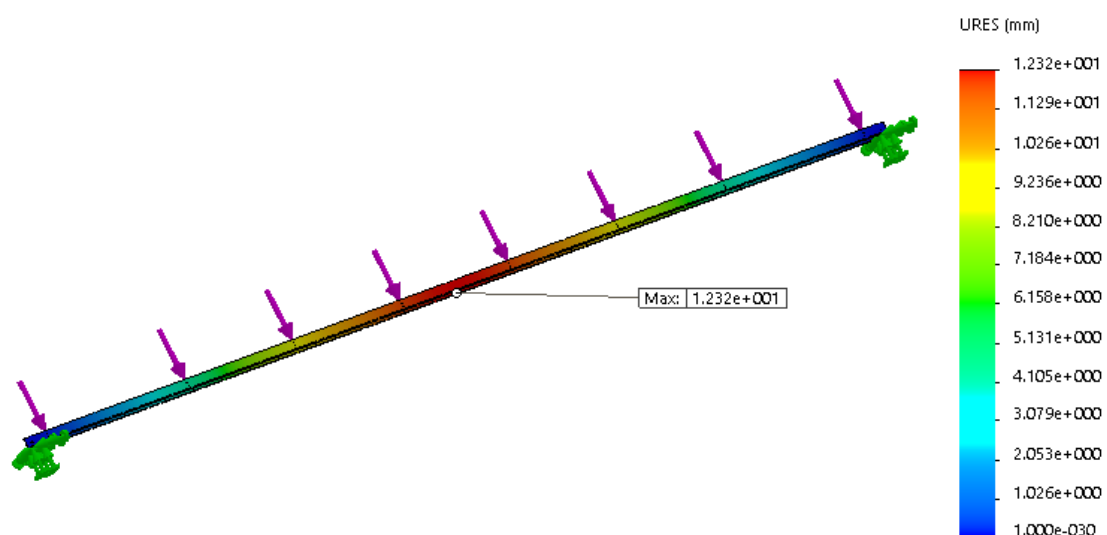


Figura 4.28: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento na viga de sustentação horizontal

Verifica-se um deslocamento de 12,32mm a meio da viga, normal dado o seu comprimento e esforço de flexão a que está sujeito.

Por último, devem ser testados os pilares de suporte verticais que sustentam a totalidade da estrutura.

Definem-me as condições de fronteira, representadas na Figura 4.29.

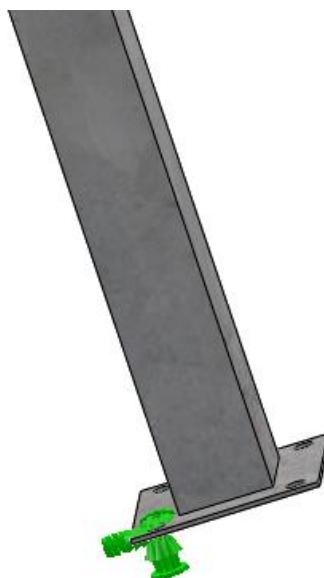


Figura 4.29: Imagem Ilustrativa das condições de fronteira no pilar de sustentação vertical

Em seguida, conforme representado na Figura 4.30, indicam-se as forças a que está sujeita a peça. Neste caso, o conjunto dos quatro pilares suporta toda a estrutura com um peso total de 1.147,97 kg. Ou seja, cada pilar está sujeito a uma força de 2815,40

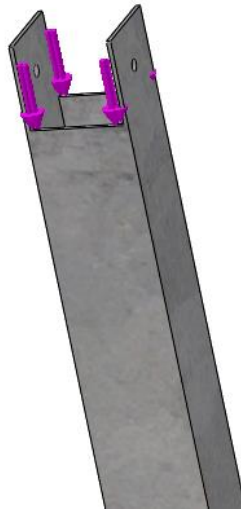


Figura 4.30: Imagem Ilustrativa da aplicação das forças no pilar de sustentação vertical  
Aplicadas as forças a que a peça está sujeita, define-se a malha a aplicar, conforme está representado na Figura 4.31.

