



Relatório

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Estudo de implementação de energias renováveis na
RESPOL***

João Filipe Cavaca Baptista

Leiria, *Setembro* de 2017



Relatório

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Estudo da implementação de energias renováveis na
RESPOL***

João Filipe Cavaca Baptista

Estágio de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Pedro José Franco Marques, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Setembro de 2017*

Agradecimentos

Pela participação neste estágio curricular, gostaria de agradecer:

- Ao Sr. Comendador Manuel Costa, administrador da RESPOL Resinas, SA, a oportunidade de poder realizar o estágio curricular na empresa;
- Ao Sr. Eng.º Luís Balau, supervisor interno do meu estágio na RESPOL que me ajudou adquirir experiência, competências e responsabilidades enquanto colaborador de uma empresa. Proporcionou-me também todas as condições para a realização do meu trabalho;
- Aos restantes funcionários da RESPOL, SA, com quem tive contacto pelo acolhimento, integração, auxílio e transmissão de conhecimentos;
- Ao Professor Doutor Pedro Marques da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, pela sua disponibilidade em ser o meu professor-orientador neste estágio e pela transmissão dos conhecimentos necessários para a realização do mesmo;
- Ao Professor Doutor Nelson Oliveira, coordenador do Mestrado em Engenharia da Energia e Ambiente que estabeleceu o contacto entre mim e a RESPOL, SA;
- À minha família e amigos que me apoiaram durante este período deste estágio.

Resumo

A crescente escassez de recursos naturais não renováveis tem vindo, nos últimos anos, a incentivar a aposta nas energias renováveis, sendo uma prática cada vez mais procurada pelas empresas, traduzindo-se numa oportunidade de melhoria no âmbito da eficiência energética.

O presente trabalho consiste em indicar à empresa RESPOL Resinas, SA uma solução, em termos de potência a instalar, de produção de eletricidade utilizando fontes de energia renovável solar e/ou eólica. Para fins deste sistema de produção de eletricidade através de energias renováveis, considerou-se duas hipóteses, sendo uma Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC) ou uma Central de Produção (CP) para venda de eletricidade à Rede Elétrica do Serviço Público. Para cada uma das hipóteses, efetuou-se um estudo técnico-económico para se obter a melhor solução em termos de potência. Posteriormente seguiu-se a análise económico-financeira do investimento em cada uma das duas soluções, para se averiguar qual delas será a melhor solução. Após a análise económico-financeira, foi possível efetuar uma proposta para o dimensionamento da melhor solução e um caderno de encargos, que seguem em anexo.

Do estudo técnico-económico efetuado para a UPAC, em primeiro lugar, concluiu-se que apenas é viável utilizar a fonte solar para produzir eletricidade, visto o local onde a empresa se situa não registar suficiente velocidade do vento para proporcionar um desempenho aceitável a aerogeradores. Em segundo lugar, a melhor solução em termos de potência para uma UPAC é instalar 810,105 kW em painéis fotovoltaicos, com potência de ligação em inversores de 810 kW.

Do estudo técnico-económico realizado para a Central de Produção para venda de eletricidade à Rede Elétrica do Serviço Público, a melhor solução é instalar 2403,02 kW em painéis fotovoltaicos, acompanhando com 2403 kW em inversores.

Relativamente à análise económico-financeira realizada aos investimentos para cada uma das soluções, concluiu-se que a melhor solução é a instalação de uma UPAC, visto o seu investimento apresentar melhores indicadores económicos que os da Central de Produção.

Palavras-chave: Aerogeradores; Central de Produção; Energias Renováveis; Painéis fotovoltaicos; RESPOL; UPAC.

Abstract

The growing lack of non-renewable natural resources has, in the last years, encouraging the use of renewable energies, being a more and more pursued exercise by the companies, because it is seen as an opportunity to improve in the scope of energy efficiency.

This work consists on to indicate to the company RESPOL Resinas, SA a solution, in terms of power to install on, for electricity production using renewable energy sources, concerning solar and/or wind ones. For the using purposes of this electricity production system, it has been considered two options, a Production Unit for Self-consumption or a Power Plant to sell electricity to the Public Service Electric Grid. For each option, it was made a technical-economical study to obtain the best option in terms of power to install on. Posteriorly, it was made an economic-financial analysis that verifies which of them would be the best solution. After the economic-financial analysis, it was made a proposal for the sizing of the best option and a document for equipment specifications and terms. These procedures are on the appendix.

By the technical-economical study for the Production Unit for Self-consumption, firstly, it was concluded that it is only viable to use solar source to produce electricity, because the location of the company has insufficient wind speed the give a desirable performance to wind turbines. Secondly, the best solution in terms of power for a Production Unit for Self-consumption is to install 810.105 kW on photovoltaic modules, with 810 kW of connection power on inverters.

By the technical-economical study for the Power Plant to sell electricity to the Public Service Electric Grid, the best solution is to install 2403.02 kW on photovoltaic modules, with 2403 kW on inverters.

Relating to the economic-financial analysis made to the investments for each solution, it was concluded that the best option is to install a Production Unit for Self-Consumption, due to the better economical indicators than the Power Plant one.

Keywords: Photovoltaic modules; Power Plant; Production Unit for Self-consumption; Renewable energies; RESPOL; Wind turbines.

Lista de figuras

Figura 1 – Evolução da produção de energia elétrica em Portugal.....	2
Figura 2 – Produção de energia elétrica por fontes em 2015.....	2
Figura 3 – Edifício administrativo da RESPOL.....	7
Figura 4 – Localização da RESPOL	7
Figura 5 - Contentores contendo gema de pinheiro	9
Figura 6 - Malaxadores	9
Figura 7 - Tanques de decantação.....	10
Figura 8 - Torre de destilação	10
Figura 9 – Tela de arrefecimento e enchimento de sacos	11
Figura 10 – Colofónia produzida, armazenada em contentores.....	11
Figura 11 - Colofónia produzida armazenada num big bag.....	12
Figura 12 – AMP (Armazém de Matérias-Primas).....	13
Figura 13 – Contentores com colofónia importada.....	13
Figura 14 – Reatores onde ocorrem as reações químicas	14
Figura 15 – Telas de arrefecimento.....	14
Figura 16 – Flocculação da resina	15
Figura 17 – Tapete de transporte.....	15
Figura 18 – Enchimento de um big bag	16
Figura 19 – Zona de Quarentena.....	16
Figura 20 – Armazém de produto acabado	17
Figura 21 – Desagregação de consumos de energia em 2014.....	18
Figura 22 – Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental ...	19
Figura 23 – Diagrama de carga anual de 2016.....	20
Figura 24 – Diagrama de carga médio diário de 2016.....	20
Figura 25 – Constituição de um painel fotovoltaico	30
Figura 26 - Painel fotovoltaico cristalino simples.....	31
Figura 27 - Painel fotovoltaico policristalino.....	31
Figura 28 – Insolação anual segundo os pontos cardeais.....	33
Figura 29 – Captação da radiação solar	33
Figura 30 – Aerogerador Vestas V47/660	35
Figura 31 – Curva de potência do aerogerador Vestas V47/660	36

Figura 32 – Controlo de Pitch.....	37
Figura 33 – Controlo de Stall.....	38
Figura 34 – Aerogerador com catavento.....	38
Figura 35 - Inversor SMA STP 25000TL-30.....	39
Figura 36 – Exemplo de baterias de ácido de chumbo	40
Figura 37 – Bateria Tesla Powerwall.....	41
Figura 38 – Temperaturas médias mensais.....	44
Figura 39 – Intensidade da radiação solar diária em cada mês.....	44
Figura 40 – Velocidade do vento média diária em cada mês	45
Figura 41 – Vista aérea do local de instalação do sistema de energias renováveis e dos pavilhões da RESPOL (Google Maps)	47
Figura 42 – Vista para Sul	47
Figura 43 – Vista para Oeste.....	47
Figura 44 - Vista para Este	48
Figura 45 – Vista para Norte.....	48
Figura 46 – Estrutura de fixação de triângulo duplo.....	49
Figura 47 – Área de 4 hectares preenchida com painéis fotovoltaicos.....	49
Figura 48 – Simulação do número máximo de painéis fotovoltaicos a instalar	50
Figura 49 – Tanque	51
Figura 50 – Sombreamento do tanque no dia 14 de fevereiro de 2017 às 9:32 da manhã	52
Figura 51 – Sombreamento do tanque no dia 8 de maio de 2017 às 8:46 da manhã. 52	
Figura 52 – Simulação do sombreamento do tanque no mês de fevereiro de manhã 53	
Figura 53 – Simulação do sombreamento do tanque no mês de maio de manhã	54
Figura 54 - Simulação do sombreamento das árvores perto da ETARI no mês de maio no final da tarde	55
Figura 55 – Distância entre o terreno e o QGBT	56
Figura 56 – Logótipo do Homer	59
Figura 57 – Resultados do Mercado Ibérico para o dia 22 de abril de 2017	67
Figura 58 – Ecrã inicial do Homer.....	68
Figura 59 – Adição de equipamentos	68
Figura 60 – Sistema de energias renováveis a configurar	69
Figura 61 – Seleção da hiperligação “Primary Load 1”	70
Figura 62 – Janela “Primary Load Inputs”	70

Figura 63 - Janela “Primary Load Inputs” com o diagrama de carga carregado	71
Figura 64 – Seleção da hiperligação “Grid”	71
Figura 65 – Janela “Grid Inputs”	72
Figura 66 – Janela “Grid Inputs” configurada	72
Figura 67 – Inserção do valor da potência contratada.....	73
Figura 68 – Seleção da hiperligação “Converter”	74
Figura 69 – Janela “Converter Inputs”	74
Figura 70 – Seleção da hiperligação “Wind Turbine 1”	75
Figura 71 – Janela “Wind Turbine 1”	76
Figura 72 - Seleção da hiperligação “PV”	76
Figura 73 – Janela “PV Inputs”	77
Figura 74 – Seleção da hiperligação “Solar resource”	78
Figura 75 – Janela “Solar Resource Inputs”	78
Figura 76 – Seleção da hiperligação “Wind resource”	79
Figura 77 – Janela “Wind resource inputs”	79
Figura 78 – Seleção da hiperligação “Temperature”	80
Figura 79 – Janela “Temperature Inputs”	80
Figura 80 – Número de combinações para o Homer simular.....	81
Figura 81 – Resultados da simulação efetuada pelo Homer	81
Figura 82 – Diagramas de carga médios diários com e sem UPAC	84
Figura 83 – Fluxo monetário acumulado ao longo do tempo de vida da UPAC	87
Figura 84 – Equipamentos a considerar na CP para venda à rede	90
Figura 85 - Janela “Grid Inputs” configurada da CP para venda à rede	91
Figura 86 – Inserção do limite de venda à rede	91
Figura 87 – Configuração da gama de potência dos inversores.....	92
Figura 88 – Configuração dos painéis fotovoltaicos para a CP de venda à rede	92
Figura 89 – Combinações a simular pelo Homer na CP para venda à rede	93
Figura 90 – Resultados da simulação no Homer para a CP para venda à rede	93
Figura 91 – Fluxo monetário acumulado ao longo do tempo de vida da CP para venda à rede	96
Figura 92 – Cálculo do número de painéis fotovoltaicos para a UPAC	105
Figura 93 – Seleção do inversor.....	106
Figura 94 – Arranjo das strings no sistema parcial 1	107
Figura 95 – Arranjo das strings no sistema parcial 2	107

Figura 96 – Resultados do arranjo das strings em inversores.....	108
Figura 97 – Alterações aos cabos DC.....	108
Figura 98 – Alterações aos cabos AC.....	109
Figura 99 – Esquema de ligação simplificado das strings e dos cabos AC.....	109
Figura 100 – Estrutura de fixação de triângulo duplo.....	110
Figura 101 – Desenho CAD do esquema elétrico da UPAC.....	111
Figura 102 – Layout 3D do projeto da UPAC.....	112

Lista de tabelas

Tabela 1 – Principais matérias utilizadas para a produção de resinas.....	12
Tabela 2 – Valores dos consumos de energia ativa por período tarifário	21
Tabela 3 - Medidas de racionalização de consumos previstas no PReN 2015-2020 .	23
Tabela 4 - Tarifas de compra de eletricidade e potência em horas de Ponta	61
Tabela 5 – Radiação solar média mensal	62
Tabela 6 – Temperatura média mensal	63
Tabela 7 – Velocidade do vento média mensal.....	63
Tabela 8 – Equipamentos e serviços incluídos num orçamento de um sistema fotovoltaico	65
Tabela 9 – Preços por potência-pico recolhidos	65
Tabela 10 – Energia elétrica produzida pela UPAC	83
Tabela 11 – Valores estimados dos consumos de eletricidade por período tarifário .	84
Tabela 12 – Encargos em energia ativa por período tarifário	85
Tabela 13 – Pressupostos considerados no investimento na UPAC	85
Tabela 14 – Indicadores económicos	86
Tabela 15 – Energia elétrica produzida pela CP para venda à rede	94
Tabela 16 – Pressupostos referentes ao investimento na UPAC.....	95
Tabela 17 – Indicadores económicos do investimento na CP para venda à rede.....	95

Lista de siglas

- AC – Corrente Alternada
- AM – Índice Ar-Massa
- AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
- CIE – (Instalação) Consumidora Intensiva de Energia
- CIEG – Custos de interesse económico geral
- CP – Central de Produção
- CUR – Comercializador de Último Recurso
- DC – Corrente Contínua
- ETARI – Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais
- ISO – *International Organization for Standardization*
- IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado
- kgep – Quilograma(s) Equivalente(s) de Petróleo
- kWp – Quilowatt-pico
- LED – *Light Emitting Diode*
- MT – Média Tensão
- NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
- NPC – *Net Present Cost*
- OMIE – Operador de Mercado Ibérico de Energia
- QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão
- PREn – Plano de Racionalização do Consumo de Energia
- RESP – Rede Elétrica do Serviço Público
- ROI – Retorno do Investimento
- SA – Sociedade Anónima
- SEN – Sistema Elétrico Nacional

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SERUP – Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recurso Hídricos

tep – Tonelada(s) equivalente(s) de petróleo

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

UP – Unidade(s) de Produção

UPAC – Unidade(s) de Produção de Autoconsumo

UPP – Unidade(s) de Pequena Produção

VAL – Valor Atual Líquido

VEV – Variador eletrónico de velocidade

Índice

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVII
ÍNDICE	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Produção de energia elétrica em Portugal	1
1.2. Motivação e âmbito	3
1.3. Objetivos e metodologia	3
2. CARACTERIZAÇÃO DA RESPOL	7
2.1. Processo produtivo	8
2.1.1. Produção de colofónia e aguarrás	8
2.1.2. Produção de resinas	12
2.2. Serviços Auxiliares	17
2.3. Consumos de energia	18
2.3.1. Desagregação de consumos	18
2.3.2. Compra de eletricidade	19
2.3.3. Consumos de eletricidade	19
2.4. Preocupações ambientais	22
	xix

3.	PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS	25
3.1.	Enquadramento legal	25
3.1.1.	Decreto-Lei nº 29/2006	25
3.1.2.	Decreto-Lei nº 153/2014	26
3.1.3.	Decreto-Lei nº 215-B/2012	28
3.2.	Principais constituintes de um sistema de energias renováveis	29
3.2.1.	Painéis fotovoltaicos	29
3.2.2.	Aerogeradores	34
3.2.3.	Inversores	39
3.2.4.	Baterias	40
4.	AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE INSTALAÇÃO DE SISTEMAS RENOVÁVEIS NA RESPOL	43
4.1.	Caracterização dos recursos do local	43
4.1.1.	Temperatura média do ar	43
4.1.2.	Recurso Solar	44
4.1.3.	Recurso Eólico	45
4.2.	Legislação em vigor	46
4.3.	Local da instalação de um sistema de energias renováveis	46
4.3.1.	Área disponível	46
4.3.2.	Análise do sombreamento	51
4.3.3.	Capacidade de drenagem do solo	55
4.4.	Instalações elétricas	56
4.5.	Síntese e veredito	57
5.	ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA UPAC	59
5.1.	Recolha e preparação de dados	60
5.1.1.	Recolha dos dados de consumo de eletricidade do ano de 2016	61
5.1.2.	Recolha dos valores das tarifas de compra de eletricidade	61
5.1.3.	Recolha dos dados da temperatura média e do recurso solar	62
5.1.4.	Recolha dos dados mensais do recurso eólico	63
5.1.5.	Definição dos equipamentos	64

5.1.6.	Definição dos preços por potência de painéis fotovoltaicos e de inversores	65
5.1.7.	Definição dos preços por potência de aerogeradores	66
5.1.8.	Cálculo da remuneração da energia proveniente de uma UPAC	66
5.2.	Simulação no software Homer	67
5.2.1.	Adição de equipamentos	67
5.2.2.	Introdução de dados	69
5.2.3.	Cálculo	80
5.3.	Discussão de resultados	81
5.3.1.	Validação técnica da solução obtida no Homer	82
5.3.2.	Energia produzida pela UPAC	82
5.3.3.	Análise ao autoconsumo	83
5.3.4.	Análise económico-financeira do projeto	85
6.	ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA CP PARA VENDA À REDE	89
6.1.	Preparação de dados	89
6.1.1.	Potência máxima implementar para painéis fotovoltaicos	89
6.1.2.	Tarifa de venda à rede	89
6.2.	Simulação no Homer	90
6.2.1.	Adição de equipamentos	90
6.2.2.	Introdução de dados	90
6.2.3.	Cálculo	93
6.3.	Discussão de resultados	94
6.3.1.	Validação técnica da solução obtida no Homer	94
6.3.2.	Energia produzida	94
6.3.3.	Análise económico-financeira do projeto	95
7.	CONCLUSÕES	97
7.1.	Considerações finais	98
7.2.	Sugestões para trabalhos futuros	99
	BIBLIOGRAFIA	101

ANEXOS	105
1. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	105
1.1. Dimensionamento das strings	105
1.2. Dimensionamento dos cabos	108
1.3. Dimensionamento da instalação do sistema fotovoltaico	109
1.4. Desenho CAD do esquema elétrico da UPAC	111
1.5. Layout 3D do projeto	112
2. CADERNO DE ENCARGOS	113

1. Introdução

É necessário ter cada vez mais em consideração os problemas ambientais, pois devido ao constante aumento populacional a nível mundial e à evolução da indústria, as necessidades energéticas das populações tendem a aumentar, o que leva à necessidade de aumentar a produção de energia elétrica.

As atividades de produção de energia elétrica trazem efeitos negativos ao meio ambiente sempre que for levada a cabo através de fontes de energia não renovável, pois esta prática envolve não só o caminho para a escassez de recursos dispendiosos para o Homem, como também promove o aumento de emissões para o meio ambiente, que terá como consequência o agravamento dos níveis de poluição ambiental, prejudicando a qualidade de vida. A fim de se contrariar, ou pelo menos mitigar esse cenário, o Homem terá que promover cada vez mais o recurso às fontes de energia renovável para satisfazer as suas necessidades energéticas do dia-a-dia.

O termo “renovável” quando relacionado a uma fonte de energia refere que a sua capacidade de se regenerar aquando do seu proveito, dá-se de um modo sustentável, pelo que essa regeneração se dá no espaço de um determinado período de tempo aceitável favorável ao Homem [1]. Além desta vantagem, o recurso às fontes de energia renovável também se apresenta de modo inofensivo para o meio ambiente, pois a sua produção não provoca emissões de substâncias prejudiciais ao ambiente e ao Homem, como se verifica com as fontes de energia não renovável. O carvão, o gás natural, o gásóleo e o fuelóleo, fontes não renováveis, emitem substâncias prejudiciais ao meio ambiente e, consecutivamente, ao Homem, pois para que se produza energia elétrica a partir destas fontes é necessário que ocorra reações de combustão, libertando gases e partículas perigosas para o ambiente [2].

As fontes de energia renovável incluem diversas origens, como a biomassa, a energia geotérmica, a energia hídrica, a energia solar e a energia eólica [1].

1.1. Produção de energia elétrica em Portugal

Acompanhando a tendência mundial, com o passar dos anos, a produção de energia elétrica em Portugal tem também aumentado, visto que as necessidades energéticas e a população em território nacional aumentaram nas duas últimas décadas. Verificou-se uma

tendência de aumento significativo na produção de energia de fonte renovável, como se pode observar na Figura 1 [3].

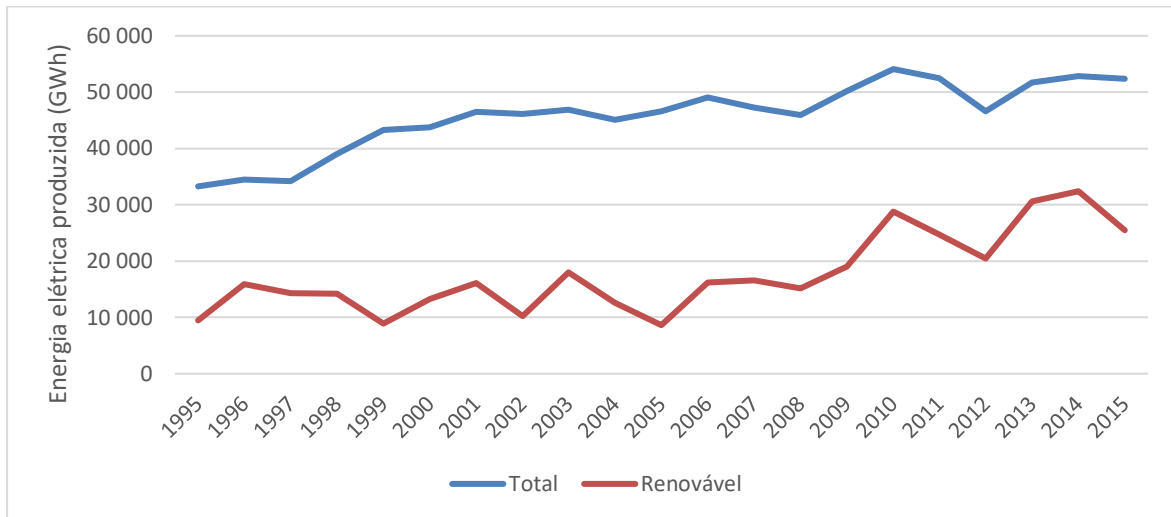


Figura 1 – Evolução da produção de energia elétrica em Portugal

A produção de energia elétrica a nível nacional, com recurso a fontes de energia renovável, tem vindo a aumentar nas duas últimas décadas, devido aos avanços tecnológicos na área das energias renováveis e também devido ao aumento do investimento em produção de energia elétrica através de fontes de energia renovável. Atualmente, a produção de energia elétrica através de fontes de energias renováveis representa mais de metade da produção total de energia elétrica [3].

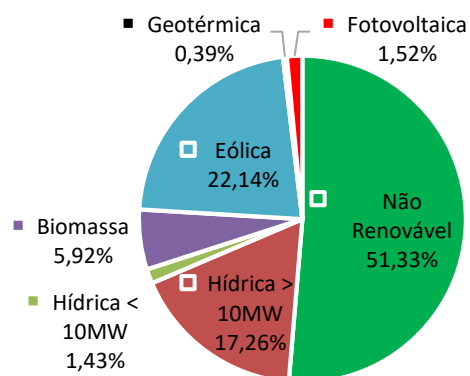


Figura 2 – Produção de energia elétrica por fontes em 2015

A Figura 2 representa um gráfico circular que indica a produção de energia elétrica em Portugal consoante a sua fonte de produção no ano civil de 2015. Observa-se que a produção de energia elétrica através de fontes não renováveis representa aproximadamente 50% da produção total, sendo de 52 421 GWh. Observa-se ainda que as fontes de energia renovável

que mais contribuíram para a produção de energia elétrica são as fontes de energia eólica e energia hídrica, contribuindo 22,14 % e 17,69 % respetivamente. Em relação à energia fotovoltaica e à biomassa, ambas representam cada respetivamente 1,52 % e 5,92 % da produção total [3].

1.2. Motivação e âmbito

A realização deste trabalho encontra-se ao abrigo de um estágio curricular do Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, afeto à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

O presente trabalho enquadra-se no âmbito da eficiência energética, embora o seu foco seja relativo à produção de eletricidade com recurso às fontes renováveis solar e eólica. No entanto a procura contínua por melhorias na área da eficiência energética não deve ser desconsiderada.

1.3. Objetivos e metodologia

Neste trabalho, pretende-se efetuar um estudo sobre a viabilidade técnica e económica da implementação de um sistema de energias renováveis, utilizando como fontes solar e/ou eólica, na empresa RESPOL Resinas, SA em Leiria.

A referida empresa pretende, através da instalação de um sistema de energias renováveis, obter uma solução rentável economicamente, tendo como opções, instalar uma Unidade de Produção de Autoconsumo (UPAC) ou instalar uma Central de Produção para venda à rede.

O estudo da solução técnica e economicamente mais viável é o objetivo principal deste projeto, como já foi referido anteriormente. Para esse estudo, recorrer-se-á a um *software* de simulação. Posteriormente, proceder-se-á à caracterização da viabilidade económico-financeira do investimento no projeto de energias renováveis referente à solução obtida no *software* de simulação através da determinação de indicadores económicos a considerar num investimento como o que está em questão.

O presente trabalho compreende a realização de um projeto de energias renováveis para a RESPOL, através da execução das seguintes tarefas:

- 1) Avaliar a possibilidade de a RESPOL poder instalar um sistema de energias renováveis nas suas instalações;
- 2) Determinar a melhor solução técnico-económica e a sua viabilidade económico-financeira para as seguintes opções:
 - Unidade de Produção para Autoconsumo;
 - Central de Produção para venda à rede.

Neste sentido, este relatório é composto por sete capítulos, incluindo o presente capítulo de Introdução, e está organizado da seguinte forma:

No capítulo 2, *Caracterização da RESPOL*, consta a apresentação da empresa, referenciando o seu ramo industrial, a sua atividade produtiva e os seus consumos de energia, nomeadamente os consumos de eletricidade.

O capítulo 3, *Produção de eletricidade a partir de fontes renováveis*, aborda produção de eletricidade a partir de fontes renováveis em Portugal, referenciando a legislação em vigor, os tipos e os principais constituintes de um sistema de produção de eletricidade a partir de fontes renováveis

No capítulo 4, *Avaliação da possibilidade de instalação de sistemas renováveis na RESPOL*, é efetuada uma avaliação à possibilidade de a RESPOL poder instalar equipamentos, tendo em consideração os recursos renováveis na sua localidade, o seu espaço disponível e as limitações impostas pela legislação

O capítulo 5, *Estudo da viabilidade da implementação de uma UPAC*, compreende em obter através de uma simulação no *software Homer* a melhor solução em termos técnico-económicos de uma Unidade de Produção para Autoconsumo e ainda avaliar o desempenho económico-financeiro do seu investimento, com o auxílio de uma folha de cálculo de Excel.

O capítulo 6, *Estudo da viabilidade da implementação de uma CP para venda à rede*, compreende as mesmas tarefas indicadas no capítulo 5, sendo que nesse presente capítulo se está a avaliar uma Central de Produção para venda à rede ao invés de uma Unidade de Produção para Autoconsumo.

No capítulo 7, *Conclusões*, são apresentadas as conclusões resultantes do presente trabalho, as considerações acerca do estágio realizado e são sugeridas tarefas relacionadas com este trabalho a desenvolver no futuro.

Este relatório inclui ainda, em anexo, o dimensionamento da melhor solução, onde consta:

- Proposta de equipamentos a utilizar;
- Dimensionamento de *strings* (configuração do esquema das ligações elétricas do sistema);
- Desenho CAD do esquema simplificado das ligações elétricas do sistema;
- Representação de um *layout* do projeto em modelo 3D;
- Caderno de encargos.

2. Caracterização da RESPOL

A RESPOL RESINAS, SA é uma empresa localizada em Pinheiros, localidade pertencente à União das Freguesias de Marrazes e Barosa do concelho de Leiria e foi fundada em 1993.

A Figura 3 e a Figura 4 representam respetivamente, imagens do edifício administrativo e da localização da empresa.



Figura 3 – Edifício administrativo da RESPOL

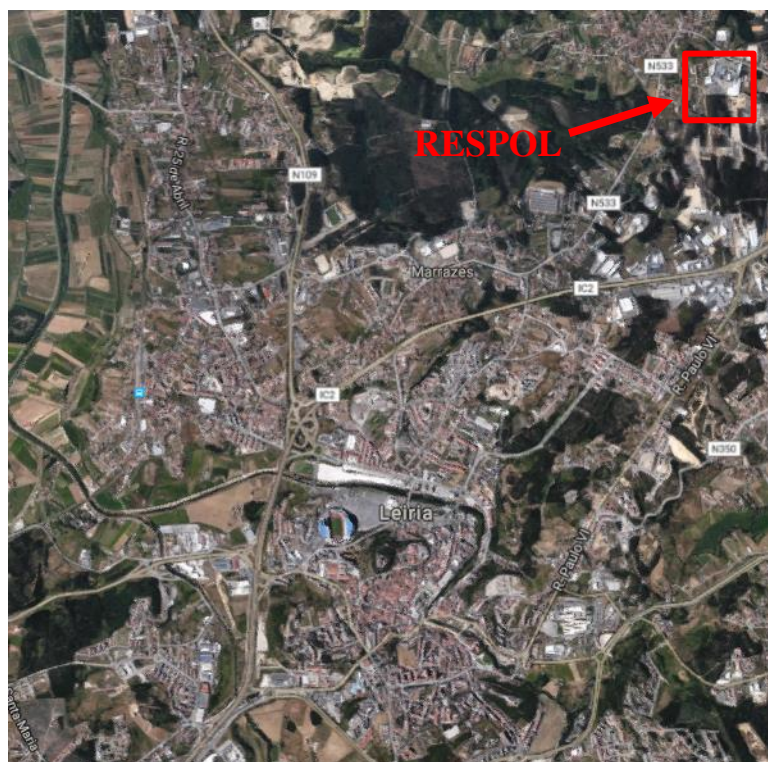


Figura 4 – Localização da RESPOL

A empresa, que conta com mais de 100 trabalhadores, tem como objetivo a produção e a comercialização de resinas que têm como possíveis aplicações as indústrias de adesivos, cosmética, vernizes para tintas de impressão ou tintas de marcação do pavimento das estradas [4].

A caracterização da RESPOL, ao longo deste capítulo, visa descrever os processos produtivos, apresentar sucintamente os restantes serviços auxiliares existentes nas suas instalações e caracterizar os seus consumos de energia.

2.1. Processo produtivo

As atividades produtivas da empresa abrangem um horário de 24h de laboração (laboração contínua), segundo 3 turnos diários, 7 dias por semana, perfazendo anualmente cerca de 326 dias de laboração. Os horários dos turnos são os seguintes:

- 5:00 às 13:00;
- 13:00 às 21:00;
- 21:00 às 5:00 [5].

As atividades produtivas levadas a cabo na RESPOL estão divididas em duas vertentes [6]:

- 1) Produção de colofónia e aguarrás;
- 2) Produção de resinas.

2.1.1. Produção de colofónia e aguarrás

A produção de colofónia inicia-se com a aquisição de gema do pinheiro a proprietários de pinhal e a resineiros que se dedicam à atividade de recolha de resina. A gema do pinheiro é armazenada em contentores cilíndricos, como se pode verificar na Figura 5.



Figura 5 - Contentores contendo gema de pinheiro

A gema armazenada nos contentores é então encaminhada para a destilaria para se obter a colofónia. A gema do pinheiro começa por ser dissolvida em água quente para se tornar líquida nos malaxadores, representados na Figura 6, sendo seguidamente filtrada para remoção de impurezas.



Figura 6 - Malaxadores

Posteriormente sofre uma decantação, cuja duração é no mínimo de 24 horas, no sentido de separar a água da gema. Deste processo de decantação é obtida a colofónia e um subproduto, a aguarrás.

A Figura 7 representa dois tanques de decantação pertencentes à destilaria da RESPOL.



Figura 7 - Tanques de decantação

Após a decantação, a colofónia é então destilada. No processo de destilação, são arrastadas ou evaporadas através de vapor de água as impurezas de baixo peso molecular da colofónia que não foram removidas na filtração. Do processo de destilação é obtida uma colofónia mais purificada. O processo de destilação ocorre numa torre de destilação, como se pode ver na Figura 8.



