

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Determinação de perfis para a microprodução

Nuno Monteiro Gomes da Silva

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. José Nuno Fidalgo

Julho de 2010

Resumo

Nos últimos anos, verificou-se um crescimento acelerado de instalação de microprodutores, tendo a correspondente produção crescido em conformidade. Conforme o 1º Relatório Bienal referente à Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015), o objectivo será promover a instalação de 50 000 sistemas de unidades de microprodução até ao final do ano de 2010. Por esta razão, a microprodução começa a ganhar um peso expressivo no panorama global, sendo necessário passar a ser considerada nos diferentes aspectos associados à gestão do sistema eléctrico, especialmente no que se refere ao funcionamento do mercado de electricidade.

Do mesmo modo que sucede com os perfis de carga, os perfis da microprodução poderão ser utilizados para aperfeiçoar as estimativas das curvas de carga associadas a determinada carteira de clientes. Estes perfis poderão igualmente ser enquadrados no método de acerto de contas, e também no processo de estimação do diagrama global da distribuição.

O objectivo primordial desta dissertação consiste na caracterização dos comportamentos típicos da microprodução em função da hora do dia, da época do ano (sazonalidade), zona geográfica, etc. Através desta caracterização serão construídos os perfis típicos de microprodução para todo o ano de 2010.

Nos últimos anos, em Portugal, as tecnologias solar e eólica têm-se destacado como as tecnologias de microprodução mais relevantes. Para tal, serão estudados dois perfis: um correspondente à microprodução de origem solar e outro relativo à microprodução de origem eólica.

Palavras-chave: Microprodução, Perfis típicos de microprodução solar, Perfis típicos de microprodução eólica.

Abstract

*In recent years, there has been an accelerated growth of microproducers installation and the corresponding production has grown consequently. According to the 1st Biennial Report on the *Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável* (National Strategy for Sustainable Development), the aim will be to promote the installation of 50 000 units of micro systems till the end of 2010. For this reason, the microproduction begins to have a significant weight in the global scene, and it needs to be considered in the different aspects related to the management of the electrical system, especially in what concerns the procedure of the electricity market.*

As it happens with the load profiles, the microproduction profiles can be used to improve the estimates of the load curves associated with a specific portfolio of clients. These profiles can also be used in the settlement process, and also in the estimation of the global distribution diagram.

The basic aim of this dissertation is to characterize the typical behaviours of microproduction depending on the time of the day, time of the year (seasonal), geographical area, etc. Through this characterization, the typical profiles of microproduction for all the year of 2010 will be constructed.

In the last years, in Portugal, the solar and wind technologies have been the most relevant technologies of microproduction. Thus, two profiles will be studied: one corresponding to the solar microproduction and another one related to the wind turbines microproduction.

Keywords: *Microproduction, Typical profiles of solar microproduction, Typical profiles of wind microproduction.*

Agradecimentos

Este é o momento para homenagear e agradecer a todas as pessoas que directa ou indirectamente contribuíram para a elaboração e sucesso desta dissertação.

Em primeiro lugar gostaria de dirigir um agradecimento especial ao meu orientador e responsável pelo tema da dissertação, o Professor José Nuno Fidalgo, por todo o apoio contínuo e incansável, orientação, disponibilidade e conselhos transmitidos que colaboraram positivamente para a realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer de uma forma muito especial aos meus pais e irmã, por todo o apoio, compreensão, paciência e incentivo que me deram ao longo da minha vida, sem eles nada teria sido possível.

Gostaria também de agradecer à minha restante família (avós, tios e primos), por todo o amor e amizade que sempre me transmitiram.

Por último, gostaria de agradecer a todos os meus colegas e amigos sem excepção, a amizade, o companheirismo e o apoio oferecido sempre que necessitei.

A todos um MUITO OBRIGADO.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de Figuras	xi
Abreviaturas e Símbolos	xvii
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento	1
1.2 - Motivação e Objectivos	7
1.3 - Estrutura da Dissertação.....	8
1.4 - Dados Utilizados na Dissertação.....	9
Capítulo 2	11
Estado da Arte	11
2.1 - Microprodução	11
2.2 - Microprodução em Portugal.....	13
2.3 - Enquadramento Legal da Microprodução	14
2.4 - Tecnologias de Microprodução	17
2.4.1 - Painéis Solares Fotovoltaicos.....	18
2.4.2 - Micro-turbinas Eólicas	21
2.4.3 - Pilhas de Combustível	22
2.4.4 - Micro-turbinas.....	25
2.5 - Perfis de Microprodução	26
2.6 - Síntese de Estudos Realizados por Outros Autores.....	28
Capítulo 3	33
Metodologia	33
3.1 - Tratamento Inicial da Informação	34
3.1.1 - Campanha de Medição.....	35
3.1.2 - Tratamento dos Dados.....	35
3.1.3 - Pré-processamento dos Dados	41
3.2 - Perfis de Microprodução Solar	42