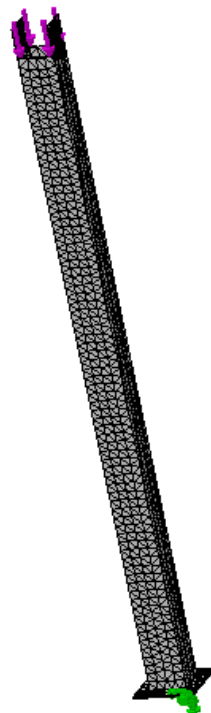


Figura 4.31: Imagem Ilustrativa da malha no pilar de sustentação vertical  
Definida a malha, verificam-se as tensões de Von-Mises resultantes deste esforço. O resultado é representado na Figura 4.32

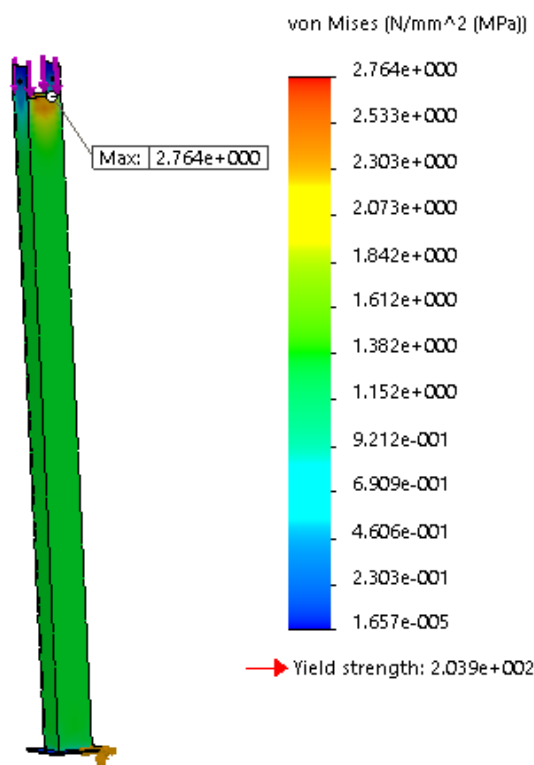


Figura 4.32: Imagem Ilustrativa do resultado da distribuição de tensões de Von-Mises no pilar de sustentação vertical

A tensão máxima na peça é de 2,764 MPa, muito inferior aos 203,9 MPa da tensão de cedência. Confirma-se, assim, que o pilar de sustentação vertical apresenta dimensões que permitem suportar toda a estrutura com segurança.

O deslocamento provocado na peça é apresentado na Figura 4.33.

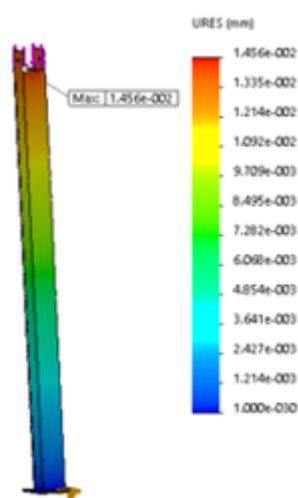


Figura 4.33: Imagem Ilustrativa do resultado do deslocamento no pilar de sustentação vertical. Verifica-se que o deslocamento provocado é insignificante, inferior a 1mm.

Os casquilhos não serão alvo de estudo uma vez que não se tratam de peças estruturais ou de suporte. A sua função é apenas para impedir danos no pilar de sustentação vertical nos pontos de fixação à viga de sustentação horizontal. Estes esforços são apenas provocados pelo aperto dos parafusos nestes pontos específicos.