Figura 8 - Torre de destilação

Após a destilação, a colofónia encontra-se em estado líquido e é encaminhada para telas refrigeradas para arrefecer e posteriormente solidificar, como se pode observar na Figura 9.



Figura 9 – Tela de arrefecimento e enchimento de sacos

À medida que a colofónia chega à extremidade do tapete, esta parte-se em flocos. No final a colofónia apresenta-se em forma floculada, sendo por fim ensacada.

A colofónia resultante destes processos é armazenada em contentores e em *big bags*, como se pode observar na Figura 10 e na Figura 11. A colofónia obtida na destilaria pode seguir dois destinos, sendo que um é ser encaminhada para a produção de resinas, sendo usada como uma das matérias-primas para a produção dessas resinas e o outro é a venda direta a clientes.



Figura 10 – Colofónia produzida, armazenada em contentores



Figura 11 - Colofónia produzida armazenada num big biag

A aguarrás formada no processo é armazenada em depósitos adequados e é posteriormente encaminhada para venda [7].

2.1.2. Produção de resinas

A produção das resinas está dividida em 3 processos produtivos independentes, sendo a produção de resinas derivadas da colofónia de alto ponto de fusão (sólidas), a produção de resinas derivadas da colofónia de baixo ponto de fusão (ésteres) e a produção de vernizes para tintas de impressão [8]. O processo produtivo é comum a todas as resinas produzidas, pelo que apenas difere o processamento da reação química e a seleção das matérias-primas [6].

O processo produtivo inicia-se com a receção de matérias-primas, que são organizadas e armazenadas consoante o seu estado físico e a sua composição, à temperatura ambiente. Na produção de resinas, são utilizadas matérias-primas sólidas e líquidas. As principais matérias-primas utilizadas para a produção de resinas encontram-se listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais matérias utilizadas para a produção de resinas

Matérias-primas sólidas	Matérias-primas líquidas
Colofónia produzida na destilaria	Óleo de soja
Tall Oil (Colofónia importada)	Glicerina
Álcool pentaeritritol	Butilfenol
Anidrido maleico	
Formaldeído	
Ácido fumárico	

Posteriormente, as matérias-primas necessárias seguem para a reação química, que é considerada a etapa principal do processo de produção, pois é a partir da reação química que se obtém o produto final.

A Figura 12 mostra o armazenamento de algumas das matérias-primas utilizadas para a produção das resinas duras, entre elas o butilfenol (tanques mais atrás).



Figura 12 – AMP (Armazém de Matérias-Primas)

A Figura 13 mostra o armazenamento da colofónia importada em pequenos contentores.



Figura 13 – Contentores com colofónia importada

A reação química tem ao seu dispor 10 reatores cilíndricos com agitação e a temperaturas compreendidas entre 260 °C e 280 °C, sendo que nove possuem uma capacidade de cerca de 30 m³ e um cerca de 10 m³. Os reatores operam em processo

descontínuo ou “*batch*”. A Figura 14 representa os reatores na unidade de produção da empresa.



Figura 14 – Reatores onde ocorrem as reações químicas

Após a reação química, a resina passa pelo processo de floculação, que consiste em arrefecer, solidificar e posteriormente flocular a resina produzida nos reatores, que sai dos mesmos a temperaturas entre 260 °C e 280 °C. A resina produzida nos reatores é descarregada para telas de arrefecimento, também designadas de *flakers*. O arrefecimento da resina é levado a cabo pela pulverização das telas com água fria, que ao entrar em contacto com a resina, irá ajudá-la a solidificar. A Figura 15 mostra uma das telas de arrefecimento a transportar a resina.



Figura 15 – Telas de arrefecimento

A resina é floculada assim que chega à extremidade da tela. Graças à forma curva da tela, o filme da resina parte-se em flocos quando estes caem no tapete que a levará ao seu embalamento, como se pode observar desde a Figura 16 à Figura 18.

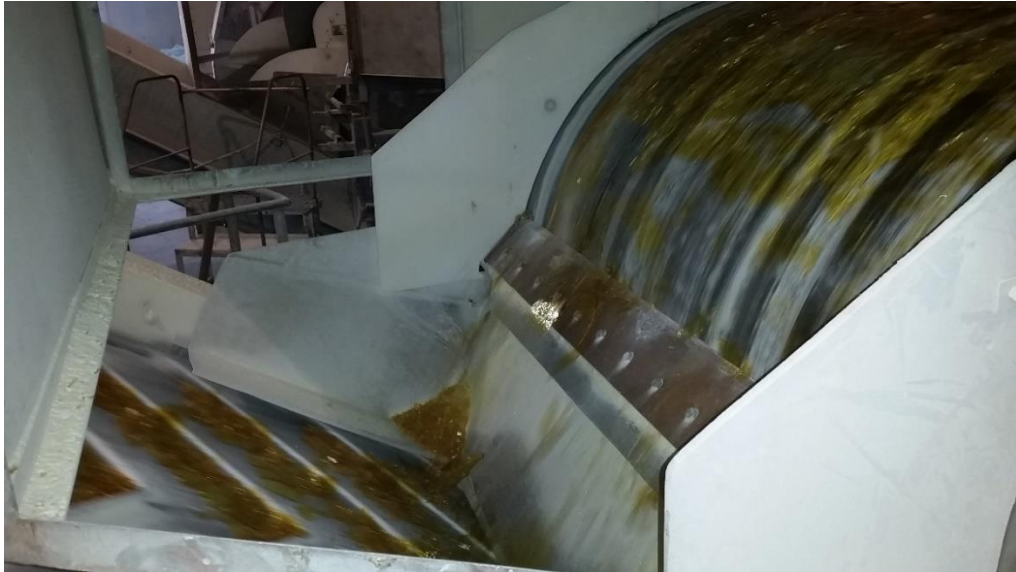


Figura 16 – Floculação da resina

O embalamento é a etapa posterior à floculação e consiste em embalar a resina produzida em sacos pequenos e em sacos grandes ou *big bags*.



Figura 17 – Tapete de transporte



Figura 18 – Enchimento de um big bag

Enquanto se dá o embalamento da resina, são recolhidas amostras no tapete que transporta a resina, para análise laboratorial. Este procedimento tem como objetivo avaliar a conformidade da resina em termos comerciais, isto é, a resina é analisada mediante determinados parâmetros que indicarão se a resina está conforme os padrões de qualidade definidos para o cliente em questão. Enquanto a amostra de resina é analisada, os sacos que contêm as resinas aguardam na Zona de Quarentena o resultado do laboratório, estando mostrada na Figura 19.



Figura 19 – Zona de Quarentena

Se a resina estiver conforme, segue para o armazém de produto acabado. Caso contrário, esta segue para uma zona de rejeição, aguardando a sua decisão comercial, onde

uma das soluções poderá ser o encaminhamento da resina para outro tipo de cliente. A resina que se encontra em armazém de produto acabado é diretamente descarregada para camiões que a encaminharão para o cliente [6].



Figura 20 – Armazém de produto acabado

2.2. Serviços Auxiliares

Além da destilaria e da unidade de produção, a RESPOL inclui os seguintes serviços:

- ETARI (Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais):
 - Esta unidade procede ao tratamento de resíduos industriais resultantes dos processos de produção.
- Oficina:
 - Operações de manutenção de máquinas, viaturas e outros equipamentos afetos à fábrica.
- Laboratório:
 - Controlo da conformidade das resinas produzidas e investigação científica.
- Departamento de arquitetura:
 - Execução de projetos para a empresa.
- Escritórios:
 - Local onde se realizam as atividades administrativas e gestoras da empresa.
- Cantina:
 - Serve refeições aos funcionários da empresa.

2.3. Consumos de energia

Os consumos de energia por parte da RESOL desagregam-se em eletricidade, gás natural e gasóleo. Apesar de este projeto se incluir no âmbito da eficiência energética/energias renováveis, o seu foco neste subcapítulo, está direcionado para os consumos de eletricidade.

A eletricidade alimenta a iluminação, equipamentos de força motriz, equipamentos informáticos, entre outros. O gás natural é utilizado para as caldeiras de termofluido e de vapor e o gasóleo é utilizado para empilhadores, gerador de emergência e viaturas da empresa.

2.3.1. Desagregação de consumos

A desagregação dos consumos por fonte de energia consumida pela RESPOL consta no relatório da auditoria energética a que a empresa foi submetida em dezembro de 2015 (elaborado pela empresa Pedamb). Os valores da desagregação de consumos apresentados são referentes ao ano de 2014, pelo que para o presente ano de 2017, os valores possam diferir.

No gráfico da Figura 21, pode-se observar a desagregação de consumos, tendo como base os consumos das várias fontes energéticas em toneladas equivalentes de petróleo (tep).

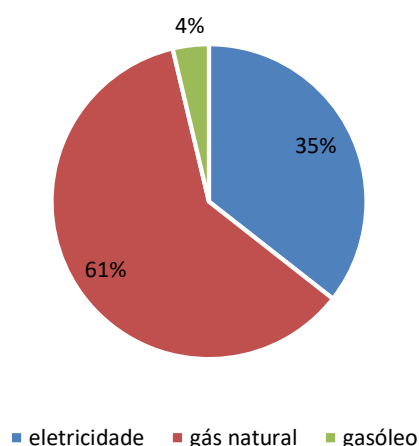


Figura 21 – Desagregação de consumos de energia em 2014

Pela observação do gráfico da Figura 21, no ano de 2014, o consumo de eletricidade representa cerca de 35% da totalidade de energia consumida, contando com 855,556 tep. O gás natural corresponde a cerca de 61%, representando-se com 1 459,717 tep. Por seu lado,

o gásóleo, com cerca de 4%, consumiu 90,379 tep. No total, a RESPOL contou nesse ano com um consumo total de energia total de 2 405,652 tep [9].

2.3.2. Compra de eletricidade

Nesta secção, será dada uma breve abordagem ao contrato de compra de eletricidade de que a RESPOL possui. Nesse encontra-se estabelecida uma potência contratada de 973 kW (abastecido por um posto de transformação com 1250 kVA), contando com uma tarifa de ciclo semanal, a Média Tensão e tetra horária, com os seguintes períodos tarifários:

- Ponta;
- Cheia;
- Vazio;
- Super vazio.

Os horários relativos aos períodos tarifários acima mencionados estão explícitos na Figura 22 [10].

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Figura 22 – Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental

2.3.3. Consumos de eletricidade

Nesta secção, dar-se-á uma análise aos consumos de eletricidade à rede, considerando os consumos de energia ativa. Nesse sentido, far-se-á uma abordagem aos diagramas de carga anual e médio diário da eletricidade consumida pela RESPOL e á desagregação de consumos de eletricidade por período tarifário.

O diagrama de carga anual é referente ao ano de 2016, e encontra-se representado na Figura 23.

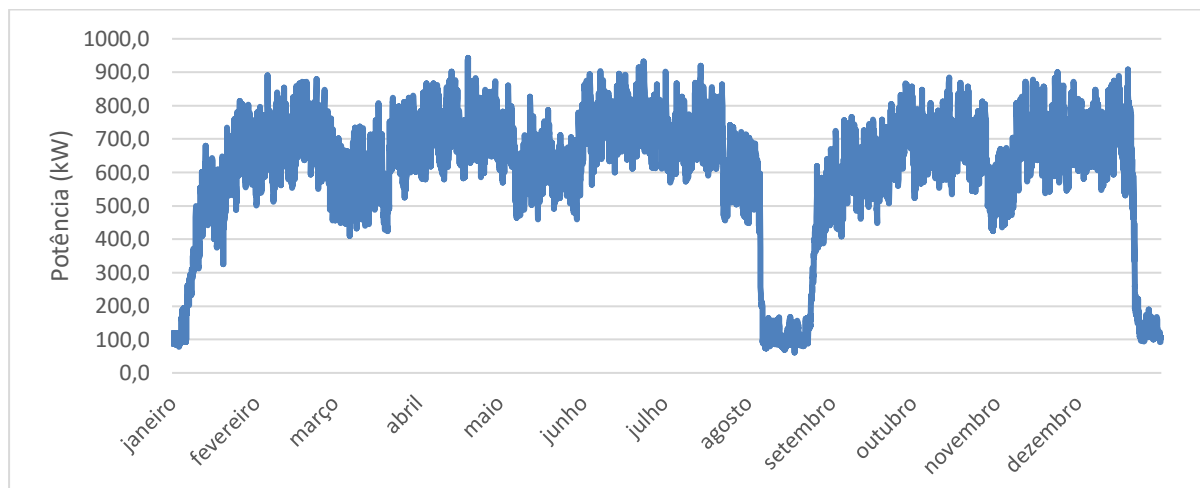


Figura 23 – Diagrama de carga anual de 2016

Pela análise do diagrama de carga mostrado anteriormente, verifica-se que os valores de potência têm tendência a se manterem, em grande parte do ano, entre os 500 kW e os 800 kW. No entanto, em diversas ocasiões, atingiram-se mínimos de 400 kW e máximos de 900 kW. De destacar também, que os consumos são bastante mais baixos no início de janeiro, em quase todo o mês de agosto e em finais de dezembro. Estas quebras devem-se às paragens de produção durante os períodos de férias no Verão e de Natal.

Em 2016, a RESPOL consumiu em energia elétrica, à Rede Elétrica do Serviço Público, um total de 5 330 092 kWh [11]. O diagrama de carga médio diário, também do ano de 2016, encontra-se representado no gráfico da Figura 24.

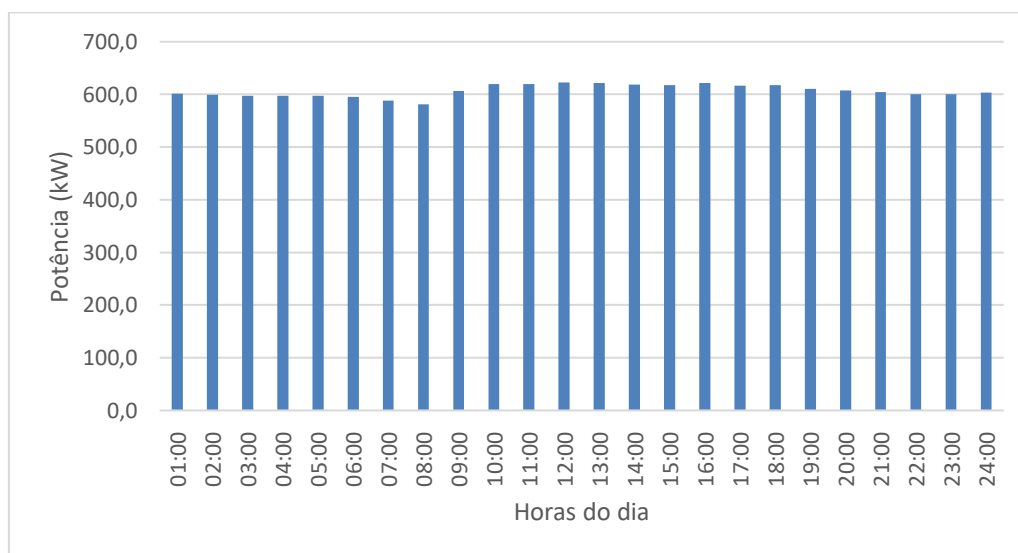


Figura 24 – Diagrama de carga médio diário de 2016

Pela observação do gráfico da Figura 24, verifica-se que o diagrama de carga médio diário é bastante regular ao longo do dia, apresentando sempre valores de potência próximos dos 600 kW. De referir que entre as 9:00 e as 18:00, observável no gráfico, os consumos sobem ligeiramente acima da média de 600 kW, devido a uma parte dos trabalhadores da RESPOL trabalharem nas instalações da empresa entre as 8:30 e as 18:00, utilizando equipamentos, como iluminação, computadores, sistemas AVAC, equipamentos de força motriz, entre outros.

Os valores da desagregação dos consumos de eletricidade por período tarifário e ano foram estimados através de uma simulação no *software Homer* e encontram-se explícitos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores dos consumos de energia ativa por período tarifário

Período tarifário	Energia ativa consumida [kWh]	Percentagem
Ponta	669 222	13%
Cheia	2 499 074	47%
Vazio	1 288 165	24%
Super Vazio	873 631	16%
TOTAL	5 330 092	100%

Pela leitura da Tabela 2, observa-se que o período com a maior parte dos consumos é período de horas de Cheia. Nesse período, consome-se 2 499 074 kWh, representando cerca de 47% da energia diária, pelo que é o período que abrange mais horas da semana em relação aos restantes. O período com menor consumo de energia é o período de horas de Ponta, pelo motivo de ser o período com menos horas por semana. Uma vez que os consumos de eletricidade da RESPOL são praticamente constantes ao longo do dia, tal como se verificou no gráfico da Figura 23, o consumo em cada período horário acaba por depender do número de horas desses mesmos períodos, visto não existir em nenhum momento do dia um período com maiores consumos de forma expressiva, apesar de se verificar um ligeiro aumento nos consumos entre as 9:00 e as 18:00, como já se pôde verificar na Figura 23. Os períodos de Ponta, Vazio e Super Vazio representam, respetivamente 13%, 24% e 16% dos consumos totais de energia ativa.

2.4. Preocupações ambientais

A RESPOL dispõe de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) sendo certificada pela norma ambiental ISO 14001 pelo que indica que é uma empresa recetiva às questões ambientais.

Em termos energéticos, existem dois caminhos para uma empresa ser mais rentável, sendo uma a adoção de práticas de eficiência energética e outra a aposta em fontes de energia renováveis, pelo que a instalação de um sistema de energias renováveis também constitui uma medida inserida nas práticas de preocupações ambientais. A eficiência energética caracteriza-se por uma abordagem à melhoria contínua no que diz respeito a consumos de energia.

Em relação aos consumos de energia, a RESPOL é uma empresa CIE (instalação com Consumo Intensivo de Energia), superando o valor de 500 tep anuais, como já mencionado anteriormente. Através do Decreto-Lei nº 71/2008, as empresas com consumos superiores a 500 tep são obrigadas a realizar auditorias energéticas [12].

Em dezembro de 2015 foi realizada a última auditoria energética à RESPOL. Durante mais 6 anos, a RESPOL compromete-se a reduzir em 6% a energia consumida, e foram ainda implementadas medidas de racionalização de consumos para o período 2015-2020, com o objetivo de reduzir consumos de energia e de emissões, indicadas na Tabela 3 [9].

Pela leitura da Tabela 3, foram agendadas medidas de racionalização nos anos de 2015, 2016 e 2017. Pode-se observar que estas medidas têm como objetivo reduzir os consumos de energia e as emissões de CO₂.

Das medidas apresentadas, destacam-se as ações de afinação de caldeiras para se obter um melhor rendimento energético e reduzir o teor de poluentes emitidos, a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares T8 para um tipo de lâmpada mais eficiente, sendo de tecnologia LED [13]. Destaca-se também a introdução de VEV nas bombas de água das torres, que servem os reatores e a destilaria, permitindo ajustar o seu regime de trabalho de acordo com as flutuações de carga. De referir ainda aquisição de um compressor de ar mais eficiente [14].

Tabela 3 - Medidas de racionalização de consumos previstas no PReN 2015-2020

N.º	Medidas previstas	Economia		TOTAL [kgep]	Emissões CO ₂ [ton]	Ano de implementação
		Eletricidade [kWh]	Gás Natural [kg]			
1	Isolamento das redes de vapor e de termofluído	-	19,913	21,447	57,6	2015
2	Isolamento de depósitos de condensados	-	12,984	13,983	37,5	2017
3	Requalificação / manutenção da central e rede de vapor	-	45,082	48,553	130,3	2017
4	Afinação da combustão da caldeira de termofluído 3 Gcal	-	16,041	17,276	46,4	2016
5	Afinar Caldeira vapor 2 (a GN), eliminando o elevado teor de CO detetado na exaustão	-	8,080	8,702	23,4	2016
6	Substituição das armaduras com lâmpadas fluorescentes tubulares T8, com balastro indutivo, por armaduras LED	25,179	-	5,413	11,8	2017
7	Introdução de VEV nas bombas de água das torres, que servem os reatores e a destilaria	80,141	-	17,230	37,7	2017
8	Reforço das ações de redução de fugas de ar comprimido	28,957	-	6,226	13,6	2016
9	Aquisição de novo compressor de ar, mais eficiente, para a produção de ar comprimido	162,739	-	34,989	76,5	2017
TOTAL		297,016	102,100	173,820	434,7	

3. Produção de eletricidade a partir de fontes renováveis

No presente capítulo, abordar-se-á a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, referenciando a legislação em vigor, os tipos e os principais constituintes de um sistema de produção de eletricidade a partir de fontes renováveis.

3.1. Enquadramento legal

A produção de eletricidade, com recurso a fontes de energias renováveis é abordada nos seguintes diplomas legais:

- Decreto-Lei nº 29/2006;
- Decreto-Lei nº 153/2014;
- Decreto-Lei nº 215-B/2012.

O Decreto-Lei nº 153/2014 é o diploma legal alvo deste projeto, pois é esse documento que, oficialmente, impõe os limites de potência de instalação de sistemas de energias renováveis. No entanto, a instalação de potências superiores às referidas nesse Decreto-Lei requer outros procedimentos, sujeitos a aprovação por entidades como o Governo Português e/ou a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). Estes procedimentos serão referidos nas secções 2.1.3 e 2.1.4 [15].

3.1.1. Decreto-Lei nº 29/2006

Através do presente Decreto-Lei, para a produção de eletricidade estabelece-se a classificação de produção em regime ordinário e produção em regime especial. Através desta atividade está implícita a garantia do abastecimento, no âmbito do funcionamento de um mercado liberalizado, em articulação com a promoção de uma política que valorize a eficiência energética e a proteção do ambiente, apostando-se na produção de eletricidade através do recurso a fontes endógenas renováveis de energia.

Considera-se produção em regime ordinário, a atividade de produção de eletricidade que não seja abrangida por incentivos à utilização de recursos endógenos e renováveis, ou à produção combinada de calor e eletricidade.

A produção de eletricidade em regime especial considera-se o oposto da produção regime ordinário. Esta atividade prevê a adoção de políticas destinadas ao incentivo à produção de eletricidade através da utilização de recursos endógenos e renováveis ou de tecnologias de produção combinada de calor e eletricidade [16].

3.1.2. Decreto-Lei nº 153/2014

O presente Decreto-Lei estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade a partir de energias de fontes renováveis.

Os meios de produção de eletricidade são denominados de Unidades de Produção (UP). Ao abrigo deste diploma legal, existem dois tipos de Unidades de Produção:

- Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC);
- Unidades de Pequena Produção (UPP).

Numa UPAC, a energia elétrica produzida tem como fim a alimentação da instalação onde a própria UPAC se encontra, daí o termo “Autoconsumo”, produzindo-se energia para consumo próprio.

Uma UPAC pode estar ligada ou não à Rede Elétrica do Serviço Público (RESP). Pelo que, sempre que a quantidade de potência produzida for superior pela UPAC for superior à necessitada pela instalação, esta pode ser injetada na RESP, sujeita a uma remuneração por um Comercializador de Último Recurso (CUR).

A remuneração da energia injetada na RESP através de uma UPAC é calculada através da seguinte expressão:

$$R_{UPAC} = E_{fornecida} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (1)$$

Onde:

- R_{UPAC} - Remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês ‘m’, em €;
- $E_{fornecida}$ - Energia fornecida no mês “m”;
- $OMIE_m$ - Valor da média aritmética dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia para Portugal.

O titular de UPAC que pretenda fornecer a energia elétrica não consumida na instalação elétrica e cuja potência instalada seja igual ou inferior a 1,5 kW, está sujeito a registo prévio no SERUP e à obtenção de um certificado de exploração.

As UPAC com potência instalada superior a 1,5 kW e cuja instalação elétrica se encontre ligada à RESP, estão sujeitas ao pagamento de um valor de compensação mensal fixa, nos primeiros 10 anos após a obtenção, por parte do proprietário, do certificado de exploração necessário para a instalação de uma UP. A compensação em causa permite recuperar uma parcela dos custos decorrentes de medidas de política energética, de sustentabilidade ou de interesse económico geral (CIEG). O pagamento da compensação ocorrerá quando o valor total da potência instalada em UPAC a nível nacional ultrapassar o valor de 1% referente à potência instalada do Sistema Elétrico Nacional (SEN). Pelo que entre 1% e 3% se paga 30% do valor dos custos decorrentes de política energética, de sustentabilidade ou CIEG. Acima de 3% da potência instalada no SEN, pagar-se-á 50% do valor desses custos.

O valor da compensação é calculado através da seguinte expressão:

$$C_{UPAC,m} = P_{UPAC} \times V_{CIEG,t} \times K_t \quad (2)$$

Onde:

- $C_{UPAC,m}$ – Compensação paga no mês m por cada kW de potência instalada, que permita recuperar uma parcela dos custos decorrentes de medidas de política energética, de sustentabilidade ou de interesse económico geral (CIEG) na tarifa de uso global do sistema, relativa ao regime de produção de eletricidade em autoconsumo;
- P_{UPAC} – Valor da potência instalada da UPAC, de acordo com o certificado de exploração;
- $V_{CIEG,t}$ – Valor que permite recuperar os CIEG da respetiva UPAC, medido em € por kW, apurado no ano “ t ”;
- K_t – Coeficiente de ponderação, entre 0 % e 50 %, a aplicar ao “ $V_{CIEG,t}$ ” tendo em consideração a representatividade da potência total registada das UPAC no Sistema Elétrico Nacional, no ano “ t ”.

Numa UPP, não se consome parte alguma da eletricidade produzida, pelo que esta é injetada na totalidade na RESP, com o fim de ser comercializada.

O presente Decreto-Lei permite a atividade de uma UP pelo uso de sistemas de uma ou mais fontes de energia renovável, sendo que no âmbito deste projeto a abordagem se restringe a sistemas de energias renováveis fotovoltaicos e eólicos.

Para a instalação de uma UP, o presente diploma legal impõe as seguintes restrições:

- Para as UPP:
 - Potência de ligação à rede igual ou inferior à potência contratada, não excedendo os 250 kW;
 - A energia consumida na instalação terá de ser igual ou superior a 50% da energia produzida.
- Para as UPAC:
 - Potências acima de 1 MW requerem uma licença de exploração e uma licença de produção;
 - A potência instalada não pode ser superior ao dobro da potência de ligação;
 - A potência de ligação terá que ser igual ou inferior à potência contratada.

Sem prejuízo do que foi referido relativamente às restrições que o Decreto-Lei nº 153/2014 impõe às UP, isto é, sempre que houver interesse em instalar potências maiores que as permitidas por esse diploma legal, seja para fins de uma UPAC ou de uma UPP, é necessário adquirir por parte do investidor, uma licença de exploração e uma licença de produção. Nesse sentido, o Decreto-Lei nº 215-B/2012 explícito na seguinte secção, abordará mais detalhadamente essa questão [17].

3.1.3. Decreto-Lei nº 215-B/2012

O presente diploma legal estabelece o regime jurídico aplicável às atividades que englobam a produção, transporte, distribuição e comercialização de eletricidade, assim como operação logística de mudança de comercializador, e organização de mercados e procedimentos aplicáveis a estas atividades, no desenvolvimento dos princípios constantes do Decreto-Lei nº 29/2006.

Referenciado o pressuposto relativo ao limite de potência a instalar numa UPP, ou seja, sempre que houver interesse em instalar mais de 250 kW de potência para se produzir eletricidade para venda à Rede Elétrica do Serviço Público (RESP), o conceito de UPP para esta atividade deixa de ser válido, passando a ser designado por Centrais de Produção (CP) de energia elétrica para venda à rede cuja remuneração é efetuada através de tarifas definidas por comercializadores de eletricidade afetos ao mercado ibérico de eletricidade “OMIE”

[18]. Nestas condições, a produção de eletricidade passará a ser executada em regime especial, já referenciado anteriormente no Decreto-Lei nº 29/2006.

Este exercício requer a obtenção de uma licença de produção precedida da aquisição de uma licença de exploração.

Uma licença de exploração é uma licença concebida para efeitos de iniciação em exploração industrial através de um centro eletroprodutor, de partes do mesmo ou dos grupos geradores que o constituem.

A atribuição de uma licença de exploração inicia-se com uma vistoria, por parte da DGEG, ao local de exploração em causa, dentro de um prazo máximo de 30 dias após a receção do pedido de atribuição para essa licença. Através da vistoria realizada, é elaborado um relatório onde consta a conformidade da instalação da exploração em causa para que a mesma se encontre em condições de ser autorizada à exploração pretendida.

Uma licença de produção é uma licença concebida para fins de estabelecimento e exercício da atividade de produção de eletricidade através de um centro electroprodutor. A instrução do pedido de atribuição de uma licença de produção encontra-se explícita na no Artigo 33º-Jº da SECCÃO II do CAPÍTULO III do presente Decreto-Lei [15].

3.2. Principais constituintes de um sistema de energias renováveis

Neste subcapítulo, serão abordados os principais equipamentos que constituem um sistema de produção de eletricidade, sendo os seguintes [19]:

- 1) Painéis fotovoltaicos;
- 2) Aerogeradores;
- 3) Inversores;
- 4) Baterias.

3.2.1. Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos, ou módulos fotovoltaicos são equipamentos que convertem a nível atómico a energia proveniente da radiação solar em energia eléctrica [20].

Estes equipamentos apresentam-se tipicamente em módulos de formato retangular. Os painéis fotovoltaicos são constituídos por diversas camadas. A constituição típica de um painel fotovoltaico encontra-se na Figura 25.

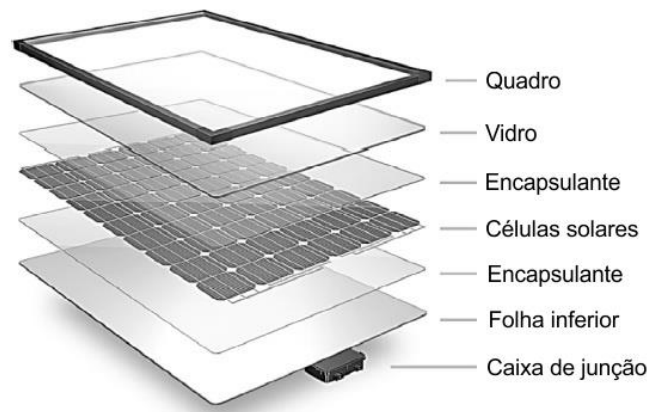


Figura 25 – Constituição de um painel fotovoltaico

Observando a Figura 25, um painel fotovoltaico é composto por um quadro metálico, tipicamente em alumínio, com cobertura de vidro. Abaixo, é constituído por um encapsulante, uma rede de células solares, folha inferior e caixa de junção [21].

De entre os constituintes de um painel fotovoltaico, as suas células solares são as responsáveis pela absorção da radiação solar, permitindo posteriormente gerar eletricidade. Essas células são constituídas por Silício, que é um material semicondutor.

Nesse sentido, os painéis fotovoltaicos apresentam-se nas seguintes categorias:

- Painéis de Silício cristalino simples;
- Painéis de Silício policristalino.

Os painéis de Silício cristalino simples (ou monocristalinos) possuem nas suas células solares cristais de Silício de alta pureza, apresentando-se distribuídos e orientados de forma homogénea. Estes módulos fotovoltaicos possuem um rendimento que pode variar entre os 14% e os 17%. Na Figura 26 encontra-se um exemplar de um painel de Silício cristalino simples.



Figura 26 - Painel fotovoltaico cristalino simples

Em relação aos painéis de Silício policristalino (Figura 27), os cristais das suas células estão dispostos de forma a tomarem diferentes formas e direções, pelo que, a olho nu, as células se apresentam com coloração heterogénea. O rendimento destes painéis pode variar entre os 12% e os 14%.



Figura 27 - Painel fotovoltaico policristalino

Aos painéis fotovoltaicos está atribuído um valor de potência-pico, expresso em Wp (Watt-pico), que se caracteriza por um valor de referência para a produção da potência. Nesse sentido, a eficiência de um painel fotovoltaico depende não só das suas características, como também das condições ambientais do local onde se encontra, como a temperatura do ar, o índice de massa de ar (AM), a intensidade da radiação solar e as suas orientações espacial e geográfica no local onde está instalado. Nesse sentido, as condições padrão para que um painel atinja a produção da sua potência-pico, a temperatura das suas células terá de ser igual

a 25 °C e encontrar-se num local onde a intensidade da radiação solar seja igual a 1000 W/m² e com um índice AM (Ar-Massa) de 1,5 (índices de comportamento)

O índice AM representa um índice de tendência da densidade espectral associada à potência da radiação solar. Este índice é o quociente entre a pressão atmosférica medida num determinado local e o produto entre a pressão atmosférica ao nível do mar e o seno do ângulo de Zenite pode ser calculado através da seguinte equação [22]:

$$AM = \frac{P}{P_o \times \sin(h)} \quad (3)$$

Onde:

- P é a Pressão atmosférica medida num certo local [Pa];
- P_o é a Pressão atmosférica ao nível do mar [Pa];
- h é o Ângulo de Zenite [°].