3.2.1 - Obtenção e Reajuste dos Diagramas de Microprodução Solar	42
3.2.2 - Suavização	47
3.2.3 - Normalização	48
3.3 - Perfis de Microprodução Eólica	51
3.3.1 - Normalização	52
3.3.2 - Atribuição de Pesos	53
3.3.3 - Determinação dos Perfis Típicos de Microprodução Eólica	54
Capítulo 4	57
Resultados	57
4.1 - Perfis de Microprodução Solar	57
4.1.1 - Obtenção e Reajuste dos Diagramas de Microprodução Solar	59
4.1.2 - Suavização	68
4.1.3 - Normalização	69
4.2 - Perfis de Microprodução Eólica	70
4.2.1 - Normalização	70
4.2.2 - Atribuição dos Pesos	75
4.2.3 - Determinação dos Perfis Típicos de Microprodução Eólica	75
Capítulo 5	83
Conclusões	83
5.1 - Conclusões Finais	83
5.2 - Trabalhos Futuros	85
Referências	87
Anexo A - Perfis de Microprodução Solar	91
Anexo B - Perfis de Microprodução Eólica	95

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Microprodução em Portugal, Dezembro de 2008 [9].....	3
Figura 1.2 - Irradiação Solar na Europa (Wh/m^2) (Adaptado de [11]).....	4
Figura 1.3 - Número de horas solar disponível em Portugal Continental (Adaptado de [12]).....	5
Figura 1.4 - Radiação global e potencial fotovoltaico anual - plano horizontal (Adaptado de [11]).....	5
Figura 1.5 - Atlas Europeu do Vento (Adaptado de [14]).....	6
Figura 2.1 - Princípio de funcionamento de um painel FV [25].....	19
Figura 2.2 - Agrupamento de células solares para formar painéis FV ou arrays [27].....	20
Figura 2.3 - Turbinas eólicas de eixo vertical (esquerda) e eixo horizontal (direito) [28].....	22
Figura 2.4 - Princípio de funcionamento de uma célula de combustível [24].....	23
Figura 2.5 - Esquema de uma micro-turbina com um único veio [30].....	25
Figura 2.6 - Distribuição das diferentes tecnologias de μP instaladas em Portugal até Outubro de 2009 (Fonte: EDP).....	27
Figura 2.7 - Perfis diários para a micro-cogeração [32].....	28
Figura 2.8 - Perfis diários para microprodução solar [32].....	29
Figura 2.9 - Perfil da produção normalizada de micro-cogeração (p.u.) [33].....	30
Figura 2.10 - Perfil da produção normalizada de origem solar (p.u.) [33].....	30
Figura 2.11 - Perfil da produção normalizada da micro-hídrica (p.u.) [33].....	31
Figura 3.1 - Esquema representativo das etapas do Tratamento Inicial da Informação.....	34
Figura 3.2 - Exemplo do motivo da aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor solar.....	36

Figura 3.3 - Exemplo do motivo da aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor eólico.....	37
Figura 3.4 - Resultado após aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor solar.....	37
Figura 3.5 - Resultado após aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor eólico.....	38
Figura 3.6 - Exemplo da aplicação do método de filtragem de dados, para um determinado microprodutor eólico.....	38
Figura 3.7 - Efeito da aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor eólico.....	39
Figura 3.8 - Radiação solar incidente num plano óptimo em Coimbra.....	43
Figura 3.9 - Potência total de cada mês ao longo do dia.....	44
Figura 3.10 - Potência total de cada mês ao longo de um dia, após aplicação do factor de reajuste.....	46
Figura 3.11 - Diagramas diários de μP para os meses com débito de dados, antes e após aplicação do factor de reajuste.....	47
Figura 4.1 - Energia produzida (kWh) da amostra inicial e do PVGIS, para um microprodutor localizado em Guimarães.....	58
Figura 4.2 - Energia total produzida (MWh) determinada na amostra inicial e a Energia total produzida (MWh) determinada pelo PVGIS para todos os meses do ano.....	60
Figura 4.3 - Média total diária da irradiação solar num plano óptimo para todos os meses do ano.....	61
Figura 4.4 - Média mensal da irradiação solar num plano óptimo para todos os meses do ano.....	61
Figura 4.5 - Valores de produção de energia da amostra inicial, de energia estimada para cada situação e de energia obtida através do PVGIS para todos os meses do ano....	62
Figura 4.6 - Energia média diária em cada mês (kWh) em função da zona geográfica para a μP solar.....	65
Figura 4.7 - Energia média mensal (kWh) em função da zona geográfica para a μP solar.....	65
Figura 4.8 - Energia total produzida em função da zona geográfica, antes e após realização da segunda fase da metodologia de μP solar.....	67
Figura 4.9 - Suavização dos diagramas diários representativos de cada mês da μP solar.....	68
Figura 4.10 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da μP solar.....	69