## 5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÓMICA DO SISTEMA

Para analisar a viabilidade económica do sistema foram, numa primeira fase, estimados os custos dos vários componentes do sistema proposto, desde aos custos da estrutura, dos painéis fotovoltaicos, do inversor até aos custos de instalação do sistema completo. São também tidos em consideração os custos imputados ao consumo de energia elétrica e faturados pela operadora contratada. Foi feito um estudo económico a 25 anos, tempo de garantia de produção dos painéis fotovoltaicos, e calculada a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) da solução e o Valor Atual Líquido (VAL). Foi considerada uma tarifa média de compra da eletricidade com base nos valores da tarifa de horas de cheia e horas de ponta, visto serem as horas durante as quais o sistema produzirá energia elétrica, tal como definido no capítulo 3.

### 5.1 Custos com Estrutura

Os custos com a estrutura dependem do valor dos materiais utilizados. Neste caso, apenas serão utilizados dois tipos de materiais: aço galvanizado e liga de alumínio AW-6063 T5.

Com base em valores de mercado, utilizou-se para os elementos em aço galvanizado o valor de 1,81 €/kg e para os elementos na liga de alumínio AW-6063 T5 o valor de 4,19€/kg. A estes valores acresce IVA à taxa legal em vigor.

No Quadro 5.1 são apresentados os valores de cada peça que constitui a estrutura.

Quadro 5.1: Custo das várias peças que constituem a estrutura

Elemento	Material	Quantidade	Valor Total (€)
Pilar de Sustentação Vertical	Aço Galvanizado	4	261,04
Viga de Sustentação Horizontal	Aço Galvanizado	2	475,02
Pilar Secundário de Fixação 1	AW-6063 T5	4	1,63
Pilar Secundário de Fixação 2	AW-6063 T5	4	3,69
Pilar Secundário de Fixação 3	AW-6063 T5	4	5,26
Pilar Secundário de Fixação 4	AW-6063 T5	4	6,85
Barra de Superte “U”	AW-6063 T5	4	48,78
Perfil de Fixação dos Módulos	AW-6063 T5	12	1130,17
Casquilho	AW-6063 T5	4	0,70
<b>Total</b>			<b>1933,15</b>

Somando os valores de todas as peças que constituem a estrutura, esta terá um custo total de 1933,15€ acrescido de IVA à taxa legal em vigor.

### 5.2 Custos com Módulos

Os custos com os módulos fotovoltaicos serão sempre um dos fatores com mais peso financeiro neste projeto. Contudo, o valor desta tecnologia tem vindo a baixar consideravelmente. Em 2018, o valor médio destes equipamentos rondava os 0,35€/Wp antes de impostos. Isto significa que cada módulo fotovoltaico de 265Wp tem um custo de 92,75€ acrescido de IVA à taxa legal

em vigor. Uma vez que a estrutura deste projeto requer 24 módulos, o custo com estes equipamentos é de 2226,00€, acrescido de IVA à taxa legal em vigor.

Este custo pode variar em função do fornecedor e da marca dos módulos utilizados.

### 5.3 Custos com Inversor

Os custos com inversores não apresentam grande variação uma vez que estes equipamentos mantêm o seu valor constante. As variações podem ocorrer consoante o distribuidor escolhido. Para este projeto, o distribuidor escolhido apresenta um valor de 1.390,00€, acrescido de IVA à taxa legal em vigor, para um inversor de 6kW com possibilidade de interligar um sistema de monitorização.

À semelhança dos módulos, o custo com os inversores também pode variar em função da marca escolhida.

### 5.4 Custos com Instalação

A instalação do sistema contempla os seguintes campos: instalação da estrutura, instalação dos módulos, instalação do inversor, instalações elétricas associadas, configuração e arranque da instalação. No Quadro 5.2 são apresentados os valores para cada campo da instalação.