O aumento da temperatura do ar leva ao aumento da temperatura do painel, provocando a diminuição do seu rendimento. Isto ocorre devido à tensão diminuir com ao aumento da temperatura [22], sendo que a potência gerada pelo painel depende do produto entre a corrente e a tensão como se pode constatar na seguinte equação [23]:

$$P = V \times I \quad (4)$$

Onde:

- P é a potência [W];
- V é a tensão [V];
- I é a corrente [A].

A receção da radiação solar pelos módulos fotovoltaicos está condicionada pelas condições meteorológicas do local, ou seja, a presença de nebulosidade e de poeiras na troposfera irá difundir os raios solares incidentes nos painéis fotovoltaicos, resultando na diminuição de intensidade por área da radiação solar que é recebida no local de instalação do sistema fotovoltaico.

A orientação geográfica, ou no plano horizontal, afeta o rendimento dos módulos fotovoltaicos, pelo que a insolação é maior quanto mais virado para Sul estiverem. A insolação em função a orientação geográfica está representada na Figura 28.

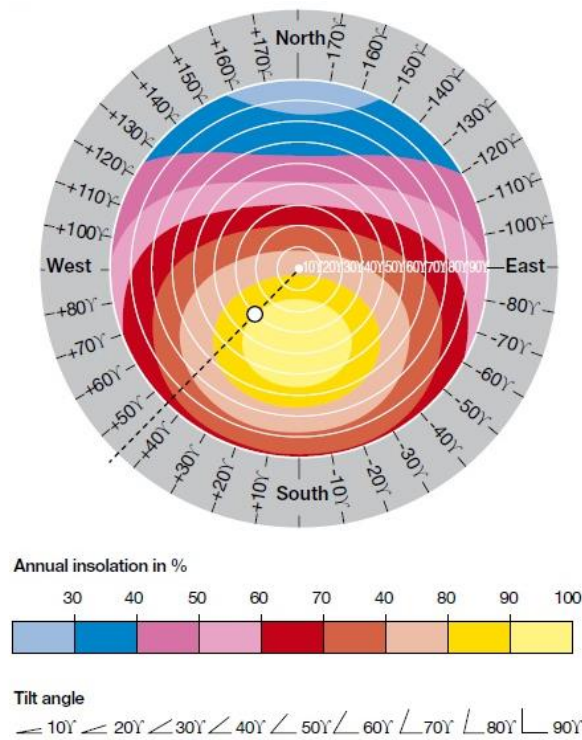


Figura 28 – Insolação anual segundo os pontos cardeais

Através da leitura da Figura 28, verifica-se que quanto mais virado para sul está um painel fotovoltaico, maior a insolação a que este está sujeito [22].

A orientação no plano vertical dos módulos fotovoltaicos também afeta o seu rendimento consoante o ângulo de incidência da radiação solar. Pelo que para o máximo aproveitamento ocorre quando a radiação solar incidente faz um ângulo de 90° com o módulo fotovoltaico. A representação esquemática da captação da radiação solar encontra-se na Figura 29.

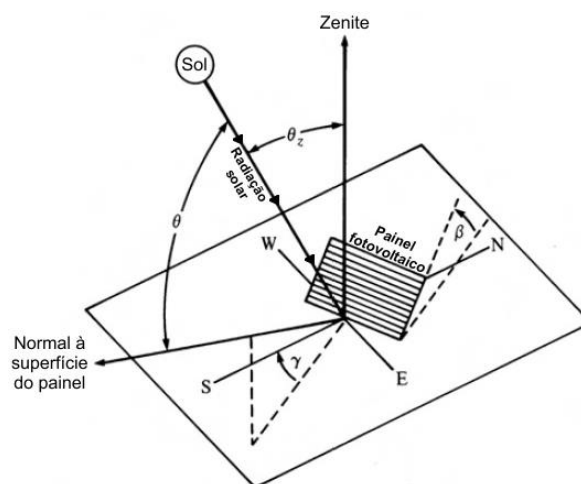


Figura 29 – Captação da radiação solar

Observando a Figura 29, encontra-se representado um painel fotovoltaico colocado sobre um plano horizontal a receber radiação solar, orientado para sudeste. Nesta figura estão também representados os ângulos θ , θ_z , γ e β .

O ângulo θ representa a diferença angular entre a radiação solar incidente no painel fotovoltaico e a sua Normal, pelo que a Normal representa a linha perpendicular imaginária a 90° relativamente à superfície do painel. Como já foi referido, os módulos fotovoltaicos apresentam o máximo aproveitamento da radiação incidente quando esta faz um ângulo perpendicular de 90° com o módulo, implicando que um painel fotovoltaico apresente o seu máximo aproveitamento quando $\theta=0$.

O ângulo θ_z corresponde ao desfasamento angular entre a radiação solar e o Zenite, que se caracteriza por uma linha imaginária perpendicular ao horizonte da Terra, sendo neste caso perpendicular ao plano horizontal onde se encontra o painel.

O ângulo “ γ ” representa o Azimute, ou ângulo azimutal, que em Astronomia se define como a distância angular ao longo do Horizonte, entre o Norte e o Este. Neste caso, o Azimute corresponde à distância angular entre a orientação geográfica do painel e o Sul. Se o painel estiver orientado para Oeste, $\gamma>0$, se estiver virado para Este, $\gamma<0$ [1].

3.2.2. Aerogeradores

Os aerogeradores ou turbinas eólicas são equipamentos que possuem um rotor acoplado a uma turbina, que por sua vez, transforma a energia cinética associada ao vento (movimento de uma massa de ar) e posteriormente converte essa energia em potência. O rotor de um aerogerador é constituído por uma ou mais pás, que sofrerão o impacto do movimento da massa de ar e farão a turbina rodar, uma vez que esta está mecanicamente acoplada ao rotor. Na Figura 30 encontra-se representado um exemplo de um aerogerador.



Figura 30 – Aerogerador Vestas V47/660

A potência extraída por uma turbina eólica depende de vários fatores, como a velocidade do vento, a densidade do ar e da área do seu rotor. Nesse sentido, a potência extraída pode determinada através da seguinte equação:

$$P_T = \frac{1}{2} \times C_p \times A \times \rho \times u^3 \quad (5)$$

Onde:

- P_T é a Potência extraída por uma turbina eólica [kW];
- C_p é o Coeficiente de potência [%];
- A é a Área do rotor [m²];
- ρ é a Densidade do ar [kg/m³];
- u é a Velocidade do Vento [m/s].

Visto os fatores que influenciam a potência extraída por um aerogerador estarem representados na equação acima, nesta abordagem aos aerogeradores, dar-se-á ênfase à velocidade do vento, sendo fator de que um aerogerador mais depende para o seu funcionamento.

A velocidade do vento não é constante, sendo influenciada pela hora do dia e pelas condições meteorológicas. O estudo da velocidade do vento, em termos de energia eólica, baseia-se na probabilidade de ocorrência de determinados valores da velocidade do vento segundo distribuições de probabilidade do vento, como a distribuição de *Weibull*.

A distribuição de *Weibull* baseia-se na probabilidade de uma certa gama de valores de velocidade do vento ocorrer, através de dados registados ao longo de vários anos, referentes

a medições da velocidade do vento efetuadas em um determinado local, permitindo assim estimar a probabilidade de ocorrência da velocidade do vento nesse mesmo local [24].

A velocidade do vento, como já foi mencionado, é a componente que mais irá influenciar o rendimento de um aerogerador. Cada modelo de aerogerador tem uma curva de potência associada, que representa a potência gerada em função da velocidade do vento. A Figura 31 representa uma curva de potência de um aerogerador, sendo o mesmo referido na Figura 30.

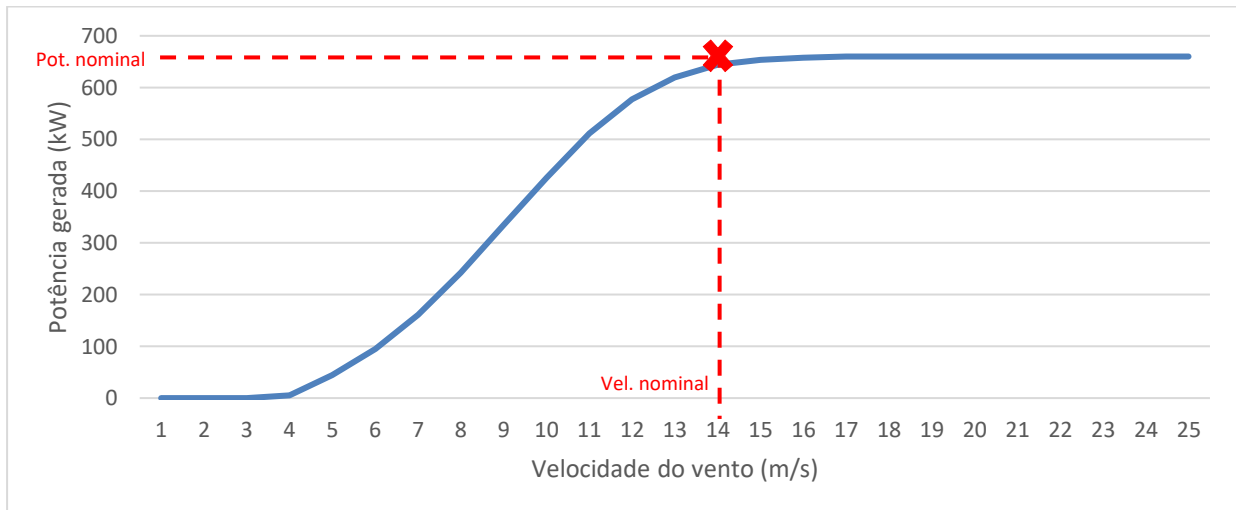


Figura 31 – Curva de potência do aerogerador Vestas V47/660

Observando a Figura 31, dos 0 aos 3 m/s de velocidade do vento, o aerogerador não produz praticamente qualquer potência. No entanto, somente a partir dos 4 m/s, este começa a produzir potência que aumenta gradualmente consoante o aumento da velocidade do vento. A partir dos 14 m/s, o aerogerador produz a sua potência nominal (660 kW), sendo que a velocidade correspondente aos 14 m/s considera-se a velocidade nominal [25]. A potência nominal caracteriza-se pela potência máxima que o aerogerador pode produzir em condições ideais de:

- Velocidade do vento;
- Temperatura do ar;
- Pressão atmosférica.

A partir do momento em que o aerogerador atinge a potência nominal em produção, esta não irá aumentar mais, devido a sistemas de controlo aerodinâmico que estes são dotados. Esses sistemas têm como objetivo proteger a parte mecânica do aerogerador em

situações de vento extremo. O controlo aerodinâmico pode atuar diretamente sobre as pás do aerogerador ou diretamente sobre a sua cabina.

Atuando diretamente sobre as pás, cria-se uma resistência ao movimento das pás do rotor, podendo ser este controlo realizado segundo dois modos, dependendo do mecanismo do aerogerador em causa, sendo o controlo de *Pitch* e o controlo de *Stall*.

O controlo de *Pitch* consiste em alterar a orientação das pás do aerogerador relativamente à direção do vento. A Figura 32 representa a curva de potência de um aerogerador dotado de um sistema de controlo de *Pitch*.

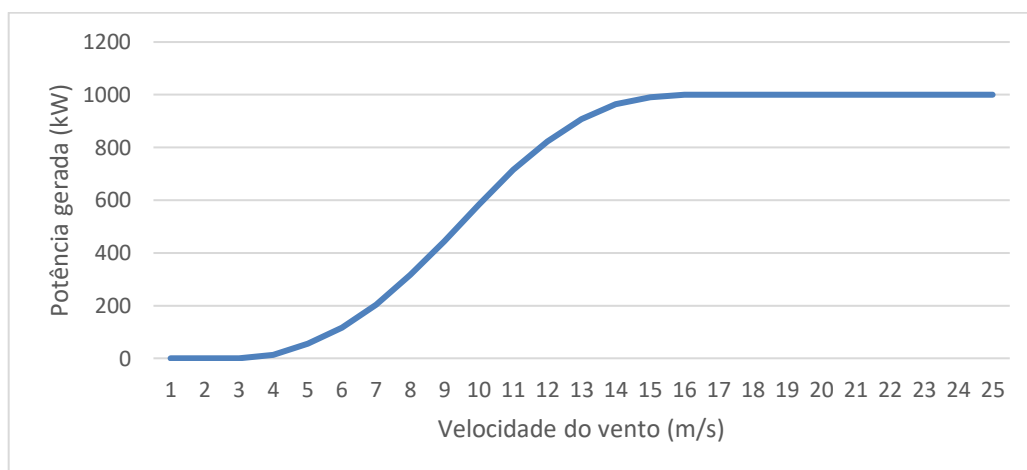


Figura 32 – Controlo de *Pitch*

Pela Figura 32, o controlo de *Pitch* faz com que o aerogerador mantenha constante potência gerada aquando o aumento da velocidade do vento.

O controlo de *Stall*, que é o controlo alternativo ao de *Pitch*, pode ser efetuado segundo dois modos, sendo o controlo de *Stall* passivo e o controlo de *Stall* ativo. O controlo de *Stall* passivo baseia-se apenas num controlo aerodinâmico. O controlo de *Stall* ativo combina o controlo de *Pitch* com o controlo de *Stall* passivo, onde as pás são rodadas no sentido inverso ao do controlo de *Pitch*, mas apenas em alguns graus. A curva de potência de um aerogerador dotado de controlo de *Stall* está representada na Figura 33.

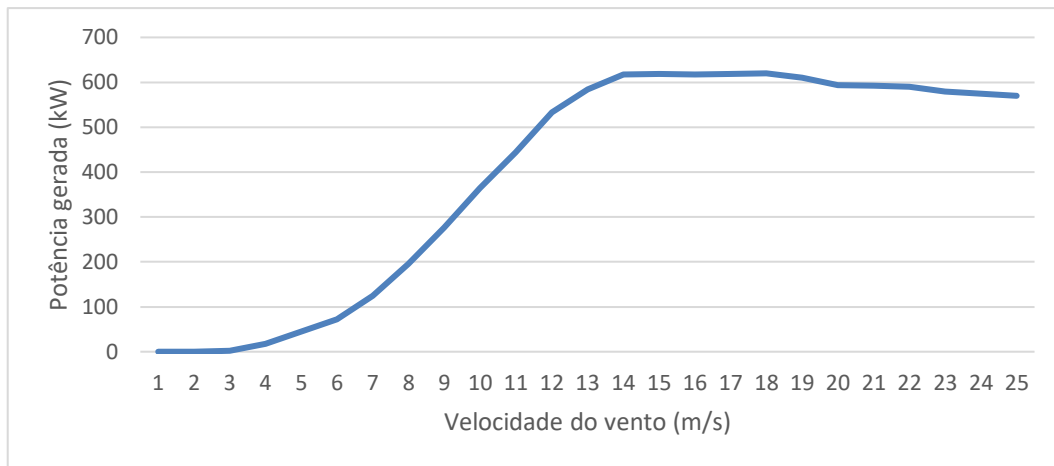


Figura 33 – Controlo de Stall

Pela observação da Figura 33, o controlo *Stall* difere do controlo *Pitch* no sentido em que a potência produzida apresenta oscilações a partir do momento em que atinge o valor da potência nominal.

Atuando diretamente sobre a cabina, pode ser efetuado o controlo aerodinâmico de *Yaw drive*. Este controlo é aplicado aos aerogeradores de dimensões mais pequenas, onde se instala um catavento diretamente na carcaça do aerogerador, como se pode observar na Figura 34.



Figura 34 – Aerogerador com catavento

Em termos de constituição, os aerogeradores apresentam-se geralmente com a seguinte constituição [24]:

- Torre;
- Cabina:
 - Sistema de transmissão mecânica:
 - Cubo do aerogerador;
 - Veio de transmissão de baixa ou alta velocidade;
 - Chumaceira;

- Travão;
- União elástica;
- Caixa de velocidades;
- Sistema de transmissão direta.
- Gerador;
- Transformador elevador.
- Pás.

3.2.3. Inversores

Os inversores são os equipamentos que estabelecem a ligação entre os equipamentos produtores de energias renováveis, como os painéis fotovoltaicos, e os quadros de alimentação de uma instalação e/ou a injeção na rede. Estes equipamentos controlam a potência gerada pelos equipamentos recetores e convertem a corrente contínua da energia gerada por esses equipamentos em corrente alternada para se compatibilizar com a alimentação das instalações [19].

Na Figura 35, está representado um exemplo de um inversor utilizado em sistemas de energias renováveis.



Figura 35 - Inversor SMA STP 25000TL-30

Atualmente os inversores, em geral, dispõem de características tecnológicas avançadas, como por exemplo [26]:

- Ligação à Internet:
 - Comunicação da produção instantânea;
 - Comunicação de falhas no sistema.
- Funcionamento “inteligente”:

- Programados através de algoritmos que adaptam o seu funcionamento, em função do ponto ótimo de operação.
- Possuem, geralmente, um grau de proteção a salpicos de água e poeiras normalizado, como por exemplo “IP65” ou “IP66”, de modo a possibilitar a sua instalação em espaços exteriores.

3.2.4. Baterias

As baterias, ou acumuladores são equipamentos de armazenamento de energia de curta duração, pelo que armazenam o excesso de energia produzida por painéis fotovoltaicos e/ou aerogeradores, sempre que o seu consumo for inferior à produção. O armazenamento da energia produzida consiste na sua posterior utilização em períodos noturnos, em que não ocorre produção ou em situações de emergência, como falhas de fornecimento de energia por parte da rede de serviço público. As baterias utilizadas para armazenamento sistemas de energias são normalmente constituídas por ácido de chumbo [19]. A Figura 36 mostra um exemplo de um conjunto de baterias utilizadas em sistemas de energias renováveis.



Figura 36 – Exemplo de baterias de ácido de chumbo

Recentemente a empresa multinacional de veículos elétricos *Tesla* tem apostado no desenvolvimento de soluções para sistemas fotovoltaicos. A multinacional desenvolveu a bateria *Tesla Powerwall*, que é uma bateria recarregável a iões lítio que permite armazenar a energia produzida que não for consumida, sendo uma alternativa às baterias de ácido de chumbo [27].

Na Figura 37 encontra-se representado o modelo mais recente da bateria *Tesla Powerwall* [28].



Figura 37 – Bateria Tesla Powerwall

Como se pode observar na Figura 37, a *Tesla Powerwall* possui uma aparência elegante, e por isso, a sua instalação é indicada para habitações, visto ser um equipamento concebido de modo a ser também um elemento decorativo.

Para as situações de excesso de eletricidade produzida em relação às necessidades do consumidor, uma alternativa ao uso de baterias é a injeção do excesso de produção na rede elétrica do serviço público, sujeita a remuneração através de um CUR, tal como já referido na secção 3.1.2.

4. Avaliação da possibilidade de instalação de sistemas renováveis na RESPOL

A RESPOL pretende instalar um sistema de produção de eletricidade com recurso a fontes de energias renováveis, sendo estas referentes à energia eólica e energia fotovoltaica. Neste capítulo será efetuado um estudo preliminar sobre a possibilidade de a empresa poder instalar um sistema de energias renováveis adequado às suas necessidades energéticas. A instalação de um sistema desta natureza na empresa está condicionada pelos seguintes aspetos:

- 1) Caracterização dos recursos do local;
- 2) Legislação em vigor;
- 3) Espaço disponível nas instalações;
- 4) Instalações elétricas.

4.1. Caracterização dos recursos do local

Relembrando que a RESPOL está localizada a Nordeste da cidade de Leiria, a caracterização dos recursos do local neste estudo tem como objetivo, avaliar a temperatura média do ar e a qualidade dos recursos renováveis disponíveis no local onde se situam as instalações da RESPOL.

4.1.1. Temperatura média do ar

A temperatura média do ar é um fator relevante neste estudo, pois quanto mais elevada for a temperatura média do ar, maior será a temperatura das células de equipamentos recetores de energia solar, como os painéis fotovoltaicos, e como já referido na secção 3.2.1, o aumento da temperatura das células de um painel fotovoltaico provoca um decréscimo no seu rendimento.

Os valores das temperaturas médias mensais encontram-se na Figura 38.

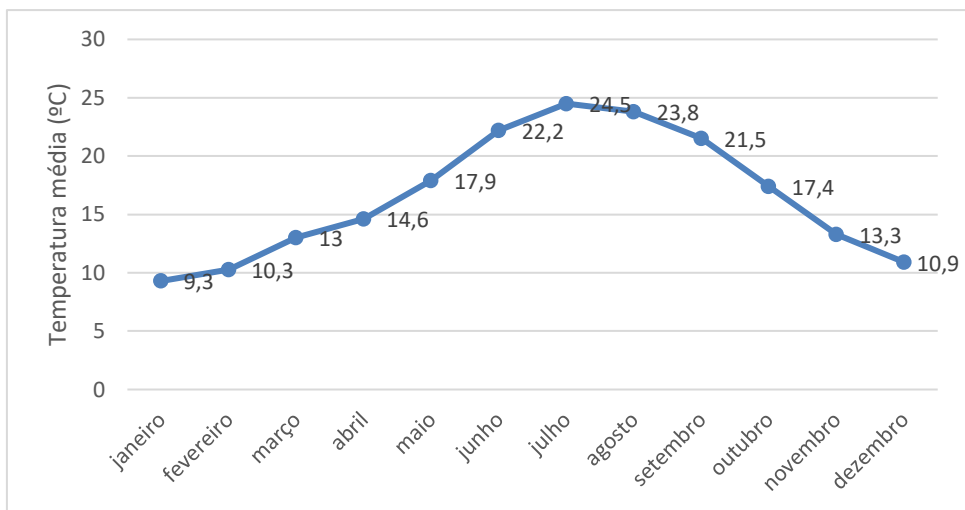


Figura 38 – Temperaturas médias mensais

Pela análise da Figura 38, constata-se que o mês mais frio é o mês de janeiro, tendo em média uma temperatura de 9,3 °C durante os seus dias. O mês mais quente é o mês de julho, apresentando uma temperatura média de 24,5 °C. A temperatura média do local é de 16,6 °C [29].

4.1.2. Recurso Solar

O recurso solar é caracterizado pela intensidade da radiação solar por unidade de área acumulada diariamente. Os dados da radiação solar registados para zona onde se encontra a RESPOL apresentam-se na Figura 39.

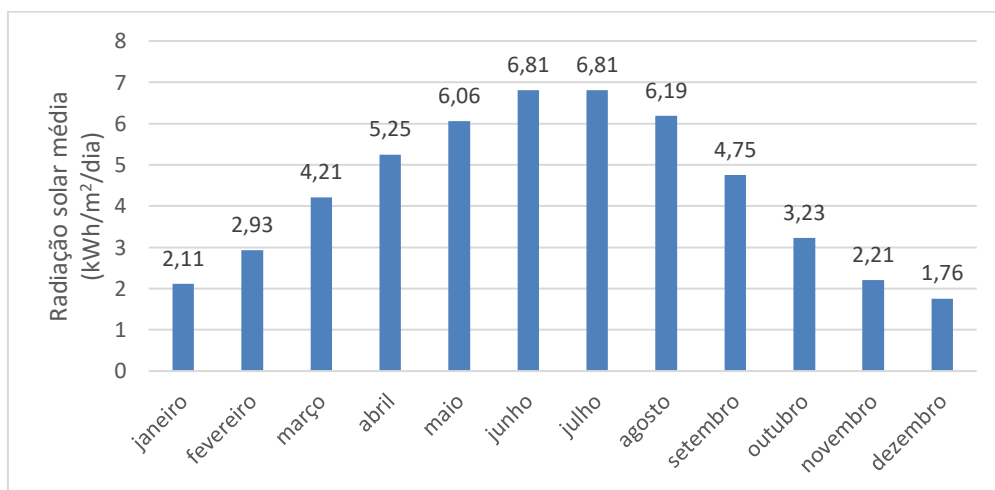


Figura 39 – Intensidade da radiação solar diária em cada mês

Observando a Figura 39, constata-se que a radiação solar é mais intensa nos meses verão do que nos restantes, atingindo o seu máximo em junho e julho com valores diários de

6,81 kWh/m²/dia e o seu mínimo em dezembro apresentado valores diários de 1,76 kWh/m²/dia. Anualmente, a radiação regista um valor médio de 4,37 kWh/m²/dia [29].

Como uma das condições padrão para que os painéis fotovoltaicos produzam a sua potência-pico é a radiação ser de 1000 W/m², significa que, em média, os painéis fotovoltaicos cumprem durante 4,37 horas (4 horas e 22 minutos) por dia essa condição para a produção da potência-pico, visto que os 4370 Wh/m²/dia são um valor acumulado diário.

4.1.3. Recurso Eólico

O recurso eólico caracteriza-se pela intensidade da velocidade do vento no local em estudo e é o recurso que condiciona na totalidade o desempenho de um aerogerador, como já foi mencionado na secção 3.2.2.

A Figura 40 apresenta os valores da velocidade média do vento mensal na cidade de Leiria.

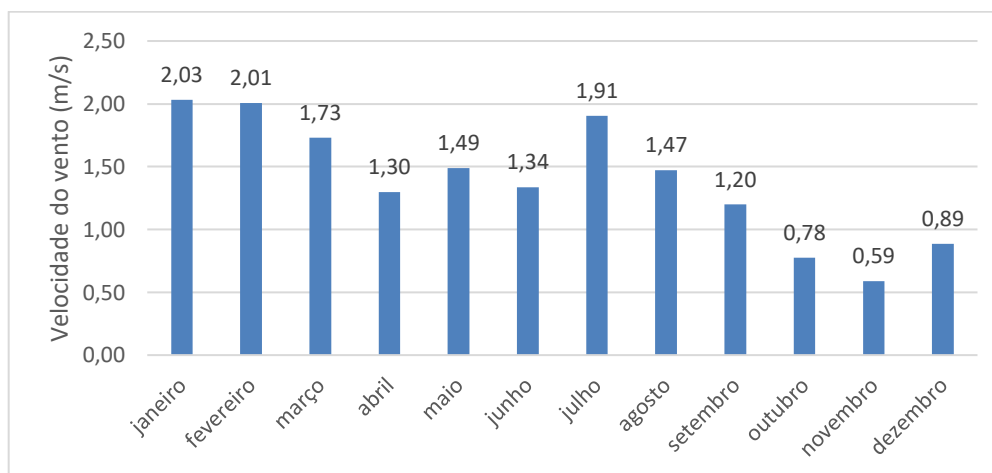


Figura 40 – Velocidade do vento média diária em cada mês

Pela análise da Figura 40, constata-se que a velocidade do vento tem média mínima de 0,59 m/s em novembro, acompanhado também por médias baixas em outubro e dezembro. A média máxima é de 2,03 m/s, registada em janeiro. Constata-se também que a velocidade do vento tende a ser significativamente maior nos meses de janeiro, fevereiro e julho [30].

A velocidade média do vento, tendo em conta estes valores, é de 1,39 m/s, pelo que é um valor bastante distante para a velocidade necessária para a potência nominal de um aerogerador, que ronda os 14 m/s.

4.2. Legislação em vigor

Ao abrigo da legislação em vigor, o Decreto-Lei 153/2014, a instalação de uma UPAC está limitada pelos seguintes pontos:

- A potência instalada terá de ser no máximo de 1 MW;
- A potência de ligação terá que ser igual ou inferior à potência contratada de 973 kW;
- A potência instalada não pode ser superior a duas vezes a potência de ligação.

Pelo Decreto-Lei nº 215-B/2012, a instalação de uma Central de Produção para venda à rede requer a aquisição de uma licença de exploração e uma licença de produção, que por sua vez, está pendente de aprovação por parte da direção da DGEG e/ou do membro do Governo Português responsável pela área da energia.

4.3. Local da instalação de um sistema de energias renováveis

Este subcapítulo baseia-se na análise sobre a capacidade de a RESPOL poder implementar um sistema de energia renováveis em termos de área disponível, tendo também em conta outras eventuais limitações que o espaço possa ter, sendo neste caso o sombreamento e a capacidade de drenagem do solo.

4.3.1. Área disponível

Nesta secção será feita uma abordagem a um terreno com área aproximada de 1,4 hectares (14 000 m²) que a RESPOL se comprometeu a preparar para a instalação do sistema de energias renováveis para se determinar o número máximo de painéis fotovoltaicos e aerogeradores que é possível instalar.

Na Figura 41 encontra-se, orientada para Norte, a vista aérea das instalações da empresa, bem como assinalado dentro de um trapézio vermelho o terreno em que se prevê ser o local onde o sistema de energias renováveis será instalado [31].



Figura 41 – Vista aérea do local de instalação do sistema de energias renováveis e dos pavilhões da RESPOL (Google Maps)

As figuras seguintes (Figura 42 à Figura 45) mostram a mobilização em curso do local onde se irá instalar o sistema de energias renováveis. As fotografias apresentadas nas figuras acima foram captadas em fevereiro de 2017.



Figura 42 – Vista para Sul



Figura 43 – Vista para Oeste



Figura 44 - Vista para Este



Figura 45 – Vista para Norte

Pela observação da Figura 42 à Figura 45, constata-se que o terreno destinado ao sistema de energias renováveis já sofreu alterações significativas relativamente ao observado na Figura 41, observando-se a realização de operações como terraplanagem e abate de árvores.

Apesar de a RESPOL já ter efetuado obras de preparação nesse terreno, a empresa tem a possibilidade adquirir até um total de 4 hectares de terreno, caso o sistema de energias renováveis necessite de mais espaço [32]. Conhecendo-se então a área máxima que se pode aproveitar para o sistema de energias renováveis, o passo seguinte é a determinação do número máximo de painéis fotovoltaico e aerogeradores que se pode instalar no terreno.

Para os painéis fotovoltaicos, iniciou-se pela atribuição de uma área de cerca de 1,6 m² por cada módulo fotovoltaico, visto ser uma área típica de painéis fotovoltaicos a instalar num sistema de grandes dimensões. Foi ainda definida a inclinação no plano horizontal e o tipo de estrutura dos painéis fotovoltaicos, considerando-se uma inclinação de 30° numa

estrutura de triângulo duplo, sendo estes parâmetros utilizados por padrão por parte de empresas que comercializam e montam sistemas fotovoltaicos na região centro de Portugal. A Figura 46 representa uma estrutura de fixação de triângulo duplo.



Figura 46 – Estrutura de fixação de triângulo duplo

Posteriormente, recorreu-se ao *software SketchUp PRO 2016* para se determinar quantos painéis fotovoltaicos montados em estruturas de triângulo duplo com ângulo de inclinação de 30° cabem numa área quadrangular de 4 hectares, visto este *software* permitir inserir um determinado número de painéis fotovoltaicos numa determinada área.

Na Figura 47, encontra-se desenhado um quadrado com área de 4 hectares (200 m x 200 m) preenchido na totalidade com painéis fotovoltaicos em estruturas de triângulo duplo.