Quadro 5.2: Custo da instalação dos vários componentes

<b>Campo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Unitário (€)</b>	<b>Valor Total (€)</b>
Estrutura	1	325,00	325,00
Módulos	24	9,95	238,80
Inversor	1	190,00	190,00
Instalações Elétricas	1	690,00	690,00
Configuração e Arranque	1	85,00	85,00
<b>Total</b>			<b>1.528,80</b>

Os custos com instalação resultam, assim, num total de 1.528,80€ acrescido de IVA à taxa legal em vigor.

### 5.5 Custo Total do Sistema

Calculados todos os custos individuais com o sistema, é possível apresentar o valor final do custo total do sistema. Somando os custos da estrutura, o custo dos módulos fotovoltaicos, o custo do inversor com os custos de instalação do sistema e obtém-se o valor final de 7.077,95€ acrescido de IVA à taxa legal em vigor. O Quadro 5.3 apresenta o resumo dos custos associados ao sistema.

Quadro 5.3: Custo Total do Sistema

<b>Custo Total do Sistema</b>	
Custo da Estrutura	1.933,15€
Custo dos Módulos Fotovoltaicos	2.226,00€
Custo do Inversor	1.390,00€
Custo da Instalação	1.528,80€
<b>Total de Custos</b>	<b>7.077,95€</b>

## 5.6 Redução de Consumos Prevista

Com base nos diagramas de carga fornecidos pela EDP Distribuição, determinou-se que o consumo de eletricidade anual da empresa utilizada neste estudo é de 37.118 kWh.

Para simular a redução anual de consumo com a estrutura estudada, recorreu-se ao *software* de simulação “*Sunny Design*”. O Quadro 5.4 apresenta os dados obtidos na simulação.

Quadro 5.4: Dados de energia elétrica obtidos na simulação

	<b>Energia Elétrica (kWh)</b>
Produção Energética Anual	8.680
Redução de Consumo Anual	6.662
Energia Excedente	2.019
Energia Consumida da Rede	30.456

## 5.7 Rentabilidade

Para analisar a rentabilidade de um sistema fotovoltaico devem ter-se em atenção os seguintes aspetos:

- Valor de investimento no sistema
- Redução Anual de Consumo
- Valor médio da Tarifa de Energia contratada
- Evolução anual da Tarifa de Energia contratada
- Taxa de atualização da Energia

A valorização de cada um destes itens é apresentada no Quadro 5.5.

Quadro 5.5: Valores utilizados no cálculo da rentabilidade

<b>Valores utilizados no cálculo da rentabilidade</b>	
Valor de investimento no sistema	7.077,95€
Redução Anual de Consumo	6.662 kWh
Valor médio da Tarifa de Energia contratada	0,1158 €/kWh
Evolução anual da Tarifa de Energia contratada	3%/ano
Taxa de atualização da Energia	3%/ano

Nas instalações fotovoltaicas é habitual analisar-se a rentabilidade do sistema durante 25 anos. Tal fato deve-se à garantia de produção dos módulos fotovoltaicos que é de 25 anos e transversal a todas as marcas. Esta garantia significa que, durante 25 anos as marcas garantem uma produção mínima dos seus módulos. Habitualmente esta garantia é de, pelo menos, 80% em relação à produção no primeiro ano. Este fator traduz-se numa depreciação média anual dos módulos de 0,8%.

O Quadro 5.6 apresenta a simulação da produção do sistema fotovoltaico ao longo dos anos, considerando uma depreciação média anual dos módulos de 0,8% e um crescimento anual da tarifa de energia de 3%.

Quadro 5.6: dados de produção de eletricidade do sistema fotovoltaico ao longo dos anos

Anos	Ano	Tarifa (€/kWh)	Redução Média Anual de Consumo (kWh)
1	2018	0,11580	6662
2	2018	0,11927	6609
3	2018	0,12285	6556
4	2018	0,12654	6503
5	2018	0,13033	6451
6	2018	0,13424	6400
7	2018	0,13827	6349
8	2018	0,14242	6298
9	2018	0,14669	6247
10	2018	0,15109	6197
11	2018	0,15563	6148
12	2018	0,16029	6099
13	2018	0,16510	6050
14	2018	0,17006	6001
15	2018	0,17516	5953
16	2018	0,18041	5906
17	2018	0,18583	5859
18	2018	0,19140	5812
19	2018	0,19714	5765
20	2018	0,20306	5719
21	2018	0,20915	5673
22	2018	0,21542	5628
23	2018	0,22188	5583
24	2018	0,22854	5538
25	2018	0,23540	5494