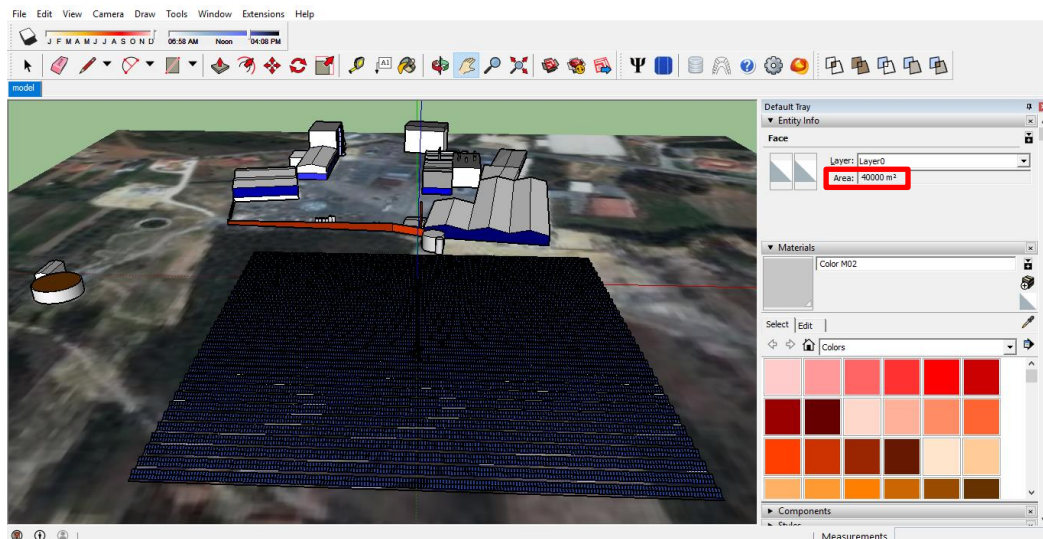


Figura 47 – Área de 4 hectares preenchida com painéis fotovoltaicos

A Figura 48 indica o número máximo de painéis a instalar numa área de 40 000 m².

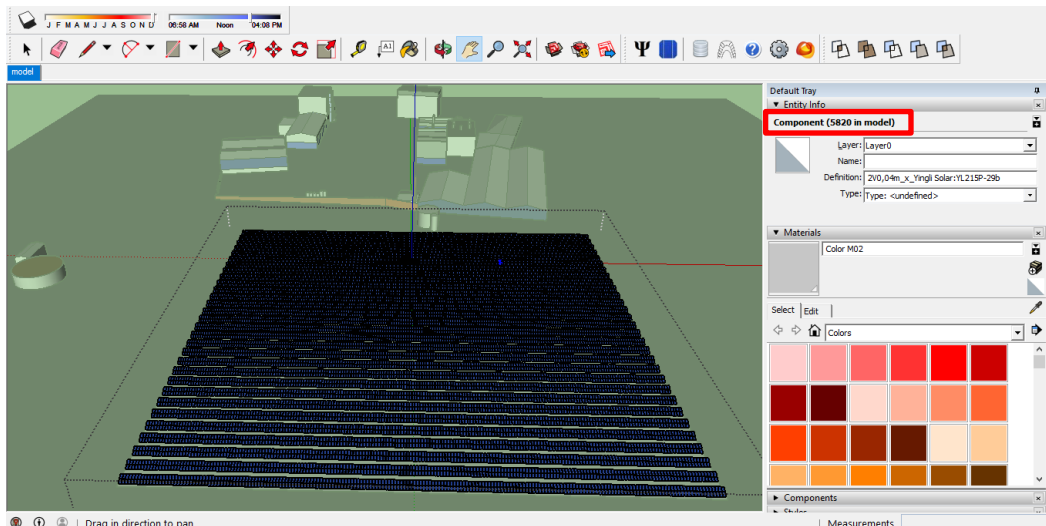


Figura 48 – Simulação do número máximo de painéis fotovoltaicos a instalar

Pela Figura 48, pode-se constatar que o *software SketchUp PRO 2016* dimensionou 5820 componentes no terreno. Uma vez que os painéis fotovoltaicos estão dispostos em estruturas de triângulos duplos, cada componente corresponde a 2 painéis. Logo, nas condições arbitradas, podem ser instalados até 11 640 painéis fotovoltaicos. De salientar que a área desenhada é meramente simbólica, servindo apenas e só para se averiguar o número máximo de painéis fotovoltaicos dispostos em estruturas de triângulo duplo que é possível instalar numa área de 4 hectares.

Para os aerogeradores, não foi necessário recorrer a qualquer *software* ou outra ferramenta específica. Para a instalação de aerogeradores num terreno, é necessário que as distâncias longitudinais e transversais entre si sejam respetivamente, 1,5 e 8 vezes o diâmetro do rotor de modo a evitar o efeito de esteira, que se caracteriza pela turbulência causada pela rotação das pás de um aerogerador [20].

Tendo em conta o valor a área total de 4 hectares, decidiu-se testar aerogeradores com 19 metros de diâmetro do rotor (100 kW). Uma vez que se arbitrou uma área quadrangular de 4 hectares com 200 m de largura e 200 metros de comprimento, e de modo a evitar o efeito de esteira, considerou-se uma distância entre aerogeradores de 28,5 metros (1,5 x 19 m). Sabendo que o terreno tem de 200 metros de largura, é possível instalar apenas 4 aerogeradores no alinhamento longitudinal.

Da perspetiva transversal, multiplicou-se o valor do diâmetro do rotor por 8, sendo 8 vezes o diâmetro do rotor a distância transversal mínima entre aerogeradores. Verificou-se então que, transversalmente se pode instalar 2 aerogeradores, visto que nestas condições, os

aerogeradores devem distar 152 metros. Contudo podem ser instalados até 8 aerogeradores no terreno, sendo 4 alinhados longitudinalmente e 2 transversalmente.

4.3.2. Análise do sombreamento

Pela observação da Figura 43 à Figura 46 na secção anterior, verificou-se que ainda existem bastantes árvores em redor do terreno já pré-preparado para receber um sistema de energias renováveis. As árvores podem prejudicar o rendimento do sistema de energias renováveis, pelo que, se se tratar de painéis fotovoltaicos, pode provocar sombreamento nas superfícies dos mesmos em certas alturas do dia. No caso dos aerogeradores, a presença de árvores pode afetar a trajetória do vento às suas pás, podendo dificultar ou mesmo impedir a sua rotação

Também existe um tanque de dimensões consideráveis junto ao terreno destinado ao sistema de energias renováveis. O tanque está representado na Figura 49.



Figura 49 – Tanque

A Figura 49 representa o aspeto físico do tanque que apresenta uma altura de 9,6 m e diâmetro de 11,6 m, perfazendo um volume de 978 m³.

Na Figura 50, encontra-se representado o sombreamento que o tanque provoca na área destinada ao sistema de energias renováveis nas manhãs de Inverno.



Figura 50 – Sombreamento do tanque no dia 14 de fevereiro de 2017 às 9:32 da manhã

Pela observação da Figura 50, a sombra atinge a parte superior do terreno, pelo que se sugere que os painéis fotovoltaicos sejam instalados ligeiramente mais distantes em relação ao muro.

Na Figura 51, encontra-se representado o sombreamento que o tanque provoca na área destinada ao sistema de energias renováveis nas manhãs de Primavera.



Figura 51 – Sombreamento do tanque no dia 8 de maio de 2017 às 8:46 da manhã

De modo a se determinar a significância do sombreamento do tanque e das árvores nas superfícies dos painéis fotovoltaicos, recorreu-se a uma simulação de sombreamento no software *SketchUp PRO 2016*.

Nas figuras abaixo, por questão de melhor facilitismo de leitura, representam-se novamente as fotografias apresentadas na Figura 50 e Figura 51 acompanhadas pela respetiva simulação, sendo na parte de cima, a imagem real e em baixo a simulação.

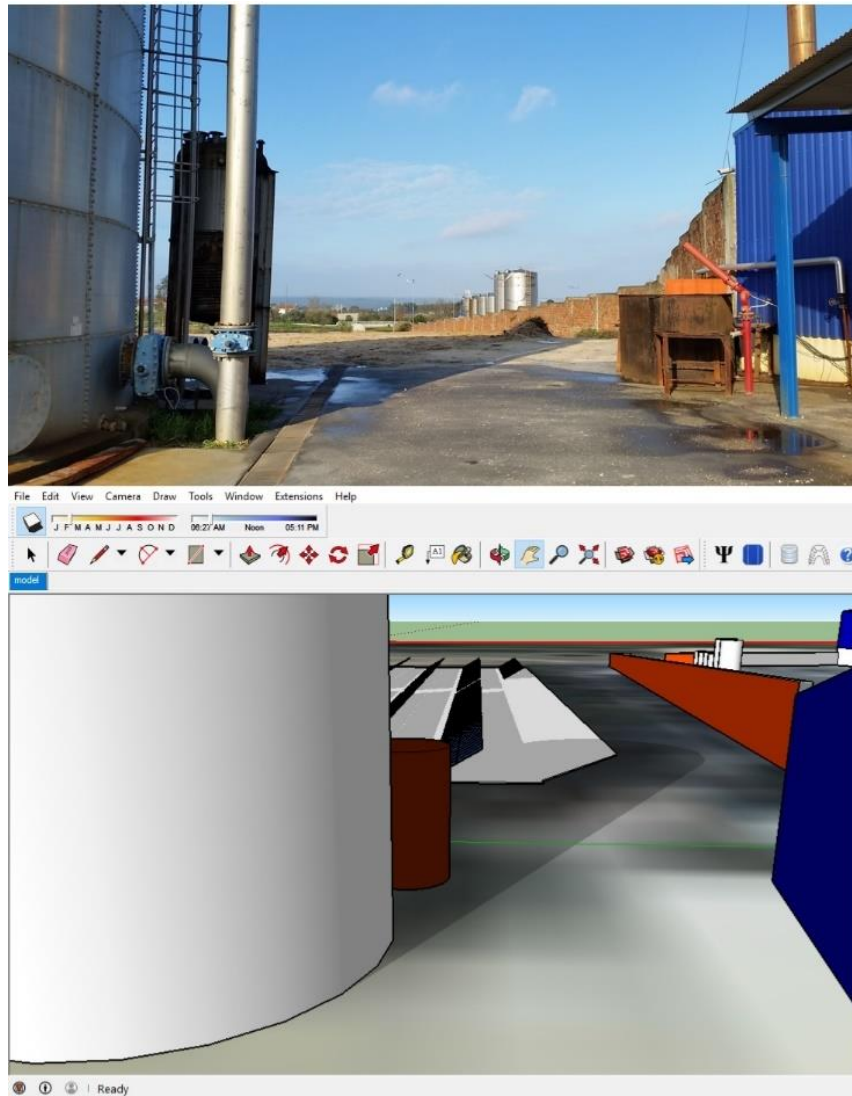


Figura 52 – Simulação do sombreamento do tanque no mês de fevereiro de manhã

Através da observação da Figura 52, a simulação efetuada indica um possível pequeno sombreamento na extremidade mais a oeste do terreno nas manhãs de inverno. Pode-se ainda constatar que foi possível simular o sombreamento de um modo bastante aceitável, tendo em conta a sua precisão em comparação com o cenário real.

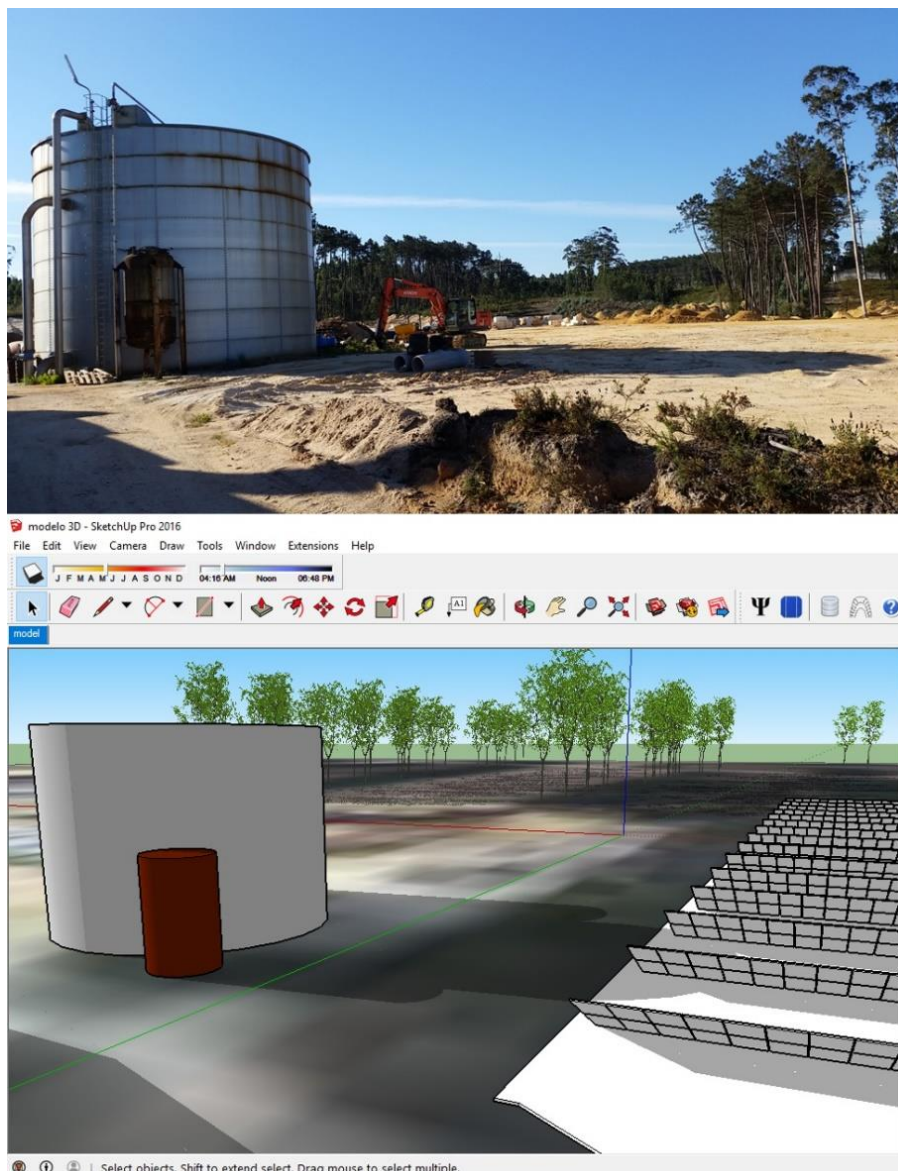


Figura 53 – Simulação do sombreamento do tanque no mês de maio de manhã

Através da Figura 53, constata-se também que à medida que as estações do ano caminham para o Verão, o sombreamento do tanque tende a deslocar-se mais para sul. Nestas condições, é expectável que nas manhãs de Primavera, Verão e Outono ocorram ligeiras perdas pelo sombreamento do tanque.

Na Figura 54 pode-se observar uma simulação do sombreamento das árvores perto da ETARI da RESPOL.

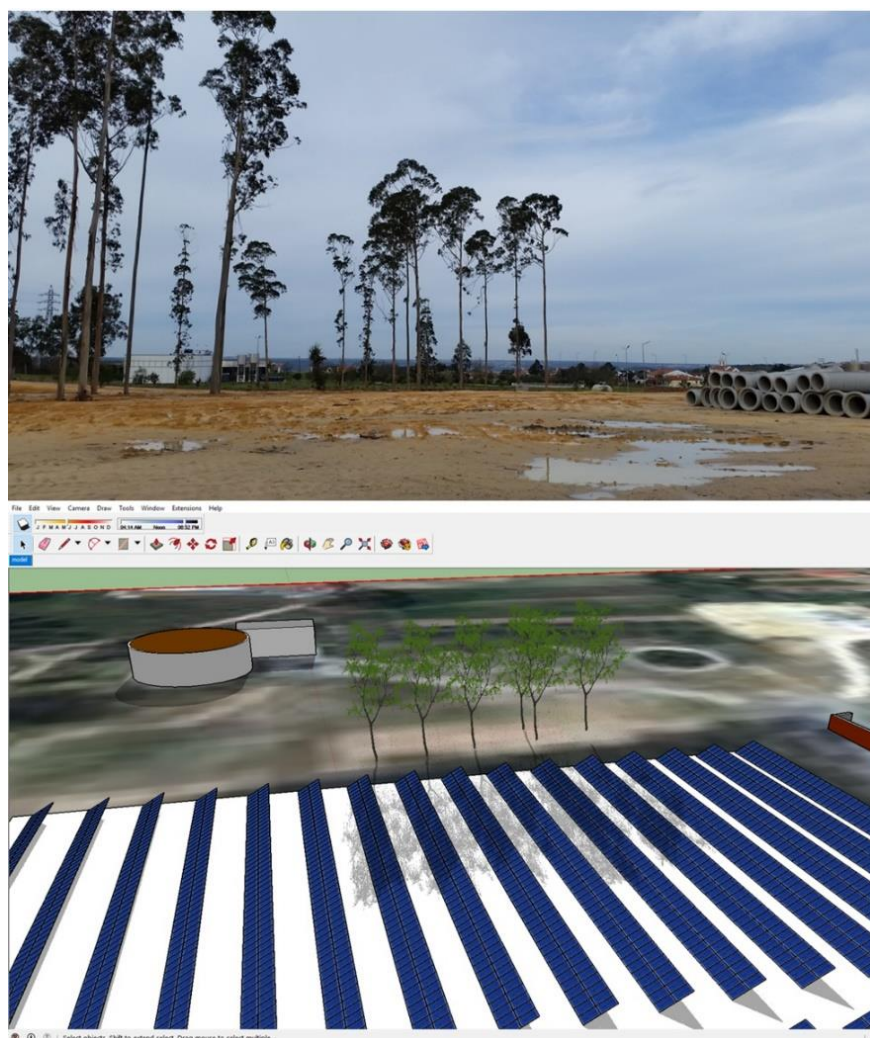


Figura 54 - Simulação do sombreamento das árvores perto da ETARI no mês de maio no final da tarde

Pela observação da Figura 54, constata-se que o sombreamento pelas árvores a Oeste do terreno, perto da ETARI, ocorre no final da tarde, devido à mudança de posição do Sol, pelo este nasce em Este e se põe em Oeste.

4.3.3. Capacidade de drenagem do solo

A capacidade de drenagem do solo corresponde à capacidade de o solo a água absorver água da sua superfície.

Neste caso é também pertinente ter em consideração a capacidade do solo absorver água. Através de uma vistoria realizada ao terreno do local para a instalação do sistema de energias renováveis, verificou-se que o solo tem tendência a acumular na superfície quantidades significativas de água. À semelhança da questão da compatibilidade dos quadros elétricos, referida no subcapítulo 4.4, a análise a esta condicionante não se enquadra no âmbito deste trabalho, e por isso será uma sugestão para trabalhos futuros.

4.4. Instalações elétricas

As instalações da RESPOL são alimentadas pela rede de Média Tensão (MT) através de uma linha trifásica de 15 kV e dispõe de um Posto de Transformação (PT) dotado de um transformador de 1250 kVA, que alimenta um Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), sendo a potência contratada igual a 973 kW. A partir deste quadro elétrico é realizada a distribuição de energia elétrica para os vários setores das instalações da RESPOL [33].

As instalações elétricas da RESPOL também deverão estar preparadas para receber o sistema de energias renováveis, na medida se prevê injetar a energia produzida no QGBT. Nesse sentido, é necessário ter em conta a distância entre esse quadro e o sistema de energias renováveis, sendo cerca de 230 metros, como se pode verificar na Figura 55.



Figura 55 – Distância entre o terreno e o QGBT

Quanto maior a distância, maior será a resistência elétrica à passagem da corrente, resultando em quedas de tensão maiores. Para resolver o problema, poderá ser necessário utilizar de cabos com uma área de secção maior, para que a queda de tensão seja tanto menor quanto possível. No entanto, essa opção poderá implicar custos acrescidos no investimento no sistema de energias renováveis [34].

Esta condicionante não será abordada neste trabalho, visto ser uma questão relacionada com a área da Engenharia Eletrotécnica. Nesse sentido, a abordagem a esta questão constituirá uma sugestão para trabalhos futuros. No entanto, na secção 1.4 dos anexos encontra-se uma proposta do esquema simplificado das ligações elétricas previstas para o sistema de energias renováveis.

4.5. Síntese e veredito

Este subcapítulo baseia-se numa apreciação geral sobre a possibilidade de a RESPOL poder instalar um sistema de energias renováveis, de acordo com as condicionantes anteriormente mencionadas:

1) Clima do local:

- Através da análise do recurso solar, admite-se que é bastante razoável, visto que, em média, durante 4 horas e 22 minutos por dia se obtém uma radiação solar nas condições *standard* de operação para os painéis fotovoltaicos.
- Pela análise do recurso eólico, não é expectável que este sistema inclua turbinas eólicas, pois a velocidade média do vento é bastante baixa relativamente à velocidade nominal para um aerogerador. No entanto, no capítulo seguinte será efetuada uma simulação para averiguar a viabilidade da implementação de aerogeradores.

2) Legislação em vigor:

- É possível instalar uma UPAC com os seguintes limites de potência:
 - Potência de instalação até 1 MW;
 - Potência de ligação até 973 kW.
- A instalação de uma CP para venda à rede fica pendente da aquisição de:
 - Licença de exploração;
 - Licença de produção.

3) Instalações elétricas:

- A aprovação desta condicionante fica pendente pela garantia de se concretizar a ligação do sistema de energias renováveis a um quadro elétrico das instalações da RESPOL

4) Local de instalação:

- É possível instalar:
 - Até cerca de 11 640 painéis fotovoltaicos em estruturas de triângulo duplo;
 - Até 8 aerogeradores com diâmetro de rotor de 19 m.
- Pendente pela avaliação da capacidade de drenagem do solo.

Tendo em conta os pontos analisados, é possível prosseguir com os estudos subsequentes, embora a possibilidade de a RESPOL instalar um sistema de energias renováveis fique condicionada pela total aprovação dos pontos 1), 3) e 4).

5. Estudo da viabilidade da implementação de uma UPAC

Deste estudo pretende-se obter a melhor solução em termos de potência a instalar e de potência de ligação relativa a uma UPAC, tendo em consideração os aspetos económicos. A melhor solução será obtida através de uma simulação num *software* especializado denominado de *Homer*.



Figura 56 – Logótipo do Homer

O *Homer* é um *software* que simula a energia produzida por equipamentos convencionais (geradores diesel, por exemplo) e também equipamentos produtores de energia através de fontes renováveis, como painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas, sendo estes dois sistemas em análise para este projeto.

Não sendo realizada neste *software* a avaliação económica do projeto, o *software Homer* indica a melhor solução a implementar em termos económicos através do parâmetro *NPC* “*Net Present Cost*”, em português “Custo Atual Líquido”. O parâmetro *NPC* corresponde à diferença entre o valor presente de todos os custos gerados e o valor presente de todas as receitas geradas ao longo da vida útil do projeto de energias renováveis. Os custos gerados ao longo da vida útil de um projeto de energia renováveis incluem:

- Capital investido;
- Operação e manutenção do sistema de energias renováveis;
- Substituição de equipamentos;
- Compra de energia à rede;
- Outros custos relativos à ligação à rede.

As receitas geradas incluem:

- Valor monetário dos equipamentos de energias renováveis no final do projeto;
- Energia vendida à rede [35].

Nesse sentido, a solução que apresentar o valor de *NPC* mais baixo é, considerada pelo *Homer*, a solução ótima.

O presente estudo compreende os seguintes procedimentos:

- 1) Recolha e preparação de dados;
- 2) Simulação no *Homer*;
- 3) Análise da melhor solução obtida no *Homer*:
 - a. Análise ao desempenho técnico e económico da solução;
 - b. Análise económico-financeira do investimento na solução.

5.1. Recolha e preparação de dados

Antes de se proceder à simulação no *Homer*, foram recolhidos e preparados os seguintes dados a introduzir nesse *software*:

- 1) Consumos de eletricidade de 2016;
- 2) Tarifas de compra de eletricidade;
- 3) Recurso solar e temperatura média anual;
- 4) Recurso eólico;
- 5) Equipamentos produtores a utilizar;
- 6) Preços por potência de painéis fotovoltaicos e de inversores;
- 7) Preços por potência de aerogeradores;
- 8) Remuneração da energia proveniente de uma UPAC.

5.1.1. Recolha dos dados de consumo de eletricidade do ano de 2016

O primeiro procedimento a realizar no estudo de viabilidade do sistema de energias renováveis foi obter os dados de consumo de eletricidade horários mensais do ano de 2016. Para tal, acedeu-se à área reservada da página EDP Distribuição.

Os dados de consumo vêm separados em 12 ficheiros de formato “.xls”, sendo cada um relativo a cada mês do ano.

Ainda antes de se recorrer ao *software Homer*, foi necessário compatibilizar os dados de consumo obtidos na plataforma EDP Distribuição com o *software Homer*, uma vez que este *software* não é capaz de efetuar a leitura dos consumos através dos ficheiros “.xls” individuais. Através desses dos dados de consumo desses ficheiros “.xls” criou-se uma tabela com 1 coluna e 8784 linhas num novo ficheiro “.xls”, onde cada linha corresponde a uma determinada hora do ano de 2016, sendo que 1 ano bissexto, no caso desse ano, tem 8784 horas. Posteriormente, após a construção da nova tabela, copiou-se a coluna de todos os seus valores para um ficheiro de texto “.txt” compatível com o *software Homer*. No entanto, há que referir que o *Homer* apenas reconhece 8760 horas, sendo o número de horas de um ano comum.

5.1.2. Recolha dos valores das tarifas de compra de eletricidade

Como foi referido anteriormente, a RESPOL possui um contrato tetra-horário a Média Tensão. Os períodos horários e as suas tarifas associadas foram recolhidos na fatura de março de 2017 e estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Tarifas de compra de eletricidade e potência em horas de Ponta

Período	Tarifa [€/kWh]	Potência faturada [€/kW/dia]	Potência faturada [€/kW/mês]
Ponta	0,105749	0,2641	0,8055
Cheia	0,092236		
Vazio	0,063735		
Super Vazio	0,056661		

Pela observação da Tabela 4, esta indica as tarifas para os períodos horários “Ponta”, “Cheia”, “Vazio” e “Super Vazio” e para potência cobrada em horas de ponta diariamente. Relativamente ao valor da potência em horas de ponta, o *Homer* aceita-o na forma de €/kW/mês, tendo-se multiplicado por 366 (dias do ano de 2016), de seguida dividido por 12 meses, resultando em 0,8055 €/kW/mês.

5.1.3. Recolha dos dados da temperatura média e do recurso solar

Os dados da temperatura média e do recurso solar são os mesmos que os indicados nas secções 4.1.1 e 4.1.2, tendo sido obtidos na página do departamento “*Atmospheric Science Data Center*”, pertencente à NASA. Nessa página da introduziu-se as coordenadas geográficas do local onde a RESPOL se situa, sendo 39,776° de Latitude e -8,783° de Longitude, e desse modo obteve-se os dados para a radiação e temperatura. A Tabela 5 e a Tabela 6 representam respetivamente os valores mensais médios do recurso solar e da temperatura média.

Tabela 5 – Radiação solar média mensal

Mês	Radiação [kWh/m ² /dia]
janeiro	2,11
fevereiro	2,93
março	4,21
abril	5,25
maio	6,06
junho	6,81
julho	6,81
agosto	6,19
setembro	4,75
outubro	3,23
novembro	2,21
dezembro	1,76

Tabela 6 – Temperatura média mensal

Mês	Temperatura [°C]
janeiro	9,3
fevereiro	10,3
março	13
abril	14,6
maio	17,9
junho	22,2
julho	24,5
agosto	23,8
setembro	21,5
outubro	17,4
novembro	13,3
dezembro	10,9

5.1.4. Recolha dos dados mensais do recurso eólico

Os valores da velocidade do vento são os mesmos que foram referidos na secção 4.1.3, tendo sido obtidos na página do Sistema Nacional de Informação de Recurso Hídricos (SNIRH).

A Tabela 7 representa os valores médios mensais da velocidade do vento.

Tabela 7 – Velocidade do vento média mensal

Mês	Velocidade do vento [m/s]
janeiro	2,03
fevereiro	2,01
março	1,73
abril	1,30
maio	1,49
junho	1,34
julho	1,91
agosto	1,47
setembro	1,20
outubro	0,78
novembro	0,59
dezembro	0,89

Os dados recolhidos são referentes ao ano de 2015, sendo o ano com registos completos da velocidade do vento mais próximo do ano da realização deste projeto que estava disponível.

5.1.5. Definição dos equipamentos

Para a realização deste estudo, foi efetuada a escolha dos modelos dos equipamentos produtores de eletricidade, sendo os painéis fotovoltaicos, os inversores e os aerogeradores. Esta escolha serve de referência para o estudo técnico-económico, visto que será necessário introduzir no *Homer* alguns parâmetros referentes aos equipamentos em questão.

Tendo em conta o espaço disponível máximo de até 4 hectares, para os painéis fotovoltaicos, escolheu-se o modelo *Jinko JKM25P-60* com dimensões de $1650 \times 992 \times 40$ mm e potência-pico de 265 W, permitindo uma instalar uma potência máxima no terreno até 2941,5 kW.

Para os inversores, foi escolhido o modelo *Fronius ECO 27.0-3-S*, com 27 kW de potência nominal, uma vez que se prevê a instalação de um sistema de grandes dimensões.

Para os aerogeradores, foi escolhido um modelo incluído na base de dados do *Homer*, sendo o *Northern Power NW100/19* de 100 kW de potência nominal.

5.1.6. Definição dos preços por potência de painéis fotovoltaicos e de inversores

Os preços por potência de painéis fotovoltaicos e de inversores foram definidos com base em orçamentos solicitados a empresas comercializadoras de sistemas fotovoltaicos. Foram então obtidos, no total, 3 orçamentos. As propostas facultadas pelas empresas contactadas, de modo geral, incluem uma lista com os seguintes equipamentos e serviços, indicados na Tabela 8.

Tabela 8 – Equipamentos e serviços incluídos num orçamento de um sistema fotovoltaico

Equipamentos
Painéis Fotovoltaicos
Estruturas para instalação dos painéis fotovoltaicos
Inversores
Quadros de Proteção AC e DC
Esteiras e caminhos de cabo
Mão-de-obra de instalação
Construção de bases de betão
Abertura e tapamento de valas
Coordenação de projeto
Instalação e arranque do sistema

Na Tabela 9 encontram-se os valores de preços por potência para cada uma das empresas contactadas.

Tabela 9 – Preços por potência-pico recolhidos

Designação da Empresa	Preço por potência-pico [€/kWp]
Empresa A	909
Empresa B	804
Empresa C	872
Empresa D	806

Através da leitura da Tabela 9, verifica-se os preços por potência de sistemas fotovoltaicos oferecidos por cada uma das empresas contactadas, estando designadas por letras e não pelos seus verdadeiros nomes. Para este estudo, considerou-se como referência, o valor mais baixo das propostas recebidas, sendo igual a 804 €/kWp.

De referir que o *Homer* apenas permite a introdução dos preços por potência para painéis e inversores. Em apenas uma das propostas analisadas constou o preço unitário de venda do inversor *Fronius ECO 27.0-3-S*, sendo de 2278,42 €. Dividindo este valor pelo

valor da potência nominal desse inversor, que corresponde a 27 kW, obtém-se, aproximadamente, um preço de 84 €/kWp.

Visto que já se tem 84 €/kW dos 804 €/kWp estabelecidos, o valor restante, será atribuído aos painéis, não desprezando o abrangimento dos restantes equipamentos e serviços necessários para a instalação do sistema de energias renováveis. Com base nestas considerações, o preço por potência para os painéis fotovoltaicos será de 720 €/kWp.

5.1.7. Definição dos preços por potência de aerogeradores

Como já referido anteriormente, o local onde a RESPOL apresenta velocidades médias do vento bastante baixas, pelo que é altamente expectável não ser viável instalar aerogeradores. Por isso, não se considerou oportuno obter orçamentos de sistemas eólicos. No entanto, após uma pesquisa realizada, definiu-se um preço de 1000 €/kWp [36].

5.1.8. Cálculo da remuneração da energia proveniente de uma UPAC

A remuneração da energia injetada na RESP através de uma UPAC é calculada através da seguinte expressão [17]:

$$R_{UPAC} = E_{fornecida} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (1)$$

Onde:

- R_{UPAC} - Remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês 'm', em €;
- $E_{fornecida}$ - Energia fornecida no mês "m";
- $OMIE_m$ - Valor da média aritmética dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia para Portugal.

De referir que para o estudo em questão a $E_{fornecida}$ a considerar, será, não a mensal, mas sim a anual, considerando como constante o valor do parâmetro $OMIE_m$.

Pela consulta da página *web* do Mercado Ibérico de Energia no dia 21 de abril de 2017, a energia é comercializada a 46,23 €/MWh para o dia seguinte, tal como se pode verificar na Figura 57 [37].

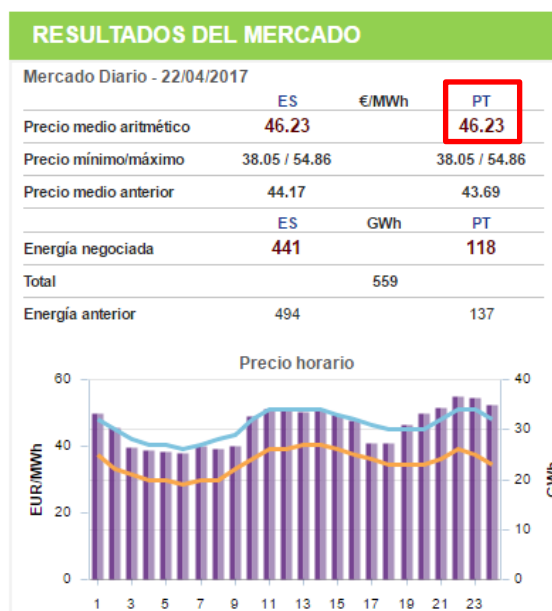


Figura 57 – Resultados do Mercado Ibérico para o dia 22 de abril de 2017

No *Homer*, esta tarifa de 46,23 €/MWh será inserida em €/kWh e multiplicada pela constante de 0,9, resultando em 0,041607 €/kWh.

5.2. Simulação no software Homer

Nesta secção será descrito como se efetuou a análise da viabilidade económica no *software Homer*. A simulação envolveu os seguintes procedimentos:

- 1) Adição de equipamentos;
- 2) Introdução de dados:
 - a. Dados de entrada para equipamentos;
 - b. Dados de entrada para os recursos renováveis.
- 3) Cálculo.

5.2.1. Adição de equipamentos

Já no *software Homer*, o procedimento inicia-se pela adição dos componentes pretendidos no sistema de energias renováveis, clicando no botão “*Add/Remove*” como se pode verificar na Figura 58.

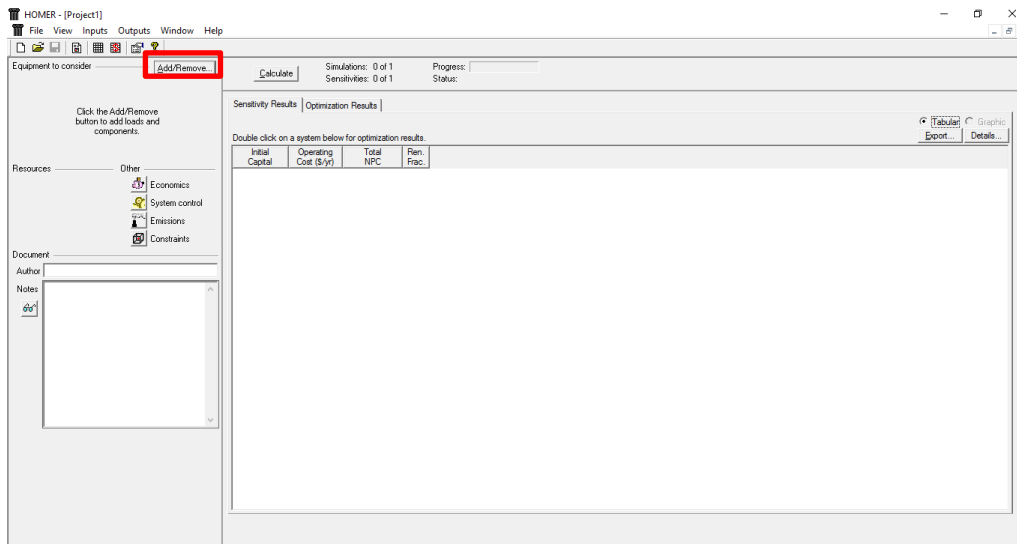


Figura 58 – Ecrã inicial do Homer

Seguidamente, surge uma janela designada de “Add/Remove Equipment To Consider”, mostrado na Figura 59.

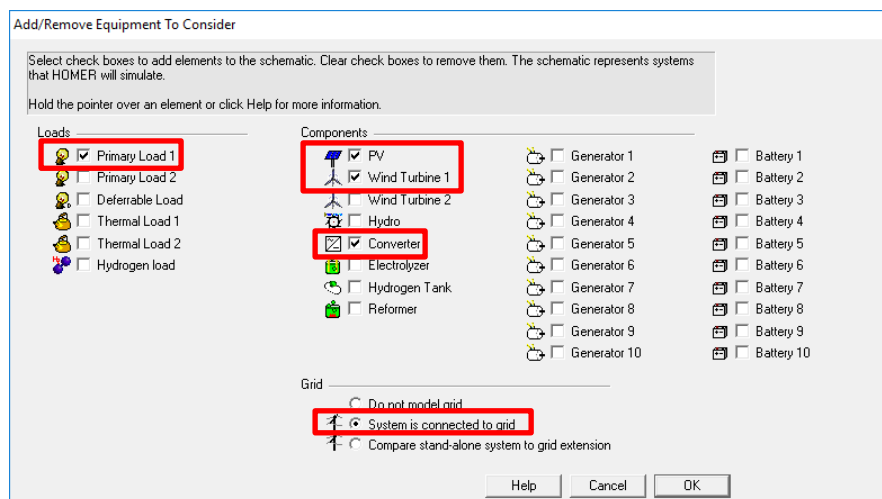


Figura 59 – Adição de equipamentos

Como se observa na Figura 59, foi selecionada a carga “Primary Load 1” que corresponde à carga primária, os componentes “PV”, “Wind Turbine 1” e “Converter” que correspondem respetivamente aos painéis fotovoltaicos, aerogerador e inversor, e selecionou-se a opção “System is connected to grid”, que implica que se quer o sistema a dimensionar ligado à rede.

Após este procedimento, o software Homer representa o sistema de energias renováveis tal como indica a Figura 60.

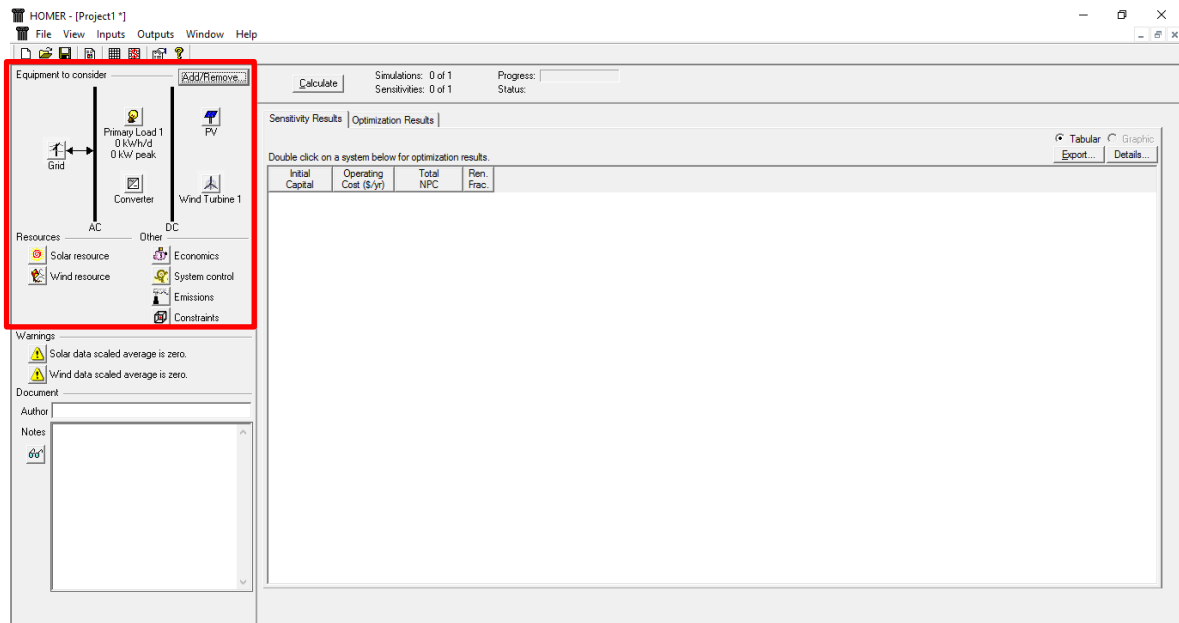


Figura 60 – Sistema de energias renováveis a configurar

5.2.2. Introdução de dados

Nesta parte, introduziu-se os dados de entrada ou *inputs* para os seguintes elementos:

- Equipamentos:
 - *Primary Load 1*;
 - *Grid*;
 - *Converter*;
 - *Wind Turbine 1*;
 - *PV*.
- Recursos renováveis:
 - *Solar resource*;
 - *Wind resource*;
 - *Temperature*.

Iniciando-se pelos equipamentos, o equipamento “*Primary Load 1*” refere-se às necessidades elétricas da instalação em análise no *Homer*, sendo as instalações da RESPOL. Para tal abriu-se a hiperligação “*Primary Load 1*” visível na Figura 61.

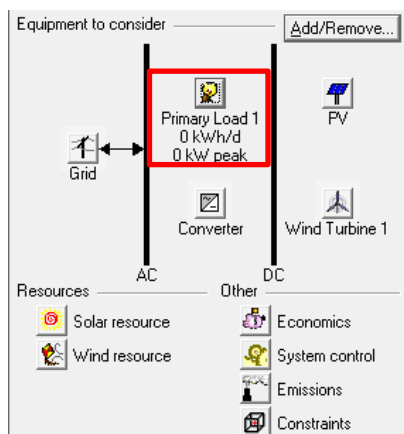


Figura 61 – Seleção da hiperligação “Primary Load 1”

Surge então, uma janela cujo com a designação de “Primary Load Inputs” cujo aspeto é mostrado na Figura 62.

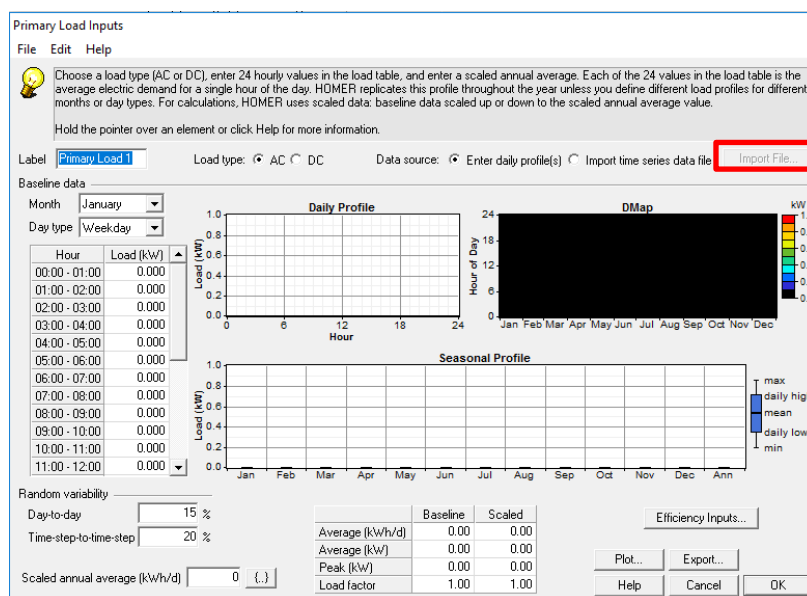


Figura 62 – Janela “Primary Load Inputs”

De seguida selecciona-se a opção “Import time series data file”, indicada na Figura 62 e clica-se em “Import file” para importar os valores da energia consumida gravados no ficheiro de formato de texto “.txt” com os consumos horários da RESPOL para 8760 horas do ano de 2016 criado para o Homer, tal como referido na secção 5.1.1.

Após a importação do ficheiro de texto, a janela “Primary Load Inputs” fica com a informação carregada e adquire o aspeto mostrado na Figura 63.

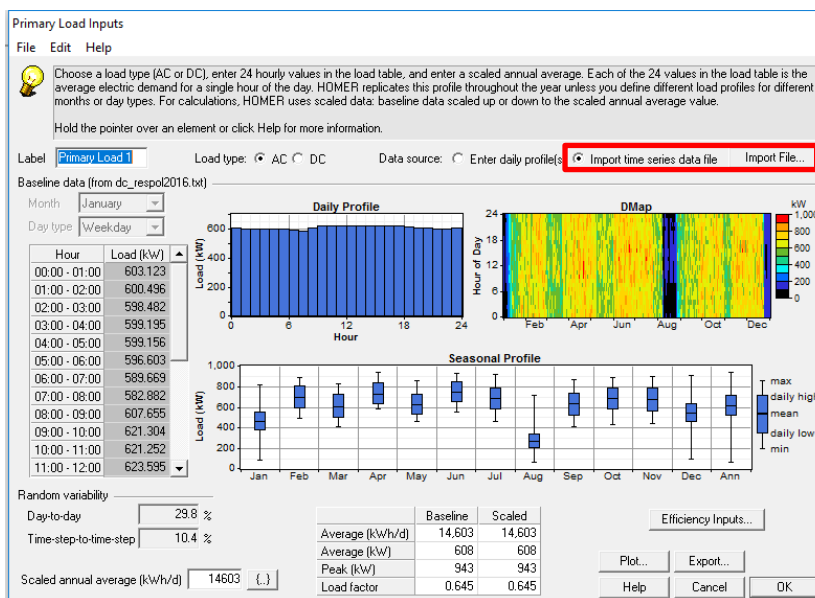


Figura 63 - Janela "Primary Load Inputs" com o diagrama de carga carregado

Pela análise da Figura 63, com os dados de consumo importados, esta janela passa a apresentar a seguinte informação:

- Diagrama de carga médio horário:
 - Indica o consumo médio a cada hora do dia.
- Gráfico térmico mensal:
 - Indica, através de cores, a intensidade dos consumos ao longo do ano.
- Gráfico do tipo *Box Plot*:
 - Indica, em cada mês os consumos máximos, de quartil superior, valor médio, de quartil inferior e os consumos mínimos.

Seguidamente procedeu-se à introdução dos valores das tarifas de eletricidade constantes da fatura de eletricidade da RESPOL. Para tal abriu-se a hiperligação "Grid" mostrada na Figura 64 e surge uma janela "Grid Inputs" representada na Figura 65.

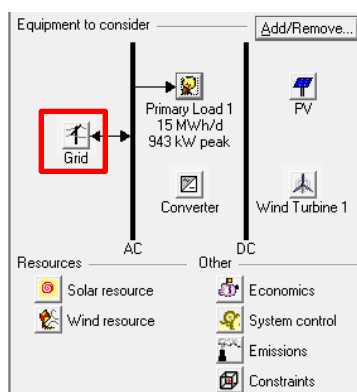


Figura 64 – Seleção da hiperligação "Grid"

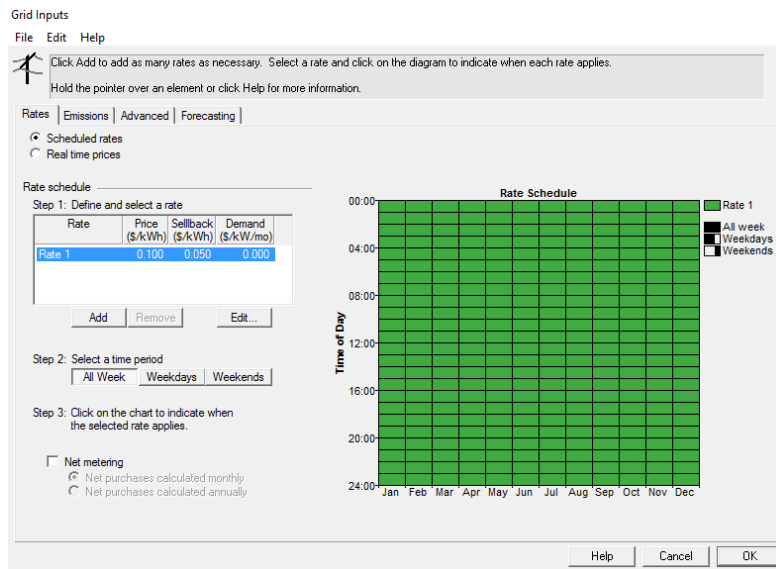


Figura 65 – Janela “Grid Inputs”

Como se pode verificar na Figura 65, a tabela “Step 1” representa onde se pode adicionar os períodos do contrato tetra horário, bem como as suas tarifas de compra e de venda à rede e o preço adicional da potência consumida em horas de ponta nos respetivos campos ”Rate”, “Price”, “Sellback” e “Demand”.

A tabela “Rate Schedule” corresponde à atribuição das tarifas do contrato tetra horário aos seus respetivos períodos.

A Figura 66 representa a tabela “Step 1” e grelha “Rate Schedule” já configuradas.

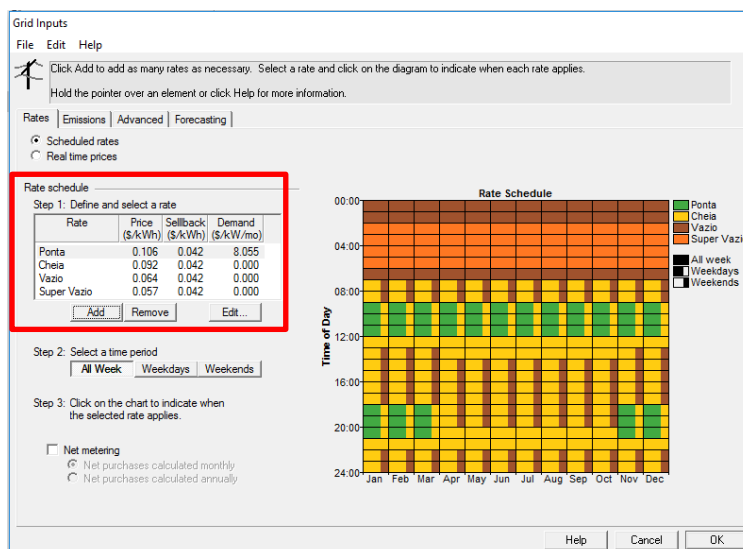


Figura 66 – Janela “Grid Inputs” configurada

Como se pode observar na Figura 66, a tabela “Step 1” representa as tarifas de compra e de venda à RESP para os períodos tarifários: “Ponta”, “Cheia”, “Vazio” e “Super Vazio”

e também o valor a pagar mensalmente pela potência em horas de Ponta. As tarifas de compra, em €/kWh, para os períodos de “Ponta”, “Cheia”, “Vazio” e “Super Vazio” são respetivamente 0,112, 0,099, 0,069 e 0,062. A tarifa da potência em horas de ponta é de 8,055 €/kW/mês. Estes valores foram retirados de uma fatura de eletricidade da RESPOL. A tarifa de venda à RESP, também em €/kWh é igual em todos os períodos tarifários, assumindo o valor de 0,042 €/kWh.

Ao lado direito observa-se a grelha “*Rate Schedule*” configurada por cores, sendo que cada cor corresponde a um período tarifário, como se pode observar. Pode-se também observar que há células da grelha com mais que uma cor, sendo que cada célula corresponde a um período horário de um determinado mês. As células com mais que uma cor indicam que para o mesmo período horário, pode existir mais que um período tarifário, visto que as tarifas são aplicadas num ciclo semanal, onde aos fins-de-semana, os períodos abrangentes para os períodos de “Ponta, Cheia, Vazio e Super Vazio”, mudam em relação aos dias úteis.

Seguidamente, abriu-se o separador “*Advanced*” para se inserir o valor da potência contratada da RESPOL, tal como se pode observar na Figura 67.

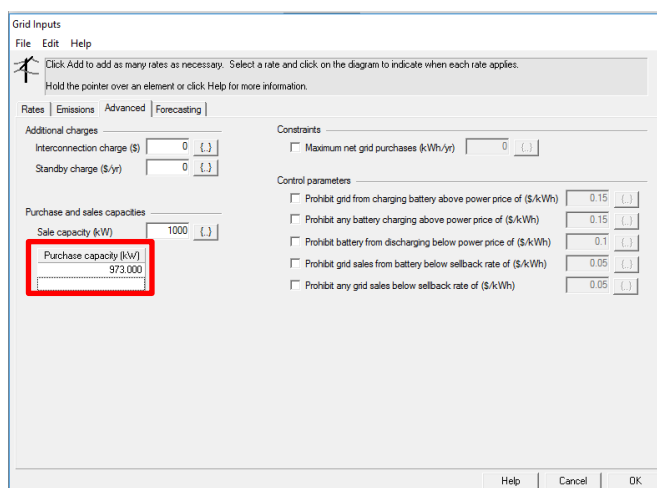


Figura 67 – Inserção do valor da potência contratada

Pela observação da Figura 67, inseriu-se o valor da potência contratada que é de 973 kW no campo “*Purchase capacity*”.

Posteriormente abriu-se a hiperligação “*Converter*” para se configurar o sistema de inversores, tal como se pode observar na Figura 68. Seguidamente surge a janela “*Converter Inputs*” mostrada na Figura 69.

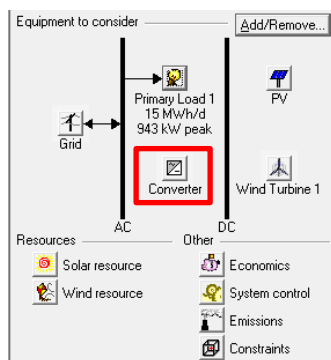


Figura 68 – Seleção da hiperligação “Converter”

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1.000	84	74	1

Size (kW)
0.000
702.000
729.000
756.000
783.000
810.000
837.000

Cost Curve

Cost (000 \$)

Size (kW)

Capital Replacement

Figura 69 – Janela “Converter Inputs”

Pela Figura 69, a janela “Converter Inputs” indica as seguintes secções:

- “Costs”;
- “Inverter inputs”;
- “Rectifier inputs”;
- “Sizes to consider”.

A secção “Costs” indica uma tabela com os campos “Size”, “Capital”, “Replacement” e “O&M”, correspondendo respetivamente, ao valor de referência de potência nominal para os inversores, custo de aquisição do equipamento, o custo de substituição e os custos de operação e manutenção.

De realçar que, apesar de o *Homer* apresentar os custos em dólares americanos (\$), na prática não influenciará o sistema em euros (€), pois neste procedimento, está-se a assumir que 1\$ corresponde a 1€.

Considerou-se, por referência, 1 kW em inversores, com um investimento de 84 €, substituição por 74 € e despesas em operação e manutenção de 1 €/kW/ano, assumindo que essas despesas representam 1% do preço por potência do equipamento. Como para este campo, o *Homer* só aceita números inteiros, considerou-se o valor de 1 €/ano ao invés de 0,74 €/ano.

Posteriormente, no separador “*Inverter Inputs*” definiu-se um tempo de vida de 25 anos e uma eficiência de 98 %, referente ao inversor escolhido *Fronius ECO 27.0-3-S* [38].

O separador “*Rectifier inputs*” permaneceu com os valores pré-definidos.

A tabela “*Sizes to consider*” indica as potências nominais, em (kW), que o *Homer* vai considerar para a simulação. Inseriram-se valores de potência 0 kW e um intervalo entre 702 kW e 972 kW, com espaçamento igual a 27 kW, equivalendo à potência de um único inversor *Fronius ECO 27.0-3-S*, sendo este o limite a utilizar com estes inversores, tendo em conta a limitação de a potência total dos inversores não exceder a potência contratada 973 kW.

De seguida procedeu-se à configuração do aerogerador, indo à hiperligação “*Wind Turbine 1*” tal como mostra a Figura 70.

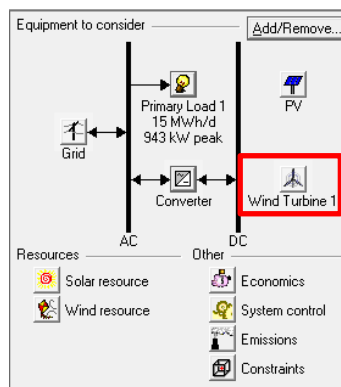


Figura 70 – Seleção da hiperligação “*Wind Turbine 1*”

Surge a janela “*Wind Turbine Inputs*”, representada na Figura 71.

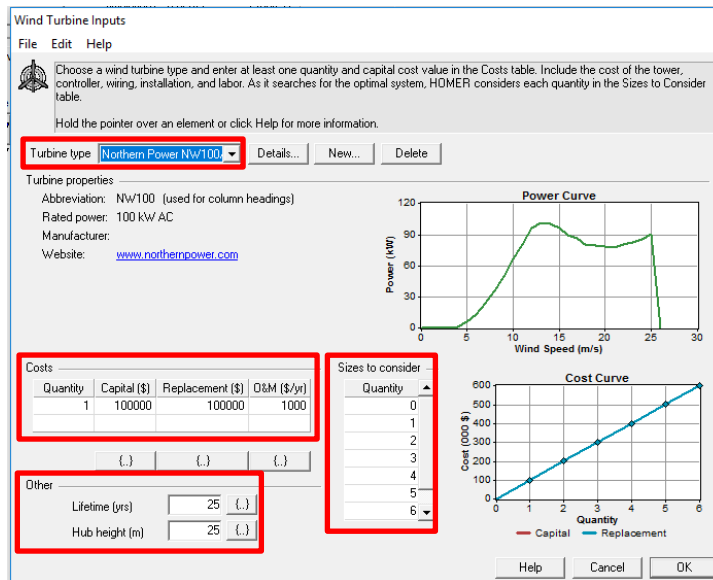


Figura 71 – Janela “Wind Turbine 1”

Observando a Figura 71, foi escolhido o modelo “Northern Power NW100/19” de 100 kW para a turbina eólica e na tabela de custos foi considerado um investimento de 100 000 €, substituição de 100 000 € e 1000 €/ano para operação e manutenção para 1 turbina deste modelo. O tempo de vida útil é de 25 anos e por predefinição, o campo “Hub height”, que corresponde à altura do centro do rotor relativamente ao solo, é de 25 m. Nas quantidades a considerar, considerou-se 0 e entre 1 e 8 turbinas.

Por fim, procedeu-se à configuração do sistema fotovoltaico, abrindo a hiperligação “PV” indicada na Figura 72. Após abrir a hiperligação configurou-se o sistema fotovoltaico, tal como mostra a Figura 73.

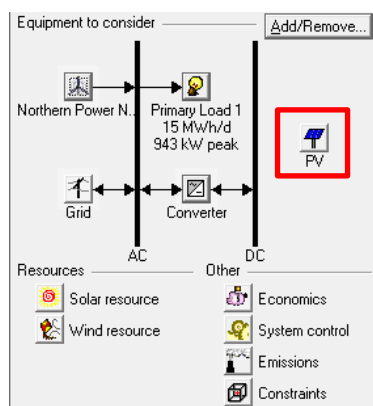


Figura 72 - Seleção da hiperligação “PV”

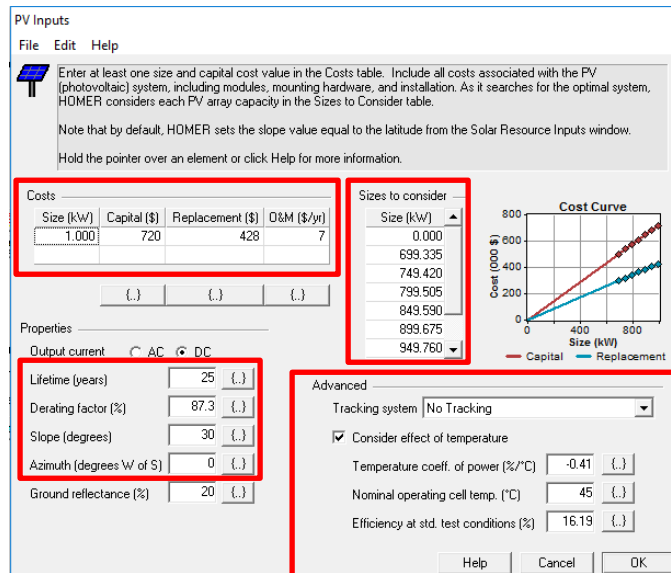


Figura 73 – Janela “PV Inputs”

Pela observação da Figura 73, a tabela de custos foi preenchida dando uma potência de referência de 1 kW, que corresponde 720 € de investimento inicial, 428 € de custos de substituição e 7 €/kW/ano para operação e manutenção e adicionou-se uma vasta gama de potências a considerar para que o *Homer* efetue a simulação com base na combinação de valores de potência a considerar. Sendo a potência de 0 kW e um intervalo entre 699 kW e 999 kW, tendo em conta o limite imposto 1000 kW pelo Decreto-Lei nº 153/2014 para as UPAC.

Pode-se também observar que na secção “*Properties*” se estabeleceu:

- 25 anos de vida útil;
- “*Derating factor*” de 87,3%:
 - Este valor corresponde à redução de potência dos painéis fotovoltaicos em determinadas situações. Para estas perdas, considerou-se o sombreamento ao amanhecer e entardecer (10%) e as perdas pelos cabos até aos inversores (3%). Subtraindo estas percentagens a 100%, dá 90% e 97% respetivamente a cada uma das situações. Multiplicando os 90% pelos 97% obtidos, resulta assim num “*Derating factor*” de 87,3% [39];
- Inclinação de 30°;
- Azimute de 0°;
- Refletância do solo de 20%.

Na secção “*Advanced*”, o menu “*Tracking system*” corresponde ao sistema de seguimento, que se considerou sistema fixo. Mais abaixo, considerou-se que a temperatura

do ar afeta a produção fotovoltaica, atribuindo-se um valor de $-0,41 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$. Atribuiu-se o valor de $45 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ para a temperatura de operação nominal e uma eficiência de condições *standard* ($1000 \text{ kW}/\text{m}^2$ a $25 \text{ } ^{\circ}\text{C}$) de $16,19\%$. Estes valores são baseados nas características técnicas referentes ao painel fotovoltaico *Jinko JKM265P-60* [40].

As configurações dos equipamentos estão concluídas. Segue-se a configuração dos recursos renováveis, que se iniciou pela configuração do recurso solar, indo à hiperligação “*Solar resource*” representada na Figura 74.

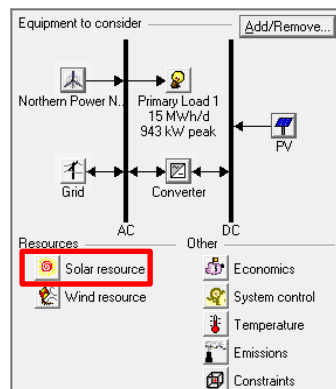


Figura 74 – Seleção da hiperligação “*Solar resource*”

Surge então uma janela designada de “*Solar Resource Inputs*” que se pode verificar na Figura 75. Foram introduzidos os valores das coordenadas geográficas e da radiação solar.

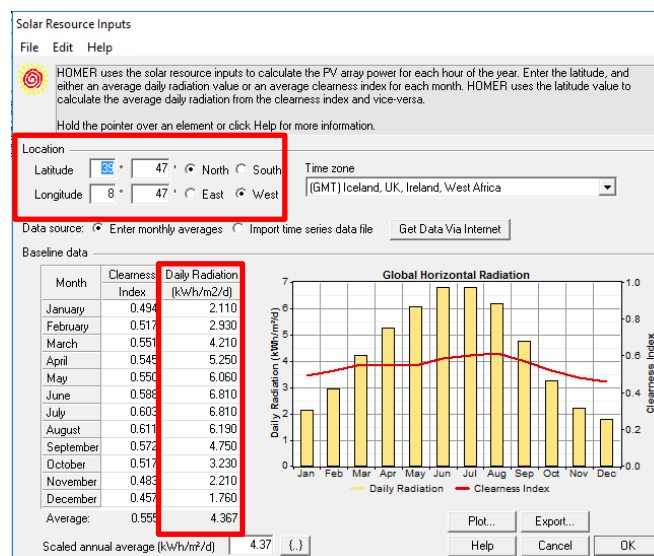


Figura 75 – Janela “*Solar Resource Inputs*”

Pela Figura 75, inseriu-se uma latitude de $39^{\circ} 47'$ Norte e uma longitude de $8^{\circ} 47'$ Oeste, sendo que estes valores correspondem respetivamente aos valores referidos anteriormente de $39,776$ e $-8,783$. Os valores da radiação solar foram obtidos, através do

clique no botão “*Get Data Via Internet*”. De salientar que estes valores da radiação obtidos no *Homer* são coincidentes com os valores obtidos na página do departamento “*Atmospheric Science Data Center*” da NASA indicados na Tabela 5. Nesse sentido, estes valores retirados dessa página apenas serviram para validar os dados que o *Homer* obtém automaticamente, relativamente à radiação solar.