Calculada a redução média anual de consumo com este sistema e aplicando a atualização da energia de 3%, é possível calcular a poupança média anual que o sistema permite. Os resultados estão representados no Quadro 5.7.

Quadro 5.7: Análise da rentabilidade do sistema a 25 anos

Anos	Investimento (€)	Receita Bruta (€)	Custos de O&M (€)	Receita Líquida (€)	Receita Líq. Acumulada (€)	Fluxo Monetário (€)	Acumulado (€)
0	-7 078 €		0,5%			-7 078 €	-7 078 €
1 2018		771 €	-35 €	736 €	736 €	736 €	-6 342 €
2 2019		788 €	-35 €	753 €	1 489 €	753 €	-5 589 €
3 2020		805 €	-35 €	770 €	2 259 €	770 €	-4 819 €
4 2021		823 €	-35 €	788 €	3 046 €	788 €	-4 031 €
5 2022		841 €	-35 €	805 €	3 852 €	805 €	-3 226 €
6 2023		859 €	-35 €	824 €	4 676 €	824 €	-2 402 €
7 2024		878 €	-35 €	842 €	5 518 €	842 €	-1 560 €
8 2025		897 €	-35 €	862 €	6 380 €	862 €	-698 €
9 2026		916 €	-35 €	881 €	7 261 €	881 €	183 €
10 2027		936 €	-35 €	901 €	8 162 €	901 €	1 084 €
11 2028		957 €	-35 €	921 €	9 083 €	921 €	2 005 €
12 2029		978 €	-35 €	942 €	10 025 €	942 €	2 947 €
13 2030		999 €	-35 €	963 €	10 989 €	963 €	3 911 €
14 2031		1 021 €	-35 €	985 €	11 974 €	985 €	4 896 €
15 2032		1 043 €	-35 €	1 007 €	12 981 €	1 007 €	5 903 €
16 2033		1 065 €	-35 €	1 030 €	14 011 €	1 030 €	6 933 €
17 2034		1 089 €	-35 €	1 053 €	15 065 €	1 053 €	7 987 €
18 2035		1 112 €	-35 €	1 077 €	16 142 €	1 077 €	9 064 €
19 2036		1 137 €	-35 €	1 101 €	17 243 €	1 101 €	10 165 €
20 2037		1 161 €	-35 €	1 126 €	18 369 €	1 126 €	11 291 €
21 2038		1 187 €	-35 €	1 151 €	19 520 €	1 151 €	12 442 €
22 2039		1 212 €	-35 €	1 177 €	20 697 €	1 177 €	13 619 €
23 2040		1 239 €	-35 €	1 203 €	21 900 €	1 203 €	14 822 €
24 2041		1 266 €	-35 €	1 230 €	23 131 €	1 230 €	16 053 €
25 2042		1 293 €	-35 €	1 258 €	24 388 €	1 258 €	17 310 €

Pela análise dos resultados obtidos verifica-se que este sistema permite uma redução média mensal em 25 anos de 976,00€.

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) a 25 anos de 11,46% com um VAL de 9.338,53€. O sistema apresenta um *payback* de 8 anos.

Estes dados permitem afirmar que esta solução tem um retorno financeiro bastante interessante e com uma rentabilidade superior a grande parte dos investimentos económicos. Além disso, esta solução também tem uma vantagem não quantificável do ponto de vista económico que é a possibilidade de servir de estacionamento protegendo as viaturas das condições climáticas.