Seguidamente, inseriu-se os dados do recurso eólico, abrindo a hiperligação “*Wind Resource*” mostrado na Figura 76.

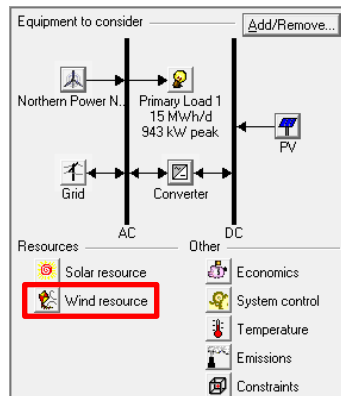


Figura 76 – Seleção da hiperligação “*Wind resource*”

Surge a janela “*Wind resource inputs*” que se pode observar na Figura 77.

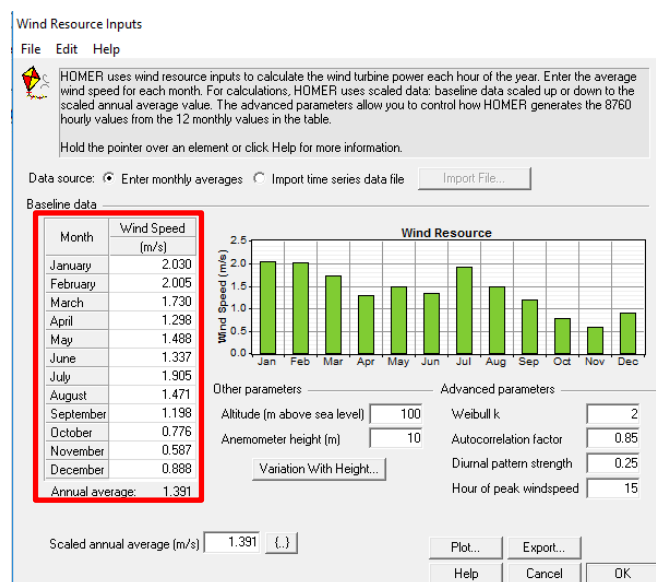


Figura 77 – Janela “*Wind resource inputs*”

Observando a Figura 77, foram introduzidos os valores da velocidade do vento, indicados na Tabela 7.

Por fim inseriu-se os valores da temperatura do ar, abrindo a hiperligação “Temperature” que se mostra na Figura 78 e de seguida, preencher a tabela visível na Figura 79.

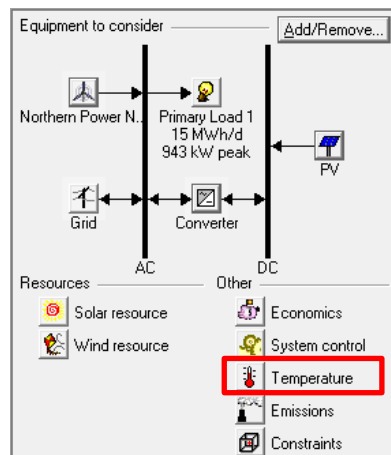


Figura 78 – Seleção da hiperligação “Temperature”

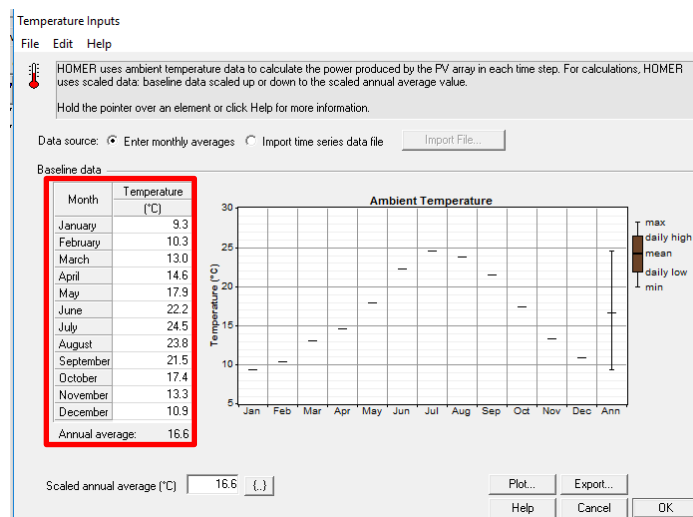


Figura 79 – Janela “Temperature Inputs”

Os valores da temperatura inseridos na tabela da Figura 79 correspondem aos valores explícitos na Tabela 6.

5.2.3. Cálculo

Os equipamentos e os recursos já se encontram devidamente configurados. O último procedimento a realizar no *software Homer* é efetuar o cálculo, que indicará a melhor solução em termos económicos para o sistema de energias renováveis.

Tendo em conta a Figura 80, o *Homer* terá 768 combinações para efetuar. Clicando no botão “*Calculate*”, o algoritmo do *Homer* irá efetuar a simulação para indicar a melhor solução, através da combinação de potências escolhidas entre os equipamentos a analisar.

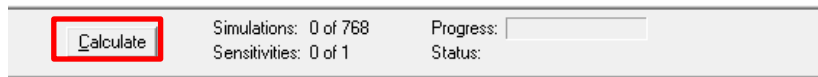


Figura 80 – Número de combinações para o Homer simular

A Figura 81 mostra os resultados da simulação que o *Homer* efetuou.

	PV (kW)	NW100	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		810	973	\$ 787,928	378,420	\$ 5,625,401	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		837	973	\$ 790,196	378,286	\$ 5,625,963	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		783	973	\$ 785,660	378,643	\$ 5,625,989	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		864	973	\$ 792,464	378,209	\$ 5,627,239	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		756	973	\$ 783,392	378,996	\$ 5,628,238	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		891	973	\$ 794,732	378,180	\$ 5,629,145	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		918	973	\$ 797,000	378,181	\$ 5,631,417	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		729	973	\$ 781,124	379,521	\$ 5,632,681	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		945	973	\$ 799,268	378,196	\$ 5,633,884	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		972	973	\$ 801,536	378,221	\$ 5,636,468	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	999.84		702	973	\$ 778,856	380,224	\$ 5,639,398	0.083	0.28
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		783	973	\$ 749,599	383,913	\$ 5,657,295	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		756	973	\$ 747,331	384,099	\$ 5,657,402	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		810	973	\$ 751,867	383,807	\$ 5,658,203	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		729	973	\$ 745,063	384,420	\$ 5,659,240	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		837	973	\$ 754,135	383,759	\$ 5,659,867	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		864	973	\$ 756,403	383,751	\$ 5,662,030	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		702	973	\$ 742,795	384,928	\$ 5,663,468	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		891	973	\$ 758,671	383,763	\$ 5,664,452	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		918	973	\$ 760,939	383,787	\$ 5,667,022	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		945	973	\$ 763,207	383,813	\$ 5,669,621	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	949.76		972	973	\$ 765,475	383,840	\$ 5,672,235	0.083	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	899.67		729	973	\$ 709,002	389,781	\$ 5,691,712	0.084	0.25
<input checked="" type="checkbox"/>	899.67		756	973	\$ 711,270	389,625	\$ 5,691,984	0.084	0.25
<input checked="" type="checkbox"/>	899.67		702	973	\$ 706,734	390,064	\$ 5,693,057	0.084	0.25
<input checked="" type="checkbox"/>	899.67		783	973	\$ 713,538	389,549	\$ 5,693,277	0.084	0.25

Figura 81 – Resultados da simulação efetuada pelo Homer

Observando a Figura 81, a melhor solução indicou uma potência instalação de 999,845 kW em painéis e uma potência de ligação em inversores de 810 kW. Como já foi referido anteriormente, a melhor solução é a que apresenta o valor de *NPC* mais baixo. Esta solução apresentou um *NPC* de 5 625 401 € e o seu investimento inicial é de 787 928 €. Como se pode também constatar, nem a melhor solução, nem as restantes soluções mostradas na figura sugerem a utilização qualquer aerogerador, visto que o pequeno ícone de aerogerador não surge em nenhuma das soluções visíveis na figura, ao paço que o ícone de painel fotovoltaico surge em todas.

5.3. Discussão de resultados

A discussão de resultados visa caracterizar a solução obtida pela simulação no *software Homer* através da discussão dos seguintes aspetos:

- 1) Validação técnica da solução obtida no *Homer*;
- 2) Energia produzida pela UPAC;
- 3) Análise ao autoconsumo;
- 4) Análise económico-financeira do projeto.

5.3.1. Validação técnica da solução obtida no Homer

Como se obteve na simulação do *Homer* uma potência instalação de 999,845 kWp em painéis e uma potência de ligação em inversores de 810 kW, é de salientar que cada inversor a utilizar no sistema de energias renováveis permite a ligação máxima de 35,7 kW em painéis fotovoltaicos [38]. Nestas condições, para se perfazer o valor de potência de 810 kW em inversores, são necessárias 30 unidades deste equipamento, relembrando que se considerou o modelo *Fronius ECO 27.0-3-S* de 27 kW.

O *Homer* tende a maximizar a produção em função dos recursos disponíveis, neste caso a radiação solar, e por isso a potência em painéis indicada pelo mesmo é tipicamente superior à potência dos inversores. Nesse sentido, visto que os equipamentos que se encontram ligados à rede são os inversores e não os painéis fotovoltaicos, a potência efetiva a considerar para os painéis, de modo a não “ultrapassar” a potência nominal dos inversores, será a potência superior mais próxima do valor de 810 kW do conjunto de inversores. Uma vez escolhidos os painéis fotovoltaicos *Jinko JKM265P-60* de 265 Wp, o seu valor total para a UPAC será de 810,105 kWp. Nestas condições, a cada inversor estarão ligados, aproximadamente em média, 27 kW de painéis, implicando uma folga de cerca de 24% relativamente ao seu limite. Nesse sentido, quanto menor for o sobredimensionamento dos inversores, menor a probabilidade da ocorrência de anomalias [34].

5.3.2. Energia produzida pela UPAC

Nesta secção, será dada uma abordagem à energia anual produzida pela UPAC, já com a potência-pico corrigida para 810,105 kWp, pelo que se efetuou uma nova simulação utilizando apenas o valor de 810,105 kWp para os painéis fotovoltaicos e 810 kW para os inversores.

Estão indicados na Tabela 10 os valores de energia produzida referentes ao primeiro ano de utilização da UPAC, visto que o *Homer* calcula a energia produzida pelos painéis

fotovoltaicos sem considerar a sua depreciação ao longo do seu tempo de vida útil. Através da consulta da ficha técnica do painel fotovoltaico *Jinko JKM265P-60*, a informação constante nesse documento, indica que este equipamento apresenta um decréscimo linear de rendimento de 0,7% por ano [40].

Tabela 10 – Energia elétrica produzida pela UPAC

Energia produzida pelos painéis fotovoltaicos	1 255 290 kWh
Energia que entra nos inversores	1 255 290 kWh
Energia que sai dos inversores	1 230 183 kWh
Energia autoconsumida	1 134 172 kWh
Energia injetada na rede	96 009 kWh

Pela leitura da Tabela 10, a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos foi de 1 255 290 kWh, entrando nos inversores entra a mesma quantidade de energia.

O valor da energia que sai dos inversores é o valor que é considerado efetivo da energia produzida pelo sistema de energias renováveis, pelo que há pequenas perdas de energia nos próprios inversores. Nestas condições, o *Homer* indicou uma produção efetiva de energia de 1 230 183 kWh. Deste valor de energia produzida, uma parte é destinada ao autoconsumo e a outra é injetada na rede.

A quantidade da energia autoconsumida é de 1 134 172 kWh e o valor da energia injetada na rede corresponde ao valor total do excesso de produção de eletricidade pelo sistema fotovoltaico, sempre que as necessidades elétricas da RESPOL forem inferiores à produção fotovoltaica, contando-se com 96 009 kWh em energia injetada na rede.

5.3.3. Análise ao autoconsumo

Nesta secção, com base nas informações indicadas pela simulação no *Homer*, abordar-se-ão as estimativas dos efeitos que o autoconsumo terá nas necessidades em eletricidade adquirida à rede e também nos encargos com energia ativa por parte da RESPOL.

De referir que todos os valores que apresentados nesta secção se referem ao primeiro ano de utilização da UPAC.

Na Figura 82 encontra-se representado o diagrama de consumo da rede, utilizando a UPAC do sistema fotovoltaico obtida pela solução do *Homer* sobreposto ao diagrama de carga da rede (sem UPAC).

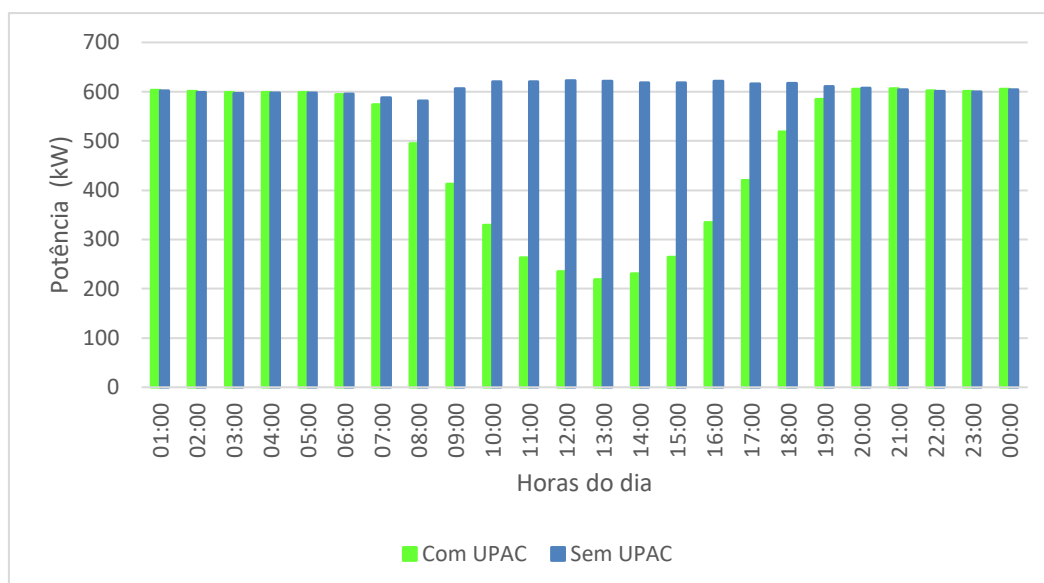


Figura 82 – Diagramas de carga médios diários com e sem UPAC

Pela análise à Figura 82 observa-se um grande decréscimo no consumo de energia à rede entre as 8:00 e as 18:00, visto a este período corresponder ao período médio anual de horas de Sol. Os consumos mínimos de energia à rede ocorrem entre as 12:00 e as 14:00, visto ser o período em que a intensidade da radiação solar é mais elevada.

Na Tabela 11 encontram-se os valores estimados dos consumos de eletricidade por período tarifário, utilizando uma UPAC, em comparação com os atuais, ou seja, sem UPAC.

Tabela 11 – Valores estimados dos consumos de eletricidade por período tarifário

Período tarifário	Consumos de eletricidade à rede sem UPAC [kWh]	Consumos de eletricidade à rede com UPAC [kWh]	Redução [kWh]	Redução [%]
Horas de Ponta	669 222	356 375	266383	39,8
Horas de Cheia	2 499 074	1 664 195	708384	28,3
Horas de Vazio	1 288 165	1 097 018	158766	12,3
Horas de Super Vazio	873 631	872 842	639	0,1
TOTAL	5 330 092	3 990 430	1 134 172	21,3

Através da leitura da Tabela 11, constata-se uma redução mais significativa do consumo à rede nas horas de Ponta e nas horas de Cheia, respetivamente de 39,8% e 28,3%, visto ser nesses períodos em que o sistema fotovoltaico produz mais energia durante o dia, face aos 12,3% nas horas de vazio e aos 0,1% no Super Vazio. A redução em horas de Super Vazio é praticamente nula, pois durante esse período não existe produção fotovoltaica, apesar de poder ocorrer um fornecimento residual de eletricidade por parte dos inversores. No geral, foi estimado que os consumos de eletricidade possam diminuir 21,3%.

Na Tabela 12 encontram-se os valores dos encargos em energia ativa, isentos de impostos, estimados através da utilização do sistema fotovoltaico, comparados com os encargos atuais.

Tabela 12 – Encargos em energia ativa por período tarifário

Período tarifário	Encargos com energia ativa sem UPAC [€]	Encargos com energia ativa com UPAC [€]	Redução geral [€]	Redução geral [%]
Horas de Ponta	70769,56	42 599,82	127 706,84	25,9
Horas de Cheia	230 504,59	165 166,08		
Horas de Vazio	82 101,20	71 982,25		
Horas de Super Vazio	49 500,81	49 464,60		
Penalização em Horas de Ponta	60 403,24	36 359,80		
TOTAL	493 279,39	365 572,55		

Pela leitura da Tabela 12, obtém-se uma redução nos encargos em energia ativa em 127 706,84 € no primeiro ano, correspondendo a 25,9%, visto que em cada período a redução dos encargos é coincidente relativamente à redução dos consumos, pelo que este valor de 25,9% é superior à redução nos consumos de eletricidade, devido à redução da penalização da potência média consumida em horas de Ponta que é cobrada na fatura de eletricidade.

5.3.4. Análise económico-financeira do projeto

A análise económico-financeira do investimento na UPAC referente à solução obtida no *Homer* foi efetuada numa folha de cálculo no *software* Microsoft Excel 2013.

Na Tabela 13 encontram-se os pressupostos considerados análise económico-financeira ao investimento na solução de UPAC obtida no *Homer*.

Tabela 13 – Pressupostos considerados no investimento na UPAC

Investimento no sistema fotovoltaico	652 065,60 €
Potência de instalação em painéis	810,105 kW
Potência de ligação em inversores	810 kW
Tempo de vida útil do projeto	25 anos
Custos em Operação e Manutenção	6 520,66 €/ano
Tarifa de venda de eletricidade à RESP	0,041607 €/kWh
Depreciação anual dos módulos fotovoltaicos	0,70%
Taxa de atualização	2,00%
Encarecimento anual da compra de eletricidade	2,33%

Através da leitura da Tabela 13, destacam-se os pressupostos do investimento no sistema fotovoltaico de 652 065,60 €, o tempo de vida útil do projeto de 25 anos, os custos

de operação e manutenção de 6520,66 €/ano, a depreciação anual dos módulos fotovoltaicos de 0,70%, a taxa de atualização de 2,00% e o encarecimento anual da compra de eletricidade de 2,33%.

Relativamente ao valor do investimento, este resulta do valor gerado pelo *Homer* com o acréscimo da taxa de registo no SERUP de 750 € que é necessário efetuar. Os custos de operação e manutenção foram assumidos de modo a representarem 1% do investimento total. A depreciação anual dos módulos fotovoltaicos foi calculada através de informação constante da ficha técnica dos painéis fotovoltaicos *Jinko JKM265P-60* [40]. O valor do encarecimento anual da compra de eletricidade, ou tarifa da eletricidade a pagar, foi assumido com base na média aritmética dos aumentos nos anos de 2015, 2016 e 2017, que foram respetivamente 3,3%, 2,5% e 1,2% [41].

Os resultados da análise económico-financeira executada na folha de cálculo encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Indicadores económicos

VAL	2 213 222,40 €
TIR	20,54 %
ROI	4,39
<i>Payback</i>	5,31 anos

Pela leitura da Tabela 14, verifica-se que com o investimento numa UPAC de 810,105 kW em painéis e 810 kW em inversores, se obtém um Valor Atual Líquido (VAL) de 2 213 222,40 € uma Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) de 20,54%, um Retorno do Investimento (ROI) de 4,39 e o *Payback* a ocorrer ao fim de 5,31 anos, correspondendo a 5 anos e 4 meses.

A Figura 83 representa a evolução do fluxo monetário do projeto do sistema de energias renováveis.

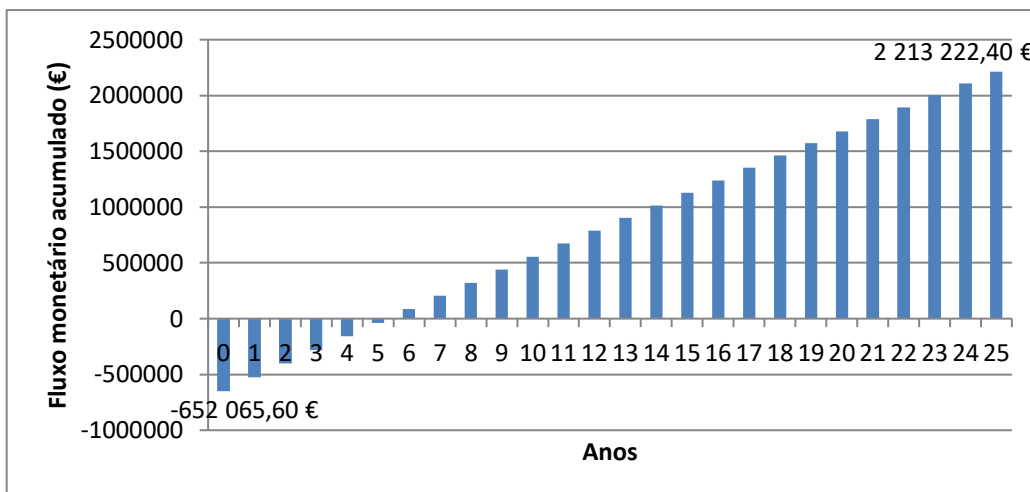


Figura 83 – Fluxo monetário acumulado ao longo do tempo de vida da UPAC

Pela análise à Figura 83, observa-se no ano “0” o investimento de 652 065,60 €, correspondendo a um valor negativo. A partir do ano “1” verifica-se o início da recuperação do capital investido, sendo que entre o ano “5” e o ano “6”, todo o capital é recuperado, correspondendo a um *Payback* a ocorrer 5,31 anos após o momento em que se efetuou o investimento na UPAC. Após a ocorrência do *Payback*, o projeto do sistema de energias renováveis inicia o seu lucro, até que no ano “25” que corresponde ao ano final da vida útil do projeto, se tem um VAL de 2 213 222,40 €.

6. Estudo da viabilidade da implementação de uma CP para venda à rede

Neste capítulo pretende-se efetuar o estudo da viabilidade da implementação de uma CP para venda à rede. O presente estudo compreende os seguintes procedimentos:

- 1) Preparação de dados;
- 2) Simulação no *software Homer*;
- 3) Análise económico-financeira da solução obtida no *Homer*.

6.1. Preparação de dados

Para o estudo da viabilidade da implementação de uma CP para venda à rede, definiu-se:

- 1) A potência máxima a implementar para painéis fotovoltaicos;
- 2) As tarifas de venda à rede.

6.1.1. Potência máxima implementar para painéis fotovoltaicos

Como a implementação de aerogeradores não se mostrou viável no estudo do capítulo anterior, os mesmos serão excluídos deste estudo, abordando-se apenas a componente fotovoltaica.

Na secção 4.3.1 definiu-se o número máximo de painéis a instalar, sendo um total de cerca de 11 640 módulos. Tendo em conta o mesmo modelo de painéis fotovoltaicos referidos no capítulo anterior, tendo estes de potência 265 W, multiplicou-se este valor pelo número máximo de painéis a instalar, resultando em 2 941 500 W, sendo este o valor limite de potência a introduzir no *Homer*.

6.1.2. Tarifa de venda à rede

Para a tarifa de venda à rede, considerou-se mesmo valor de venda no Mercado Ibérico de Energia para o dia 22 de abril de 2017 que se tinha atribuído ao excesso de produção da

UPAC, sendo 0,4623 €/kWh. No entanto, neste caso não se considerou multiplicação pelo fator de 0,9 como se tinha efetuado para o estudo da UPAC.

6.2. Simulação no Homer

A simulação da CP para venda à rede requereu praticamente os mesmos procedimentos que o estudo da implementação de uma UPAC, nesse sentido apenas serão referidos os procedimentos que diferiram para a UPAC.

6.2.1. Adição de equipamentos

Uma vez que o presente estudo é referente a um sistema para venda à rede, exclui-se a componente “*Primary Load 1*”, visto não se considerar qualquer consumo de eletricidade. E como já foi referido no subcapítulo anterior, exclui-se também da simulação os aerogeradores, por estes não se terem mostrado viáveis na simulação anterior. O esquema de equipamentos a considerar encontra-se na Figura 84.

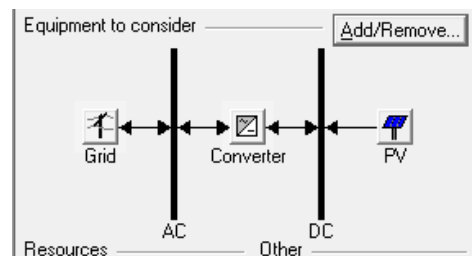


Figura 84 – Equipamentos a considerar na CP para venda à rede

6.2.2. Introdução de dados

Nesta parte, introduziu-se os dados de entrada para os seguintes elementos:

- 1) “*Grid*”;
- 2) “*Converter*”;
- 3) “*PV*”.

Para o elemento “*Grid*”, apenas se criou uma *label* designada de “Vendas à rede”, assim como a sua tarifa de venda, que se pode observar na Figura 85.

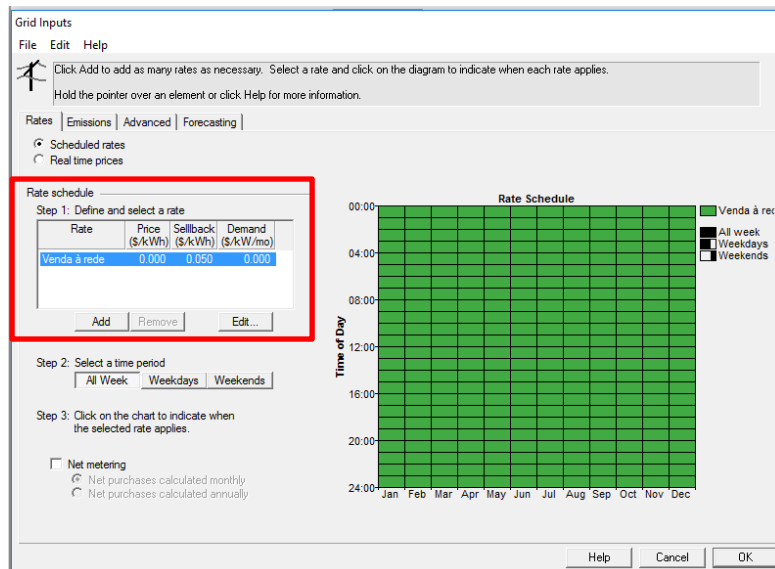


Figura 85 - Janela “Grid Inputs” configurada da CP para venda à rede

Pela observação da Figura 85, existe um ponto a assinalar. Verifica-se que se inseriu um preço de 0,050 €/kWh e não 0,04623 €/kWh, visto que para quaisquer valores imediatamente abaixo de 0,050 €/kWh, o *Homer* indicava como melhor solução não fazer qualquer investimento, por isso decidiu-se arredondar para 0,050 €/kWh. Na prática, esta alteração não afetará a análise económico-financeira, visto que nessa altura já se poderá considerar o preço de venda de 0,04623 €/kWh, lembrando que o *Homer* indica a melhor solução em termos de *NPC*, sendo a diferença entre todas as despesas e receitas geradas no tempo de vida útil do projeto.

De seguida, abriu-se o separador “Advanced” e introduziu-se o valor máximo a injetar na rede no campo, tal como consta na Figura 86.

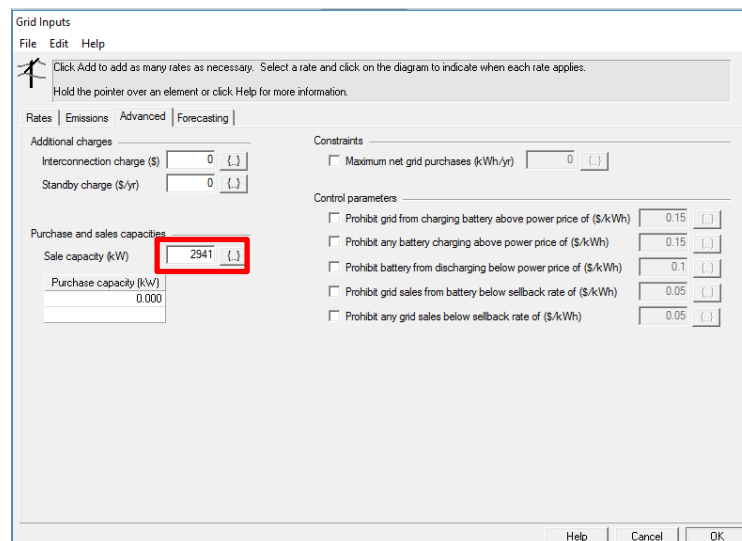


Figura 86 – Inserção do limite de venda à rede

Como se pode constatar na Figura 86, o valor máximo a injetar na rede foi introduzido no campo “Sale capacity”, sendo o valor igual ao máximo a considerar de 2941,5 kW. Como não existem consumos à rede, o campo “Purchase capacity”, referente ao limite de compra de eletricidade, toma o valor nulo.

Na configuração dos inversores, apenas se alterou, relativamente à UPAC, as gamas de potência para a simulação, como se pode constatar na Figura 87.

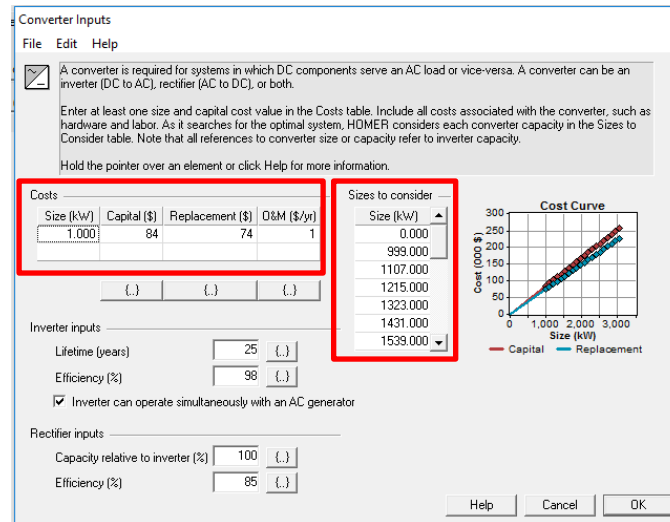


Figura 87 – Configuração da gama de potência dos inversores

Pela Figura 87, a gama de potências em estudo inclui desde os 999 kW a 3051 kW, com intervalos de 108 kW, correspondendo a 4 vezes a potência do inversor de 27 kW.

Por fim, procedeu-se à configuração do sistema fotovoltaico, como se pode verificar na Figura 88.

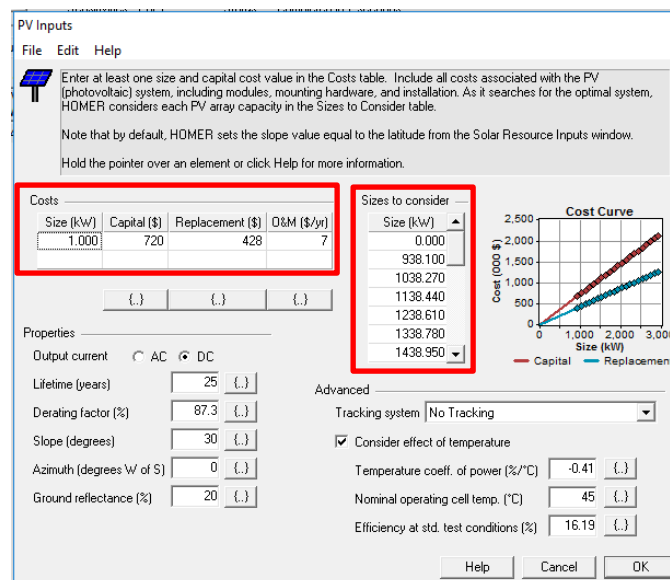


Figura 88 – Configuração dos painéis fotovoltaicos para a CP de venda à rede

Pela observação da Figura 88, introduziu-se uma gama de potência entre os 938,1 kW e os 2941,5 kW, com espaçamento de 100,17 kW, ou seja, 378 painéis de 265 W.

6.2.3. Cálculo

Tendo se já procedido a todas as alterações necessárias, procedeu-se ao cálculo para a obtenção da melhor solução. Através da Figura 89, pode-se verificar o número de combinações a realiza pelo *Homer*, sendo igual a 462.

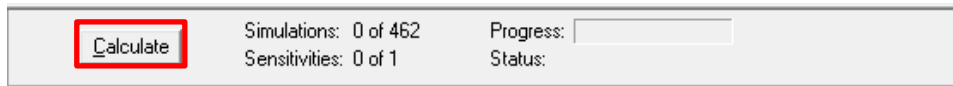


Figura 89 – Combinações a simular pelo Homer na CP para venda à rede

Na Figura 90 encontram-se os resultados do cálculo.

	PV (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
<input checked="" type="checkbox"/>	2941.5	2403	0	\$ 2,319,732	-197,586	\$ -206,080	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2941.5	2295	0	\$ 2,310,660	-196,717	\$ -204,038	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2941.5	2511	0	\$ 2,328,804	-198,056	\$ -203,017	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2841.3	2295	0	\$ 2,238,538	-190,690	\$ -199,117	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2841.3	2403	0	\$ 2,247,610	-191,240	\$ -197,078	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2941.5	2619	0	\$ 2,337,876	-198,217	\$ -196,005	-0.003	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2841.3	2187	0	\$ 2,229,466	-189,679	\$ -195,267	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2941.5	2187	0	\$ 2,301,588	-195,244	\$ -194,279	-0.003	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2741.2	2187	0	\$ 2,157,343	-183,764	\$ -191,772	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2741.2	2295	0	\$ 2,166,415	-184,408	\$ -190,936	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2841.3	2511	0	\$ 2,256,682	-191,452	\$ -190,720	-0.003	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2941.5	2727	0	\$ 2,346,948	-198,210	\$ -186,838	-0.003	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2741.2	2079	0	\$ 2,148,271	-182,586	\$ -185,790	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2741.2	2403	0	\$ 2,175,487	-184,682	\$ -185,373	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2641.0	2187	0	\$ 2,085,221	-177,558	\$ -184,569	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2641.0	2079	0	\$ 2,076,149	-176,802	\$ -183,978	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2841.3	2079	0	\$ 2,220,394	-187,993	\$ -182,787	-0.003	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2841.3	2619	0	\$ 2,265,754	-191,466	\$ -181,826	-0.003	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2641.0	2295	0	\$ 2,094,293	-177,907	\$ -179,955	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2540.8	2079	0	\$ 2,004,027	-170,691	\$ -177,980	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2741.2	2511	0	\$ 2,184,559	-184,721	\$ -176,791	-0.003	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2941.5	2835	0	\$ 2,356,020	-198,125	\$ -176,684	-0.003	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2540.8	1971	0	\$ 1,994,955	-169,797	\$ -175,616	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2941.5	2079	0	\$ 2,292,516	-193,072	\$ -175,598	-0.003	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2641.0	1971	0	\$ 2,067,077	-175,422	\$ -175,406	-0.004	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2540.8	2187	0	\$ 2,013,099	-171,123	\$ -174,432	-0.004	1.00

Figura 90 – Resultados da simulação no Homer para a CP para venda à rede

Pela observação da Figura 90, a melhor solução indicada pelo *Homer* é a utilização de 2941,5 kWp em painéis fotovoltaicos e 2403 kW em inversores. Obteve-se um investimento de 2 319 732 € e um parâmetro *NPC* de -206 080 €.

6.3. Discussão de resultados

Na discussão de resultados caracterizar-se-á a melhor solução obtida pela simulação no *Homer* nas seguintes secções:

- Validação técnica da solução obtida no *Homer*;
- Energia produzida;
- Análise económico-financeira do projeto.

6.3.1. Validação técnica da solução obtida no Homer

Como se obteve na simulação do *Homer* uma potência instalação de 2 941,5 kWp em painéis e uma potência de ligação em inversores de 2403 kW, pelos mesmos motivos apontados no estudo da UPAC, a potência efetiva a considerar para os painéis será a potência superior mais próxima do valor de 2403 kW do conjunto de inversores. Uma vez escolhidos os mesmos painéis fotovoltaicos relativamente ao estudo da UPAC, o seu valor total para a Central de Produção para venda de eletricidade à rede será de 2403,02 kWp.

6.3.2. Energia produzida

Após a validação da nova solução de 2403,02 kWp em painéis fotovoltaicos e 2403 em inversores, procedeu-se à simulação da sua energia produzida, tal como efetuado no estudo da UPAC. Os dados indicados na Tabela 15 são referentes à energia produzida no primeiro ano de utilização da Central de Produção.

Tabela 15 – Energia elétrica produzida pela CP para venda à rede

Energia produzida pelos painéis fotovoltaicos	3 693 773 kWh
Energia que entra nos inversores	3 693 773 kWh
Energia que sai dos inversores	3 619 898 kWh
Energia injetada na rede	3 619 897 kWh

Pela leitura da Tabela 15, os painéis fotovoltaicos produzem uma quantidade de energia elétrica de 3 693 773 kWh, entrando e saindo nos inversores, 3 693 773 kWh e 3 619 898 kWh, e é injetada na rede uma quantidade de 3 619 897 kWh.

6.3.3. Análise económico-financeira do projeto

A análise económico-financeira do investimento na CP para venda à rede, tal como a da UPAC, foi efetuada numa folha de cálculo no *software Microsoft Excel 2013*.

Na Tabela 16 encontram-se alguns dos dados referentes ao investimento na solução de UPAC obtida no *Homer*.

Os resultados da análise económico-financeira encontram-se na Tabela 17.

Tabela 16 – Pressupostos referentes ao investimento na UPAC

Investimento total	1 932 026,40 €
Potência de instalação em painéis	2403,02 kWp
Potência de ligação em inversores	2403 kW
Tempo de vida útil do projeto	25 anos
Custos em Operação e Manutenção	19 320,26 €/ano
Tarifa de venda de eletricidade à RESP	0,04623 €/kWh
Depreciação anual dos módulos fotovoltaicos	0,70%
Taxa de atualização	2,00%

Pela leitura da Tabela 17, verifica-se que o investimento numa Central de Produção para venda à rede de 2403,02 kW em painéis e 2403 kW em inversores representa, em destaque, um investimento de 1 932 026,40 € e tarifa de venda à rede 0,04623 €/kWh. Os restantes pressupostos são os mesmos que foram considerados no estudo da UPAC. Os indicadores económicos do investimento encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17 – Indicadores económicos do investimento na CP para venda à rede

VAL	719 398,05 €
TIR	5,02%
ROI	1,37
Payback	16,29 anos

Através da análise da Tabela 17, obtém-se do investimento, um VAL de 719 398,05 €, uma TIR de 5,02%, um ROI de 1,37 e um *Payback* a ocorrer ao fim de 16,29 anos, ou seja, 16 anos e 11 meses.

A Figura 91 representa a evolução do fluxo monetário do projeto do sistema de energias renováveis.

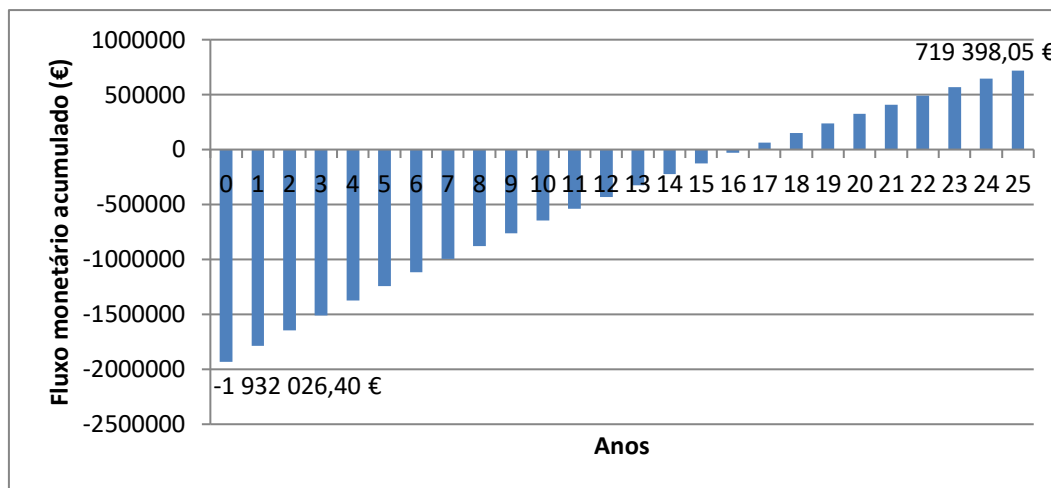


Figura 91 – Fluxo monetário acumulado ao longo do tempo de vida da CP para venda à rede

Pela análise à Figura 91, observa-se no ano “0” o investimento de 2 319 732,00 €, com valor negativo. A partir do ano “1” verifica-se o início da recuperação do capital investido, sendo que entre o ano “16” e o ano ”17”, todo o capital é recuperado, correspondendo um *Payback* após 16,29 anos após o momento em que se efetuou o investimento. Após a ocorrência do *Payback*, o projeto do sistema de energias renováveis inicia o seu lucro, até que no ano “25” que corresponde ao ano final da vida útil do projeto, se tem um Valor Atual Líquido de 719 398,05 €.

7. Conclusões

Através da realização deste trabalho, constatou-se que o recurso às energias de fontes renováveis tende a ser cada vez mais pertinente, visto os desafios, tanto a nível económico, como a nível ambiental que o recurso às energias de fonte não renovável tem vindo a causar ao Homem nas últimas décadas, como o seu encarecimento e o aumento da poluição do meio ambiente.

Relativamente ao objetivo deste trabalho, que se refere à viabilidade da implementação de um sistema de energias renováveis na RESPOL, através da simulação no *Homer* para análise técnico-económica da solução de Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC), conclui-se que a melhor solução é utilizar 810,105 kW em painéis e 810 kW em inversores, visto ser baseada na solução que apresentou o parâmetro “*Net Present Cost*” mais baixo. Através desta solução, conclui-se também que apenas é viável instalar um sistema de energias renováveis de fonte solar, pelo que *a priori*, instalar um sistema híbrido contemplando o aproveitamento da energia solar e da energia eólica, seria uma hipótese a considerar. Isto deve ao facto de a velocidade média do vento no local ser bastante baixa relativamente ao valor da velocidade nominal do vento para um aerogerador, ao ponto de não permitir que aerogeradores apresentem o desempenho desejável. Por outro lado, o sistema fotovoltaico mostrou ser viável, pois o *Homer* o considerou, não só para a melhor solução, como também para as restantes. E não esquecendo o facto de Portugal ser um país com boa exposição à radiação solar praticamente em todo o seu território, permitindo em média, cerca de 4 horas da radiação solar indicada para as condições padrão de funcionamento de um painel fotovoltaico.

Relativamente à análise ao autoconsumo da UPAC, verifica-se que, através da solução obtida no *Homer*, a RESPOL pode diminuir cerca de 21% no consumo de eletricidade à rede e poupar aproximadamente 26% nos encargos com a energia ativa, considerando a penalização tarifária em horas de Ponta.

Em relação à Central de Produção para venda à rede, a melhor solução obtida foi a instalação de 2403,02 kW em painéis e 2403 kW em inversores.

Das análises económico-financeiras das opções em estudo, conclui-se que investir numa UPAC é bastante mais vantajoso do que investir numa CP para venda à rede, visto uma UPAC apresentar um VAL de 2 213 222,40 €, uma TIR de 20,54%, um ROI de 4,39 e

um *Payback* ocorrer quase na primeira quarta parte do tempo de vida do projeto, tendo-se o investimento economicamente compensado ao fim de 5 anos e 4 meses num período de vida útil de 25 anos. No que diz respeito à CP para venda à rede apresenta indicadores económicos menos interessantes, visto apresentar um VAL de 719 398,05 €, uma TIR de 5,02 %, um ROI de 1,37 e um *Payback* ocorrer após a segunda metade do tempo de vida do projeto, tendo-se o investimento economicamente compensado apenas ao fim de 16 anos e 3 meses num período de vida útil, igualmente, de 25 anos.

Para finalizar, crê-se que através de um investimento num sistema de energias renováveis destas dimensões, como a solução de UPAC obtida na análise técnico-económica, a RESPOL, além dos benefícios internos, sendo a aposta em energias renováveis uma medida viável de melhoria na rentabilidade em termos energéticos, a mesma poderá passar para o meio exterior uma imagem positiva ou ainda mais positiva de uma empresa amiga do ambiente. Visto que a aposta em energias renováveis por parte de empresas como a RESPOL, tem vindo a ser cada vez mais encarada como oportunidade de melhoria no âmbito da eficiência energética.

7.1. Considerações finais

Este trabalho serviu de um modo substancial para a obtenção de melhores conhecimentos sobre temática da produção de energia através de fontes renováveis, nomeadamente das fontes solar e eólica, sendo que, com o avanço do projeto, a fonte solar foi de longe, a que mais foi explorada por ser a mais viável para a RESPOL.

O estágio realizado no âmbito do presente Mestrado foi crucial para o ganho de experiência no mundo do trabalho e do conhecimento da realidade do dia-a-dia de uma empresa. Pelo que ao estagiar na RESPOL, permitiu melhorar de forma clara o meu sentido de responsabilidade, as minhas capacidades de comunicação, a capacidade para encontrar soluções para eventuais obstáculos e ainda a minha autonomia.

Relativamente à realização do trabalho, foi cumprido o que era pretendido, que consistiu em se determinar a solução técnica e economicamente mais viável de um sistema de energias renováveis para a RESPOL, tendo em conta as necessidades e os interesses da empresa. A realização deste projeto, permitiu-me melhorar também os meus conhecimentos e a minha capacidade em lidar com *softwares* de simulação de produção de energia de fontes

renováveis, tendo estes um papel crucial para o dimensionamento de sistemas de energias renováveis de um modo rigoroso, cómodo e rápido.

Quanto a obstáculos encontrados durante a execução do projeto, não se verificou nenhum contratempo que colocasse em causa a concretização do mesmo. Pois ao longo do decorrer do estágio sempre dispus dos meios necessários para a contínua e ininterrupta elaboração do projeto. No entanto, verificaram-se algumas dificuldades em conhecer a dimensão da legislação em vigor relativamente à produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, pelo que o Decreto-Lei nº 153/2014 impõe o limite de 250 kW de potência de ligação na instalação de UPP, sendo a única via de venda de energia produzida através de fontes renováveis que esse diploma menciona, não fazendo qualquer referência a instalação de potências superiores a esses 250 kW, embora o faça relativamente às UPAC.

O Decreto-Lei 215-B/2012 que abrange as Centrais de Produção para venda à rede, relembrando que esta designação passa a ser a designação para “UPP” com potências de ligação superiores a 250 kW é anterior ao Decreto-Lei nº 153/2014, pelo que não existe praticamente nenhuma relação entre ambos, tendo sido nesse aspeto a maior dificuldade na execução deste trabalho.

7.2. Sugestões para trabalhos futuros

Para a instalação do sistema de energias renováveis, existem alguns aspetos a ter em conta que podem condicionar a instalação. Sugere-se nesse sentido, as seguintes ações:

- 1) Como já referido no subcapítulo 4.4, é necessário que as instalações da RESPOL disponham de um quadro que suporte a ligação do sistema de energias renováveis e deve-se ter também em conta, a distância desse quadro ao sistema de energias renováveis. Pois, grandes distâncias poderão exigir a ligação de cabos com maior área de secção, que poderá afetar a viabilidade do projeto. Neste sentido, caso se verifique essa situação, poderá ser necessário contactar uma entidade do ramo da engenharia eletrotécnica para propor uma solução alternativa para a concretização da ligação ao quadro;
- 2) Avaliar a capacidade de drenagem do solo. Da vistoria realizada ao terreno em que se prevê instalar o sistema de energias renováveis, verificou-se em algumas zonas, a retenção de uma quantidade significativa de água proveniente da

precipitação, pelo que poderá ser necessária uma intervenção no terreno para melhorar a sua capacidade de drenagem.

- 3) A RESPOL poderá tentar renegociar melhores tarifas no contrato de compra de eletricidade à rede após a instalação do sistema fotovoltaico;
- 4) Instalar câmaras de vigilância no terreno destinado ao sistema fotovoltaico, visto não existir nenhuma vedação que impeça o fácil acesso de terceiros ao local.

Bibliografia

- [1] J. Twidell e T. Weir, em *Renewable Energy Resources - Second Edition*, London and New York, Taylor & Francis, p. 94.
- [2] REN, “Centrais Termoeléctricas,” 4 maio 2017. [Online]. Available: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/Paginas/CentraisTermoelectricas.aspx>.
- [3] PORDATA, “Produção de energia eléctrica: total e a partir de fontes renováveis - Portugal,” 4 maio 2017. [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Portugal/Produ%C3%A7%C3%A3o+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+a+partir+de+fontes+renov%C3%A1veis-1127>.
- [4] RESPOL Resinas, SA, “RESPOL Resinas, SA,” [Online]. Available: <http://www.respol.pt/pt/produtos/>. [Acedido em 26 maio 2017].
- [5] J. Afonso, RESPOL Resinas, SA, 2007.
- [6] R. F. Mota, Interviewee, [Entrevista].
- [7] M. C. Barbeiro, Interviewee, [Entrevista].
- [8] RESPOL Resinas, SA, *MEMÓRIA DESCRITIVA CONTENDO UMA DESCRIÇÃO DETALHADA DA ATIVIDADE*.
- [9] Pedamb-Engenharia Ambiental Lda, “SISTEMA DE GESTÃO DOS CONSUMOS INTENSIVOS DE ENERGIA - AUDITORIA ENERGÉTICA,” Marinha Grande, 2016.
- [10] Entidade Reguladora Dos Serviços Energéticos, “Períodos horários,” [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CicloSemanalTodosFornecPtCont.aspx>. [Acedido em 25 maio 2017].
- [11] “Área Reservada EDP Distribuição,” 16 fevereiro 2017. [Online]. Available: <https://online.edpdistribuicao.pt/pt/Pages/Home.aspx>.
- [12] MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO, *Decreto-Lei n.º 71/2008*, 2008.

- [13] J. Sousa, *Apontamentos teóricos de Gestão da Energia*, 2015.
- [14] J. Sousa, *Apontamentos teóricos de Gestão da Energia*, 2015.
- [15] Ministério da Economia e do Emprego, *Decreto-Lei n.º 215-B/2012*, 2012.
- [16] Ministério da Economia e da Inovação, *Decreto-Lei n.º 29/2006*, 2006.
- [17] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, *Decreto-Lei n.º 153/2014*, 2014.
- [18] J. Lopes, Interviewee, *Eternal Energy Solutions*. [Entrevista].
- [19] Departamento de Engenharia Mecânica, “Manual e Guia Técnico de Energia Solar Fotovoltaica – Tecnologias, Projecto e Instalação,” Instituto Superior Técnico, 16 março 2017. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>.
- [20] P. Marques, *Apontamentos teóricos de Energia Renováveis*, 2011.
- [21] K. Kant, A. Shukla e P. H. Biwole, “Thermal response of poly-crystalline silicon photovoltaic panels: Numerical simulation and experimental study,” *Solar Energy*, pp. 147-155, 2016.
- [22] ABB, Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants.
- [23] N. Gameiro, *Apontamentos teóricos de Eletrotecnia Geral*, Engenharia da Energia e do Ambiente.
- [24] P. Marques, *Apontamentos teóricos de Tecnologias de Energias Renováveis*, 2016.
- [25] VESTAS, “Vestas V47/660,” 8 maio 2017. [Online]. Available: http://www.thewindpower.net/turbine_en_176_vestas_v47-660.php.
- [26] FRONIUS, “FRONIUS INTERNATIONAL,” [Online]. Available: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-49D03F5E-8610705C/fronius_international/hs.xml/83_35152_ENG_HTML.htm#.WSfdCmjyVIU. [Acedido em 26 maio 2017].

- [27] TESLA, “Energia Tesla,” [Online]. Available: https://www.tesla.com/pt_PT/presskit/teslaenergy?redirect=no. [Acedido em 2017 maio 24].
- [28] TESLA, “Powerball,” [Online]. Available: https://www.tesla.com/pt_PT/powerwall. [Acedido em 2017 maio 24].
- [29] “Atmospheric Science Data Center,” 2016. [Online]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETSscreen/>.
- [30] “Dados de Base - Monitorização,” 14 março 2017. [Online]. Available: <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>.
- [31] P. Alves, Interviewee, *RESPOL Resinas, SA*. [Entrevista].
- [32] J. Afonso, Interviewee, *RESPOL Resinas, SA*. [Entrevista].
- [33] L. J. Ramos, *PROJECTO DE ELECTRICIDADE*, 2013.
- [34] L. Lopes, Interviewee, *TemplarLUZ*. [Entrevista].
- [35] Homer Energy, LLC, “Homer Legacy v.2.68”.
- [36] R. M. Castro, *Energias Renováveis e Produção Descentralizada - INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA*, INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, 2005.
- [37] OMIE, “RESULTADOS DEL MERCADO,” 21 abril 2017. [Online]. Available: <http://www.omie.es/inicio>.
- [38] Fronius, “TECHNICAL DATA FRONIUS ECO,” 16 maio 2017. [Online]. Available: http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-BFBFE18D-AA1B78A6/fronius_uk/SE_DOC_DBL_Fronius_ECO_EN_413286_snapshot.pdf.
- [39] Homer Power, “PV System Derating,” 2017 maio 13. [Online]. Available: <https://www.homepower.com/pv-system-derating>.
- [40] Jinko Solar, “SPECIFICATIONS,” 16 maio 2017. [Online]. Available: <http://www.jinkosolar.com/ftp/EN-MKT-265P-60.pdf>.

[41] A. Suspiro, “ELETRICIDADE,” 17 maio 2016. [Online]. Available: <http://observador.pt/2016/10/14/eletricidade-sobe-12-em-2016-e-o-aumento-mais-baixo-em-dez-anos/>.

Anexos

1. Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Tendo-se já obtida a melhor solução, este anexo indica o dimensionamento do projeto de energias renováveis, tendo como objetivo a realização de uma proposta de como o sistema de energias renováveis se encontrará instalado na RESPOL. Neste sentido, o dimensionamento deste projeto contempla:

- 1) Dimensionar as *strings*;
- 2) Dimensionar os cabos AC;
- 3) Dimensionar o local de instalação do sistema fotovoltaico:

1.1. Dimensionamento das strings

Designam-se por *strings*, os cabos DC que estabelecem um circuito elétrico, tendo como origem um inversor e passando pelos painéis fotovoltaicos em série. O circuito termina, novamente, no mesmo inversor.

O dimensionamento das *strings* consiste em estabelecer o esquema de ligação entre os painéis fotovoltaicos e os inversores. Para o efeito, recorreu-se à ferramenta *Sunny Design Web* do fabricante de inversores SMA.

O procedimento iniciou-se pela seleção dos modelos dos painéis fotovoltaicos a usar e definiu-se a potência de pico em painéis obtida no capítulo anterior. Com essa informação, o simulador do *Sunny Design Web* calculou o número de painéis fotovoltaicos necessários, que se pode observar na Figura 92.

▼ Geradores fotovoltaicos			
Nome	Fabricante / módulo fotovoltaico / electrónica de módulos		Número de módulos fotovoltaicos/potência de pico
1 Gerador fotovoltaico 2	JinkoSolar Holding Co. Ltd. JKM-265P-60 (01/2014)	 	3057 módulos fotovoltaicos 810,11 kWp

Figura 92 – Cálculo do número de painéis fotovoltaicos para a UPAC

Pela análise da Figura 92, foi selecionado o modelo *Jinko JKM265P-60* para os painéis fotovoltaicos e definiu-se 810,105 kWp para a sua potência de pico. Com esses dados, o simulador calculou o número de painéis a instalar, sendo 3057 painéis.

Tendo já as informações sobre o modelo e quantidade de painéis a usar e sobre a potência de pico, foi efetuado no simulador *SMA Sunny Design Web* o dimensionamento manual para determinar o número de inversores a utilizar no projeto, bem como o arranjo das *strings* dos painéis a ligar aos mesmos inversores.

Uma vez que foi escolhido o modelo de inversor *Fronius ECO 27.0-3-S* para o sistema de energias renováveis, nesta ferramenta selecionou-se o modelo equivalente da SMA, sendo o inversor *SMA STP 25000TL-30*. No entanto, este inversor possui 25 kW, ao passo que o *Fronius ECO 27.0-3-S* possui 27 kW.

Selecionar inversor Incluir inversor

Inversor desejado. Do lado esquerdo, é possível restringir a lista de inversores através da especificação de critérios de filtro, o inversor selecionado é automaticamente configurado.

Inversor	▲ Potência CA máx.	◆ Ligação CA	◆ Rendimento máx.
STP 10000TL-20	10,00 kW	trifásica	97,8 %
STP 12000TL-20	12,00 kW	trifásica	98,3 %
STP 15000TL-10	15,00 kW	trifásica	98,2 %
STP 15000TL-30	15,00 kW	trifásica	98,4 %
STP 20000TL-30	20,00 kW	trifásica	98,5 %
STP 25000TL-30	25,00 kW	trifásica	98,2 %
STP 5000TL-20	5,00 kW	trifásica	98 %
STP 60-10	60,00 kW	trifásica	98,6 %
STP 6000TL-20	6,00 kW	trifásica	98 %
STP 7000TL-20	7,00 kW	trifásica	98 %
STP 8000TL-20	8,00 kW	trifásica	98 %
STP 9000TL-20	9,00 kW	trifásica	98 %

Figura 93 – Seleção do inversor

No total, são necessários 30 inversores *Fronius ECO 27.0-3-S* para perfazer uma potência de ligação de 810 kW, e o número de painéis a utilizar no sistema é igual a 3057, sendo um número ímpar, para o arranjo das *strings*, considerou-se 2 sistemas parciais, sendo um constituído por 29 inversores e o outro pelo restante inversor dos 30 totais. Este procedimento, que pode ser observado na Figura 94 e na Figura 95, implica em efetuar o arranjo das *strings* nos sistemas parciais considerados.

Cancelar alterações Aceitar as alterações

Configurar strings

Aqui pode-se configurar, para cada entrada CC do inversor, o gerador fotovoltaico ligado, com o número e comprimento das strings. Por baixo dos campos de introdução são exibidos os valores possíveis.

Razão de potência nominal: 95 % Potência de pico: 783,87 kWp
 135 % Número de módulos FV: 2958

Entrada	Gerador fotovoltaico	Strings	Módulos FV	Total
A	Gerador fotovoltaico 2	3 (1...3)	20 (6...24)	60
+ Ligar outro gerador fotovoltaico à entrada (múltiplas strings) ⓘ				
B	Gerador fotovoltaico 2	2 (1...3)	21 (6...24)	42
+ Ligar outro gerador fotovoltaico à entrada (múltiplas strings) ⓘ				

Figura 94 – Arranjo das strings no sistema parcial 1

Cancelar alterações Aceitar as alterações

Configurar strings

Aqui pode-se configurar, para cada entrada CC do inversor, o gerador fotovoltaico ligado, com o número e comprimento das strings. Por baixo dos campos de introdução são exibidos os valores possíveis.

Razão de potência nominal: 96 % Potência de pico: 26,50 kWp
 135 % Número de módulos FV: 100

Entrada	Gerador fotovoltaico	Strings	Módulos FV	Total
A	Gerador fotovoltaico 2	3 (1...3)	20 (6...24)	60
+ Ligar outro gerador fotovoltaico à entrada (múltiplas strings) ⓘ				
B	Gerador fotovoltaico 2	2 (1...3)	20 (6...24)	40
+ Ligar outro gerador fotovoltaico à entrada (múltiplas strings) ⓘ				

Figura 95 – Arranjo das strings no sistema parcial 2

Pela observação das duas figuras acima, à semelhança do inversor *Fronius ECO 27.0-3-S*, cada inversor *SMA STP 25000TL-30* possui duas entradas de corrente contínua, sendo uma designada de “A” e a outra de “B”. Cada uma das entradas suporta a ligação máxima de 3 *strings*, pelo que em cada *string* se poderá ligar entre 6 e 24 painéis fotovoltaicos em série.

No sistema parcial 1, os 29 inversores apresentam uma combinação de *strings* de [A: 3 x 20 e B: 2 x 21]. No sistema parcial 2, o restante inversor apresenta uma combinação de [A: 3 x 20 e B: 2 x 20].

Pode-se ainda constatar que o número de painéis para esta combinação de *strings* é de 3058, pelo que excede o número estabelecido de 3057, em 1 unidade. Neste caso, ajusta-se o arranjo das *strings* da ligação B do sistema parcial 2 para [B: 1 x 20 e 1 x 19].

Os resultados deste procedimento estão representados na Figura 96.

▼ Inversores		
Tipo		1. Gerador fotovoltaico 2 3058 / 3057
 29 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1		A: 3 x 20 B: 2 x 21
▶ Detalhes	Potência de pico: 783,87 kWp	
 1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 2		A: 3 x 20 B: 2 x 20
▶ Detalhes	Potência de pico: 26,50 kWp	

Figura 96 – Resultados do arranjo das strings em inversores

Pela Figura 96, observam-se os resultados do dimensionamento de 30 inversores SMA STP 25000TL-30, divididos nos 2 sistemas parciais estabelecidos.

1.2. Dimensionamento dos cabos

Posteriormente procedeu-se ao dimensionamento dos cabos DC e AC que respetivamente estabelecem as ligações dos painéis com os inversores e dos inversores com o Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT.).

Foi necessário efetuar ajustes nas áreas das secções e no comprimento dos mesmos, visto que o simulador considerou os diâmetros das secções dos cabos AC e DC demasiado pequenos, pois deste modo, a queda de tensão entre os inversores e o QGBT torna-se demasiado elevada, sendo suscetível de colocar problemas ao funcionamento do sistema fotovoltaico. Com base nesse aspeto, foi necessário ajustar as secções dos cabos em relação ao seu comprimento. As alterações efetuadas aos cabos constam na Figura 97 e na Figura 98.







		 Cabos de CC	 Cabos LV1	 Cabos LV2	 Cabo LV3	 Cabo de méd
		Material do cabo	Comprimento simples	Secção		
▼ RESPOL						
▼ Projecto parcial 1						
 29 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1	A	Cobre	10,00 m	1,5 mm ²		
	B	Cobre	10,00 m	1,5 mm ²		
 1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 2	A	Cobre	10,00 m	1,5 mm ²		
	B	Cobre	10,00 m	1,5 mm ²		

Figura 97 – Alterações aos cabos DC

Pela Figura 97, atribuiu-se uma secção de 1,5 mm² para cabos de cobre com 10 metros de comprimento.

Material do cabo		Comprimento simples	Secção
RESPOL			
Projecto parcial 1			
29 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1	Alumínio	500,00 m	240 mm ²
1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 2	Alumínio	500,00 m	240 mm ²

Figura 98 – Alterações aos cabos AC

Pela Figura 98, atribuiu-se um comprimento de 500 metros para os cabos com material de alumínio e uma área de secção de 240 mm², devido à distância prevista entre os inversores e o QGBT. ser cerca de 230 metros. A representação esquemática deste procedimento encontra-se na Figura 99.

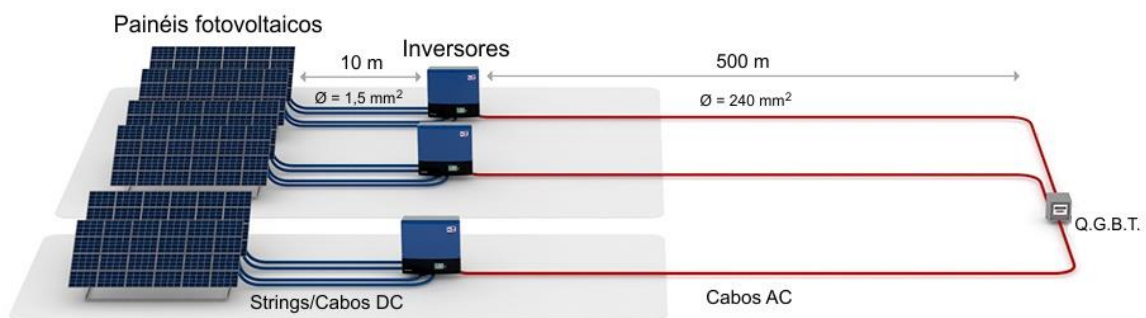


Figura 99 – Esquema de ligação simplificado das strings e dos cabos AC

Através da Figura 99, observa-se o esquema simplificado das ligações dos painéis fotovoltaicos aos inversores e dos inversores ao Quadro Geral de Baixa Tensão, apresentando as respetivas distâncias.