## 6 CONCLUSÃO

Portugal tem como meta definida, pela UE para 2020, uma contribuição de 60% de fontes de energias renováveis na produção de eletricidade. Em 2017 e de acordo com a metodologia de cálculo da diretiva 2009/28/CE, essa percentagem situou-se em 53.36%. A contribuição atual de energia solar para esse bolo é somente de 2%, mas apresenta grande potencial de crescimento.

A legislação nacional em vigor visa promover a produção local de eletricidade a partir de fontes de energia renovável para autoconsumo, nos vários setores de atividade. Em empresas de menor dimensão física e onde o espaço é limitado, o aproveitamento desse mesmo espaço é essencial para rentabilizar a produção de energia elétrica a partir de uma instalação fotovoltaica. Os parqueamentos com coberturas com módulos fotovoltaicos são uma solução de aproveitamento de espaço. Já existem no mercado algumas soluções, mas nem todas são versáteis e adequadas a todos os locais de estacionamento.

Este projeto consistiu na criação de uma estrutura de parqueamento com módulos fotovoltaicos que permita otimizar a produção de energia elétrica para autoconsumo acrescentando ao mercado uma nova estrutura de parqueamento, versátil e adaptável a locais onde as estruturas disponíveis no mercado não o eram.

A criação desta estrutura passou por vários processos até ser encontrado o seu resultado final. Numa primeira fase foi necessário criar um desenho modelo que permitisse construir uma estrutura capaz de satisfazer as necessidades pretendidas. Criada a ideia, era necessário verificar a quantidade de módulos fotovoltaicos que esta estrutura poderia integrar e calcular a potência elétrica desse sistema.

Numa segunda fase foi necessário dimensionar e criar as peças constituintes desta estrutura. Primeiro desenhar todos os elementos e, posteriormente, testar a sua resistência mecânica e estabilidade.

Finalmente, construída e testada toda a estrutura, foi necessário verificar se o sistema seria viável para o mercado e qual a sua rentabilidade num cenário real.

Concretizadas todas as fases deste processo, é possível afirmar que o sistema é viável e que pode ser uma nova solução no mercado das estruturas de parqueamentos fotovoltaicos. Os valores determinados enquadram-se com os valores de mercado neste sector e, assim, é possível encontrar uma solução capaz de colmatar algumas lacunas de instalação a um preço viável. Esta estrutura permite conseguir um menor desperdício de energia elétrica em empresas com laboração a um turno e que parem a sua atividade no período de almoço que coincide com o período de maior produção solar em instalações orientadas a Sul. Para além do desperdício, desta forma também é possível prolongar a vida útil dos equipamentos que não estão sujeitos a sobreaquecimento para dissipar a energia produzida e que não pode ser consumida na instalação.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis [Online]. Disponível em <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/destaques> [consultado em março 2019].

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia (2018). Estatísticas Rápidas nº159 janeiro 2018. Disponível em: <http://www.dgeg.gov.pt/> [consultado março 2018].

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia (2015). Estatísticas Rápidas nº134 dezembro 2015. Disponível em: <http://www.dgeg.gov.pt/> [consultado março 2018].

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (2008). Informação sobre Produção em Regime Especial - Dezembro 2008. Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/espacoconhecimento/DocumentoseapresentacoesPapersBoletins/Pagina/espacodoconhecimento.aspx> [consultado março 2018].

IEA - *International Energy Agency* (2017). *Energy System Overview*. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/Portugal/> [consultado janeiro 2018].

PVSYST – *PVSYST Photovoltaic Software* [Online]. Disponível em <https://www.pvsyst.com/support/> [consultado em fevereiro 2019].

SMA – *Solar Technology AG* [Online]. Disponível em <https://www.sma.de/en/products/planning-software/sunny-design.html> [consultado em janeiro 2019]

União Europeia (2018). Energia [Online]. Disponível em [https://europa.eu/european-union/topics/energy\\_pt](https://europa.eu/european-union/topics/energy_pt) [consultado em março 2018].