1.3. Dimensionamento da instalação do sistema fotovoltaico

Neste subcapítulo, pretende-se definir a estrutura de fixação dos painéis fotovoltaicos e a sua disposição espacial no terreno. Para esse efeito, recorreu-se a testes no *software SketchUp PRO 2016*, para aferir qual o tipo de estrutura de fixação de painéis fotovoltaico requereria uma menor área de instalação.

Após este procedimento, concluiu-se que o sistema de fixação que permite economizar mais espaço no local é o sistema fixo em triângulo duplo, cuja representação se pode observar na Figura 100. Relembrando também o ângulo de inclinação de 30° já definido anteriormente.



Figura 100 – Estrutura de fixação de triângulo duplo

Relativamente à disposição espacial dos painéis fotovoltaicos, sabendo que existe um total de 3057 módulos a instalar, os mesmos serão dispostos numa matriz com 2 colunas espaçadas por 5 metros. A coluna do lado esquerdo possui 16 linhas espaçadas entre si em 3,79 metros. A primeira linha possui 57 painéis e as restantes possuem 100 painéis, nas mesmas condições que as linhas do lado esquerdo. A coluna do lado direito possui 15 linhas, igualmente espaçadas entre em 3,79 metros, tendo 100 painéis cada uma. No total o sistema fotovoltaico ocupa uma área de 11 794,78 m² (valor estimado pelo *software SketchUp PRO 2016*).

Encontram-se nas páginas 111 e 112, respetivamente propostas de esquemas simplificadas do desenho CAD do esquema elétrico da e do *layout* em 3D da UPAC, realizados com os respetivos softwares *AutoCAD 2017* e *SketchUp Pro 2016*.

1.4. Desenho CAD do esquema elétrico da UPAC

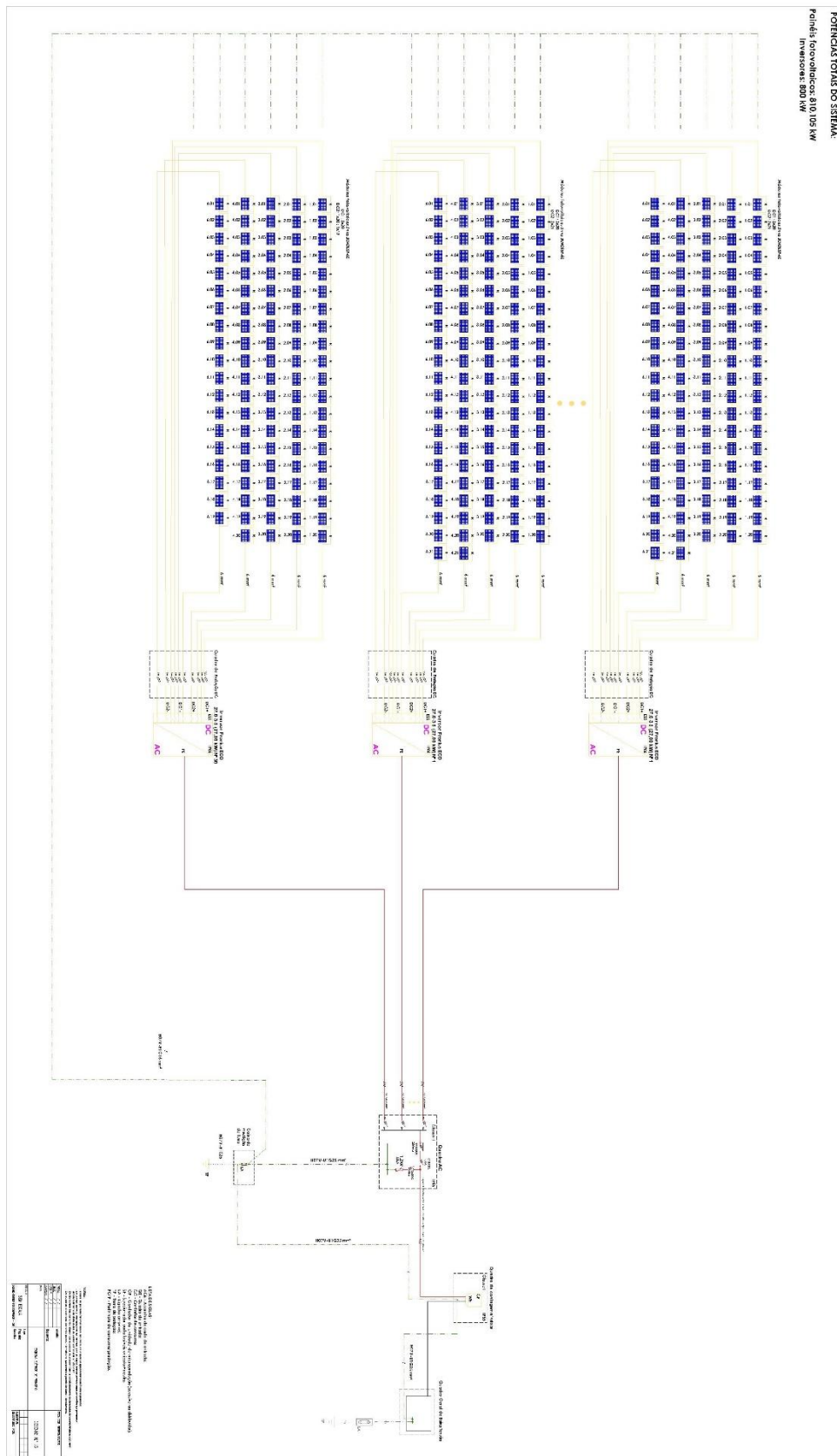


Figura 101 – Desenho CAD do esquema elétrico da UPAC

1.5. Layout 3D do projeto

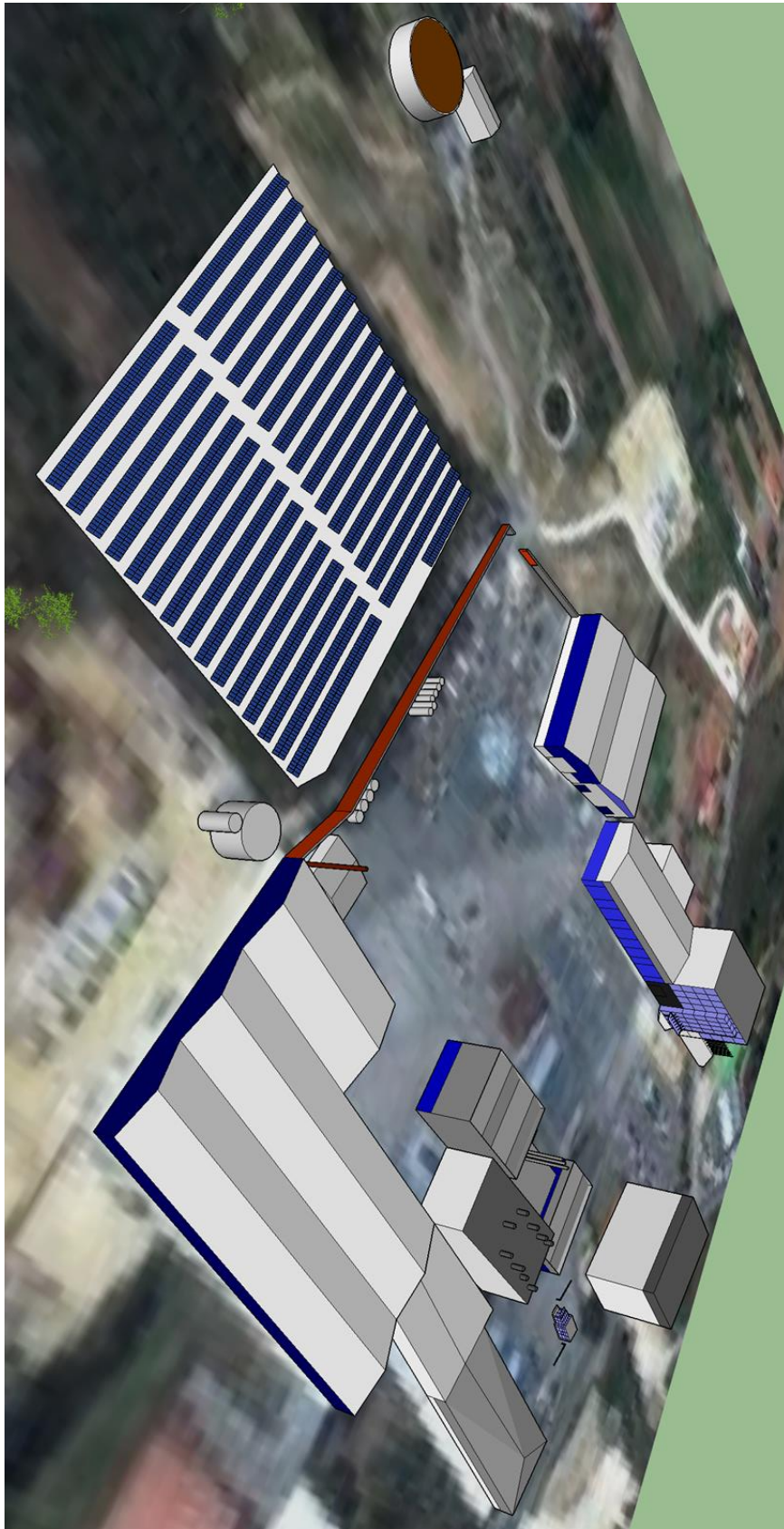


Figura 102 – Layout 3D do projeto da UPAC

2. CADERNO DE ENCARGOS

Cláusula 1

Objeto

O presente caderno de encargos abrange as cláusulas a incluir no procedimento pré-contratual que tem por visa a aquisição e instalação de um sistema solar fotovoltaico na empresa RESPOL Resinas, SA de acordo com as características técnicas definidas nas *Especificações técnicas* do presente caderno de encargos.

Cláusula 2

Obrigações principais do adjudicatário

1. Incorrem ao adjudicatário, em conformidade com a inteira submissão aos princípios da ética profissional, isenção, independência, zelo e competência, as seguintes obrigações principais:
 - a) Entrega e instalação dos bens ou equipamentos apresentados na sua proposta;
 - b) Assegurar a garantia dos equipamentos;
 - c) Garantir a continuidade de fabrico dos equipamentos;
 - d) Prestar e cumprir as condições fixadas para o fornecimento, nomeadamente:
 - i. Assumir a responsabilidade por eventuais danos causados nos equipamentos e a outros bens existentes nas instalações da RESPOL Resinas, SA, assim como quaisquer outros resultantes das atividades afetas ao fornecimento;
 - ii. Prestar à RESPOL Resinas, SA, em qualquer momento, durante a pendência do fornecimento, todas as informações e esclarecimentos referentes ao mesmo, prestados no âmbito do contrato a celebrar, em conformidade com as cláusulas do presente caderno de encargos;
 - iii. Ceder à RESPOL Resinas, SA, após a conclusão do fornecimento e instalação, os seguintes documentos:
 - Especificações técnicas do equipamento com desenho;
 - Dimensões materiais e acabamentos;
 - Guia do utilizador.
 - iv. Responsabilização pelos atos praticados por todos os colaboradores, que no âmbito do contrato a celebrar, exerçam funções por sua conta, designando-se para esse efeito como órgãos ou agentes do adjudicatário.

2. O adjudicatário estará ainda obrigado, a recorrer a todos os meios humanos, materiais e informáticos, que sejam necessários e adequados ao bom funcionamento dos equipamentos, assim como ao estabelecimento do sistema de organização necessário à plena realização das tarefas a si imputadas.

Cláusula 3

Conformidade e operacionalidade dos equipamentos

1. O adjudicatário está obrigado a entregar e instalar nas instalações da RESPOL Resinas, SA os equipamentos referidos no contrato com as características, especificações e requisitos técnicos mencionados nas *Especificações técnicas* do presente caderno de encargos, bem como da sua proposta.
2. Os equipamentos objeto do contrato devem ser entregues e instalados em perfeitas condições da sua utilização para os fins a que se destinam e providos de todo o material de apoio necessário ao seu funcionamento.
3. Perante a RESPOL Resinas, SA, o adjudicatário é responsável, por qualquer defeito ou desconformidade dos equipamentos objeto do contrato que se verifique no momento em que os equipamentos lhe são entregues.

Cláusula 4

Inspeção e testes

1. Concluídas as operações de entrega e instalação dos equipamentos objeto do contrato, a RESPOL Resinas, SA, por si ou através de terceiros, procede à inspeção quantitativa e qualitativa dos mesmos, com vista a verificar se os mesmos reúnem as características, especificações e requisitos técnicos e operacionais indicados nas *Especificações técnicas* do presente caderno de encargos e na proposta adjudicada, bem como outros requisitos exigidos por lei.
2. Durante o período de realização de testes, o adjudicatário deve prestar à RESPOL Resinas, SA, toda a cooperação e todos os esclarecimentos necessários, podendo fazer-se representar através de pessoal devidamente credenciado para o efeito.
3. Os encargos com a realização dos testes são da responsabilidade do adjudicatário.

Cláusula 5

Inoperacionalidade, defeitos ou desconformidades

1. No caso de os testes previstos na cláusula anterior não comprovarem a inteira operacionalidade dos equipamentos objeto do contrato, assim como a sua desconformidade com os requisitos legais, ou no caso de existirem defeitos ou discordâncias com as características, especificações e requisitos técnicos definidos nas Especificações técnicas do presente caderno de encargos, a RESPOL Resinas, SA, deverá informar, por escrito, o adjudicatário.
2. No caso previsto no número anterior, o adjudicatário deve proceder, à sua custa e dentro do prazo que a RESPOL Resinas, SA considerar razoável, às reparações ou substituições necessárias para se garantir a operacionalidade dos equipamentos e o cumprimento das exigências legais e das características, especificações e requisitos técnicos exigidos.
3. Após a realização das operações de reparação e/ou substituição necessárias pelo adjudicatário, dentro do respetivo prazo, a RESPOL Resinas, SA deverá proceder à realização de novos testes de aceitação, de acordo com os termos da cláusula anterior.

Cláusula 6

Aceitação dos equipamentos

4. Caso os testes referidos na cláusula 4 do presente caderno de encargos comprovem a inteira operacionalidade dos equipamentos objeto do contrato, bem como a sua conformidade com as exigências legais, e que neles não sejam detetados quaisquer defeitos ou discordâncias com as características, especificações e requisitos técnicos definidos nas *Especificações técnicas*, deverá ser emitido, um auto de receção, assinado pelos representantes do adjudicatário e da RESPOL Resinas, SA.
5. Através da assinatura do auto referido no número anterior, sucede-se a transferência da posse e da propriedade dos equipamentos objeto do contrato para a RESPOL Resinas, SA, sem prejuízo das obrigações de garantia que competem ao adjudicatário.

Cláusula 7

Garantia técnica

1. Nos termos da presente cláusula e da lei que subordina a contratação pública, o adjudicatário garante a aceitação dos equipamentos objeto do contrato, pelo prazo indicado na sua proposta, no mínimo de 2 (dois) anos a contar da data da assinatura do auto de receção, contra quaisquer defeitos ou discrepâncias com as exigências legais e

com as características, especificações e requisitos técnicos definidos nas *Especificações técnicas* do presente caderno de encargos.

2. A garantia prevista no número anterior compreende:
 - a) O fornecimento, a montagem ou a integração de quaisquer peças ou componentes em falta;
 - b) A desmontagem de peças, componentes ou equipamentos defeituosos ou desconformes;
 - c) A reparação ou a substituição das peças, componentes ou equipamentos defeituosos ou desconformes;
 - d) O fornecimento, a montagem ou instalação das peças, componentes ou equipamentos reparados ou substituídos;
 - e) O transporte dos equipamentos ou das peças ou componentes defeituosos ou desconformes para o local da sua reparação ou substituição e a devolução dos mesmos ou a entrega das peças ou componentes em falta, reparados ou substituídos;
 - f) A deslocação ao local da instalação ou de entrega;
 - g) A mão-de-obra.
 - h) A intervenção no dia útil subsequente à comunicação da ocorrência e nas instalações da RESPOL Resinas, SA.
3. A reparação ou substituição previstas na presente cláusula devem ser realizadas dentro de um prazo máximo de 10 (dez) dias.
4. No caso de ser excedido o prazo estabelecido no ponto anterior, o adjudicatário estará obrigado a ceder equipamento(s) de substituição de características idênticas ao(s) avariado(s) ou defeituoso(s).

Cláusula 8

Garantia de continuidade de fabrico

O adjudicatário deve assegurar a disponibilização de qualquer peça que permita a substituição/reparação dos equipamentos por parte dos pelo período mínimo de 5 (cinco) anos.

Cláusula 9

Objeto do dever de sigilo

1. O adjudicatário deve manter a confidencialidade de toda a informação e documentação, técnica e não técnica, comercial ou outra, relativa à RESPOL Resinas, SA, de que possa ter conhecimento através da com a execução do contrato.
2. A informação e a documentação cobertas pelo dever de sigilo, além de não deverem ser transmitidas a terceiros, não devem também ser objeto de qualquer uso ou modo de aproveitamento que não o designado direta e exclusivamente à execução do contrato.
3. Exclui-se do dever de sigilo, toda a informação e documentação que for comprovadamente de domínio público à data da respetiva obtenção por parte do adjudicatário, ou que este seja legalmente obrigado a revelar, por força da lei, de processo judicial ou a pedido de autoridades reguladoras ou outras entidades administrativas competentes.

Cláusula 10

Prazo do dever de sigilo

O dever de sigilo deverá manter-se em vigor até ao término do prazo de 5 (cinco) anos a contar do cumprimento ou fecho do contrato, sem prejuízo de sujeição a quaisquer deveres legais relativos, nomeadamente, à proteção de segredos comerciais ou da credibilidade, do prestígio ou da confiança devidos ao pessoal coletivo.

Cláusula 11

Preço contratual

1. Pela aquisição dos bens objeto do contrato, assim como pelo cumprimento das restantes obrigações definidas no presente caderno de encargos, a RESPOL Resinas, SA deverá pagar ao adjudicatário uma verba de 651 315,60 €, tal como é indicado na proposta adjudicada, acrescido de IVA, estipulado pela taxa legal em vigor.
2. A verba referida no número anterior inclui todos os custos, encargos e despesas cuja responsabilidade não esteja expressamente atribuída à RESPOL Resinas, SA, designadamente os referentes ao transporte dos bens objeto do contrato para o respetivo local de entrega, seguros, fretes, taxas alfandegárias, instalação, montagem, demonstração das especificações técnicas, ensaio de todos os equipamentos fornecidos e manutenção de meios materiais, bem como quaisquer encargos resultantes do uso de marcas registadas, patentes ou licenças.

Cláusula 12

Condições de pagamento

1. A quantia da verba a dever por parte da RESPOL Resinas, SA nos termos da cláusula anterior, deverá ser paga no prazo máximo de 60 (sessenta) dias após a apresentação e validação do respetivo documento de quitação, sob pena de sanções legais consideradas pertinentes.
2. Para os efeitos do número anterior, a obrigação considera-se vencida aquando a concretização da assinatura do respetivo auto de receção.
3. Em caso de discordância por parte da RESPOL Resinas, SA, relativamente aos valores indicados na fatura, deve ser comunicado ao adjudicatário, por escrito, os respetivos fundamentos, sujeitando assim o adjudicatário a prestar todos os esclarecimentos necessários ou proceder à emissão de uma nova fatura.
4. Desde que devidamente emitida e comprovado o disposto no n.º 1 da presente cláusula, a fatura deverá ser paga através de emissão de cheque ou transferência bancária.

Cláusula 13

Penalidades contratuais

1. A RESPOL Resinas, SA pode exigir ao adjudicatário o pagamento de uma pena pecuniária, em caso de incumprimento das datas e prazos de entrega dos bens objeto do contrato.
2. Para o valor da pena pecuniária prevista no número anterior são deduzidas as importâncias pagas pelo adjudicatário ao abrigo do referido no n.º 1, relativamente aos bens objeto do contrato cujo atraso na entrega tenha determinado a respetiva resolução.
3. Na averiguação da gravidade do incumprimento, a RESPOL Resinas, SA tem em consideração a duração da infração, bem como a sua eventual reincidência, o grau de falha do adjudicatário e as consequências do seu incumprimento.
4. A RESPOL Resinas, SA pode compensar os pagamentos devidos ao abrigo do contrato com as devidas penas pecuniárias nos termos referidos da presente cláusula.
5. As penas pecuniárias previstas na presente cláusula não invalidam que a RESPOL Resinas, SA exija uma indemnização por danos excedentes.

Cláusula 14

Força maior

1. Não devem ser impostas penalidades ao adjudicatário, pelo que não é considerado incumprimento, a não realização pontual das prestações previstas no contrato a cargo de qualquer das partes que resulte de um caso de força maior, entendendo-se como tal, todas as circunstâncias que impossibilitem a respetiva realização, alheias à vontade da parte afetada, em que esta não pudesse ter conhecimento ou prever à data da celebração do contrato e cujos efeitos não lhe seja exigível contornar ou evitar.
2. Pode constituir força maior, sempre que se verificarem circunstâncias como, tremores de terra, inundações, incêndios, epidemias, sabotagens, greves, embargos ou bloqueios internacionais, atos de guerra ou terrorismo, motins e determinações governamentais ou administrativas injuntivas.
3. Não constituem força maior, nomeadamente:
 - a) Situações que não constituam força maior para os subcontratados do adjudicatário, na parte em que intervêm no projeto;
 - b) Greves ou conflitos laborais afetos às sociedades do adjudicatário ou a grupos de sociedades em que este se inclua, assim como a sociedades ou grupos de sociedades dos seus subcontratados;
 - c) Determinações governamentais, administrativas, ou judiciais de carácter sancionatório ou de outro modo resultantes do incumprimento pelo adjudicatário de deveres que sobre este incidam;
 - d) Manifestações populares devidas ao incumprimento de normas legais por parte do adjudicatário;
 - e) Acidentes, como incêndios ou inundações, com origem nas instalações do adjudicatário cuja causa se deva a culpa ou negligência sua ou devido a incumprimento de normas de segurança;
 - f) Avarias ou quaisquer outras falhas nos sistemas informáticos ou mecânicos do adjudicatário não originadas por sabotagem;
 - g) Eventos que estejam ou devam estar cobertos por seguros.
4. Aquando da ocorrência de circunstâncias que possam justificar casos de força maior, esta deve ser imediatamente comunicada à RESPOL Resinas, SA.

5. A força maior determina assim, a prorrogação dos prazos de cumprimento das obrigações contratuais afetadas pelo período de tempo que comprovadamente corresponda ao seu impedimento resultante da força maior.

Cláusula 15

Resolução por parte da RESPOL Resinas, SA

1. A RESPOL Resinas, SA reserva o direito de resolver o contrato, a título sancionatório, no caso de o adjudicatário violar de forma grave ou reincidente qualquer das obrigações que lhe competem, nomeadamente nos seguintes casos:
 - a) Atraso, total ou parcial, na entrega dos bens objeto do contrato por prazo superior a 30 (trinta) dias ou declaração escrita, por parte do adjudicatário, de que o atraso de determinada entrega excederá esse prazo;
 - b) Incumprimento dos termos e prazos de prestação de garantia técnica descritos no n.º 3 da cláusula 7 do presente caderno de encargos, caso seja superior a 20 (vinte) dias;
 - c) Atraso na entrega da documentação prevista no contrato celebrado ou solicitada pela RESPOL Resinas, SA, relacionada direta ou indiretamente com o objeto do contrato, caso seja superior a 15 (quinze) dias;
 - d) Os testes de aceitação previstos nos termos da cláusula 4 não forem realizados com os resultados estabelecidos, por razões atribuíveis ao adjudicatário;
 - e) Prestação de falsas declarações por parte do adjudicatário.
2. O direito de resolução referido no número anterior rege-se através do envio de declaração ao adjudicatário.

Cláusula 16

Resolução por parte do adjudicatário

1. O adjudicatário pode resolver o contrato, quando qualquer verba que lhe seja devida esteja em dívida há mais de 6 (seis) meses;
2. O direito de resolução é exercido através de recurso a arbitragem, indicado nos termos da cláusula 17 do presente caderno de encargos.
3. Nos casos previstos no n.º 1, o direito de resolução pode ser exercido mediante declaração enviada à RESPOL Resinas, SA, que produz efeito 30 (trinta) dias após a receção dessa declaração, exceto se este último cumprir as obrigações em atraso nesse prazo, acrescidas dos juros de mora a que tiver lugar.

Cláusula 17

Arbitragem

1. Quaisquer litígios relacionados com a interpretação, execução, incumprimento, invalidade ou resolução do contrato devem ser dissolvidos por tribunal arbitral, devendo nesse caso, ser consideradas as seguintes regras:
 - a) A arbitragem será realizada de acordo com as regras processuais propostas pelos árbitros;
 - b) A RESPOL Resinas, SA elege um árbitro, o adjudicatário elege um outro e o terceiro, que preside, é designado pelos dois árbitros previamente eleitos;
 - c) No caso de alguma das partes não eleger um árbitro ou no caso de os árbitros designados pelas partes não acordarem na escolha do árbitro – presidente, deverá este ser indicado pelo Presidente do Tribunal Central Administrativo territorialmente competente.
2. O tribunal arbitral decide segundo o direito constituído e a sua decisão não é passível de recurso.

Especificações técnicas

Introdução

Esta memória descritiva tem como objetivo descrever a Unidade de Produção para Autoconsumo a instalar na empresa RESPOL Resinas, SA.

A instalação deste sistema será realizada com base nos termos previstos no Decreto-Lei nº 153/2014.

Toda a energia elétrica produzida tem como destino a injeção no Quadro Geral de Baixa Tensão da empresa, salvo em situações de excesso de produção, relativamente às necessidades da empresa, visto que nessas circunstâncias, o excedente de energia elétrica produzida será injetada na Rede Elétrica do Serviço Público, sujeita a remuneração.

Localização

A Unidade de Produção para Autoconsumo para a RESPOL Resinas, SA será instalada num terreno pertencente às instalações da mesma, entre o Armazém de Produto Acabado e a Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais.

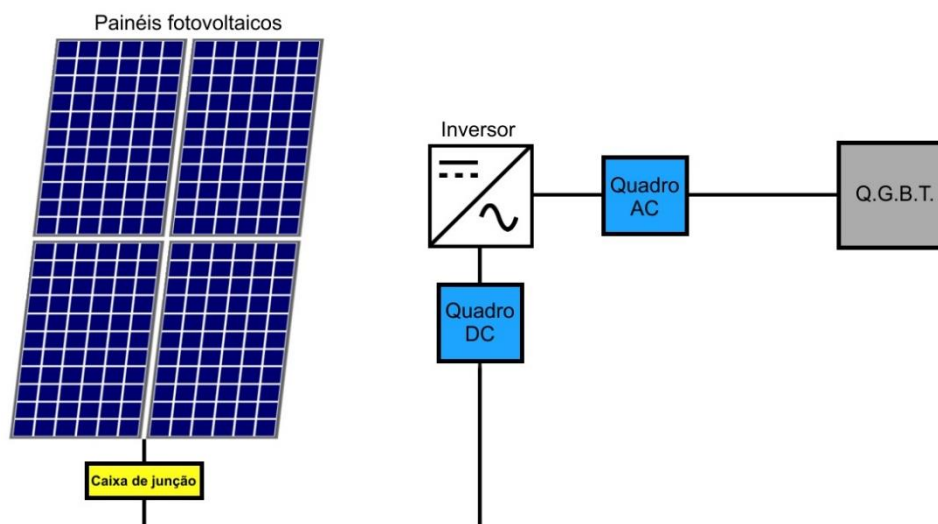
A previsão do ponto de injeção deste sistema é no Quadro Geral de Baixa Tensão, junto ao Armazém de Matérias-Primas.

Constituição da Unidade de Produção para Autoconsumo

A Unidade de Produção para Autoconsumo possui os seguintes elementos principais:

- Painéis fotovoltaicos;
- Inversores;
- Equipamentos complementares:
 - Quadros elétricos *DC*;
 - Quadros elétricos *AC*;
 - Equipamentos de seccionamento e corte;
 - Cablagem da interligação entre os diversos equipamentos constituintes do sistema e respetiva proteção mecânica;
 - Outros.

Na figura abaixo, consta o esquema de ligação do sistema, apresentando alguns dos componentes mencionados.



Características dos equipamentos

Painéis fotovoltaicos:

Fabricante	Jinko
Modelo	JKM265P-60
Potência-pico	265 Wp
Tecnologia	Silício policristalino
Dimensões	1650 x 992 x 40 mm
Peso	19 Kg
Tolerância	0 / +3%
Eficiência do módulo	16,19%
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9,06 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	38,6 V
Corrente de Serviço (Impp)	8,44 A
Tensão de Serviço (Vmpp)	31,4 V
Tensão máxima	1000 V
Coefficiente de temperatura Isc	0,06%/°C
Coefficiente de temperatura Voc	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura Pmax	-0,41%/°C
Temperatura de operação nominal das células	45 °C ± 2 °C

Estruturas de fixação dos painéis fotovoltaicos:

Estruturas em triângulo duplo, orientadas para Sul, com ângulo de inclinação de 30°. O material das estruturas deverá ser o que melhor se adeque à localização do sistema.

Inversores:

Fabricante	Fronius
Modelo	ECO 27.0-3-S
Potência máxima do lado <i>DC</i>	27000 W
Potência nominal AC	27000 VA
Dimensões	725 x 510 x 225 mm
Peso	35,7Kg
Tensão máxima	1000 V
Corrente máxima de curto-circuito	71,6 A
Potência máxima em painéis a instalar por inversor	35,7 kWp
Gama de tensão dos inputs	580 V a 850 V
Tensão mínima dos inputs	580 V
Tensão de inputs inicial	650 V
Número de ligações <i>DC</i>	6xDC ⁺ e 6xDC ⁻ (2,5 mm ² a 16 mm ²)
Frequência de potência	50 Hz / 60 Hz
Tensão da rede	400 V / 230 V
Corrente AC de output	40,9 A / 39,1 A
Fator de potência à potência nominal (cosΦ=1)	1
Eficiência Europeia	98,0%
Grau de Proteção	IP66
Tipo de instalação	Interior e exterior
Valor máximo para a humidade relativa	100%
Escala de temperatura para operação	-25 °C a 60 °C

Características da rede AC

Tensão de ligação	230 V ou 400 V
Frequência nominal	50 Hz

Ligações elétricas

Strings:

Área da secção	1,5 mm ²
Material	Cobre
Tipo de ligação entre painéis	Série
Arranjo das <i>strings</i>	29 x (A: 3 x 21/ B: 3 x 21); 1 x (A: 3 x 20 / B: 2 x 20 + 1 x 19)
Distância dos painéis aos inversores	10 m

Cabos AC:

Área da secção	240 mm ²
Comprimento	500 m
Material	Alumínio

Potências a instalar no sistema

Após a realização de um estudo técnico-económico e da seleção dos modelos dos painéis fotovoltaicos e inversores a usar para a Unidade de Produção de Autoconsumo, as potências totais constam na seguinte tabela:

	Potência
Painéis fotovoltaicos	810,105 kWp
Inversores	810 kW

Tabela de encargos

A seguinte tabela de encargos contém as despesas estimadas para os equipamentos a instalar na UPAC, bem como para a instalação e arranque do sistema e para a taxa de registo no SERUP.

Equipamento	Quantidade	Preço final
Painéis fotovoltaicos <i>Jinko JKM265P-60</i>	3057	346 358,10 €
Estruturas em triângulo duplo com inclinação de 30º	31	110 116,39 €
Inversores <i>Fronius ECO 27.0-3-S</i>	30	68 352,60 €
Equipamentos complementares	Cablagem, quadros, proteção, outros	122 100,86 €
Instalação e arranque do sistema	-	4 387,65 €
Taxa de registo no SERUP	-	750 €
TOTAL (S/IVA)		652 065,60 €

Manutenção

As operações de manutenção deverão ser realizadas por um técnico qualificado para o efeito. No entanto, deve-se seguir as indicações de inspeção/manutenção indicadas nos manuais dos equipamentos.

Em caso de anomalia, dever-se-á acionar a garantia técnica do(s) equipamento(s) em questão ou contactar um técnico qualificado.