Figura 4.11 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da amostra de microprodutores eólicos.....	70
Figura 4.12 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da amostra da PRE em MT de 2007.....	71
Figura 4.13 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da amostra da PRE em MT de 2008.....	72
Figura 4.14 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da amostra da PRE em MT de 2009.....	72
Figura 4.15 - Diagramas diários da produção de electricidade em Janeiro das amostras da PRE.....	73
Figura 4.16 - Diagramas diários da produção de electricidade em Abril das amostras da PRE.....	73
Figura 4.17 - Diagramas diários da produção de electricidade em Agosto das amostras da PRE.....	74
Figura 4.18 - Perfil diário de μP de origem eólica.....	76
Figura 4.19 - Perfil diário de μP de origem eólica para Abril e Maio	76
Figura 4.20 - Perfil diário de μP de origem eólica para Junho, Julho, Agosto e Setembro.....	77
Figura 4.21 - Perfil diário de μP de origem eólica para Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro.....	77
Figura 4.22 - Perfil diário de μP de origem eólica para Outubro e Novembro	78
Figura 4.23 - Energia média diária em cada mês (kWh) em função da zona geográfica para a μP eólica.....	80
Figura 4.24 - Energia média mensal (kWh) em função da zona geográfica para a μP eólica.....	80
Figura A.1 - Perfil Anual de μP de origem solar.....	94
Figura B.1 - Diagramas diários da produção de electricidade de Fevereiro das amostras da PRE.....	95
Figura B.2 - Diagramas diários da produção de electricidade de Março das amostras da PRE.....	95
Figura B.3 - Diagramas diários da produção de electricidade de Maio das amostras da PRE.....	96
Figura B.4 - Diagramas diários da produção de electricidade de Junho das amostras da PRE.....	96
Figura B.5 - Diagramas diários da produção de electricidade de Julho das amostras da PRE.....	97

Figura B.6 - Diagramas diários da produção de electricidade de Setembro das amostras da PRE.....	97
Figura B.7 - Diagramas diários da produção de electricidade de Outubro das amostras da PRE.....	98
Figura B.8 - Diagramas diários da produção de electricidade de Novembro das amostras da PRE.....	98
Figura B.9 - Diagramas diários da produção de electricidade de Dezembro das amostras da PRE.....	98
Figura B.10 - Perfil Anual de μP de origem eólica.....	100

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Tarifas de referência aplicáveis às diferentes tecnologias de μ P [22].....	17
Tabela 2.2 - Tipos de pilhas de combustível [29].....	24
Tabela 2.3 - Vantagens e desvantagens associadas às configurações das micro-turbinas [30].....	26
Tabela 4.1 - Energia produzida (kWh) determinada através da amostra inicial e do PVGIS, para um microprodutor localizado em Guimarães.....	58
Tabela 4.2 - Energia total produzida (MWh) determinada na amostra inicial e a Energia total produzida (MWh) determinada pelo PVGIS, para todos os meses do ano.....	60
Tabela 4.3 - Factores de reajuste para os meses com falta de informação para cada situação.....	62
Tabela 4.4 - Energias Estimadas (MWh) para os meses com falta de informação em cada situação, e a energia produzida (MWh) determinada através do PVGIS.....	62
Tabela 4.5 - Energia média diária em cada mês (kWh) em função da zona geográfica para a μ P solar.....	64
Tabela 4.6 - Energia média mensal (kWh) em função da zona geográfica para a μ P solar.....	64
Tabela 4.7 - Energia total produzida (MWh) na amostra em função da zona geográfica para a μ P solar.....	65
Tabela 4.8 - Energia total produzida (MWh) na amostra em função da zona geográfica, após realização da segunda fase da metodologia de μ P solar.....	66
Tabela 4.9 - Horas equivalentes (h) em função da zona geográfica, após realização da segunda fase da metodologia para a μ P solar.....	67
Tabela 4.10 - Pesos para cada componente.....	75
Tabela 4.11 - Energia média diária em cada mês (kWh) em função da zona geográfica para a μ P eólica.....	79

Tabela 4.12 - Energia média mensal (kWh) em função da zona geográfica para a μP eólica.....	79
Tabela 4.13 - Energia total produzida (MWh) na amostra em função da zona geográfica para a μP eólica.....	81
Tabela 4.14 - Horas equivalentes (h) em função da zona geográfica para a μP eólica.....	81
Tabela A.1 - Valores de μP solar obtidos após realização do reajuste dos meses com falta de informação.....	91
Tabela A.2 - Valores suavizados de μP solar.....	92
Tabela A.3 - Valores do perfil diário de μP solar.....	93
Tabela B.1 - Valores do perfil diário de μP eólica.....	99

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

APREN	Associação Portuguesa das Energias Renováveis
BT	Baixa Tensão
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
EDP	Energias de Portugal
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FV	Fotovoltaico
GIS	<i>Geographical Information System</i>
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
MT	Média Tensão
PRE	Produção em Regime Especial
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
RESP	Rede Eléctrica de Serviço Público
RN	Redes Neurais
RNT	Rede Nacional de Transporte
SRM	Sistema de Registo de Microprodução
UE	União Europeia

Lista de símbolos

μP	Microprodução
CO_2	Dióxido de Carbono
kWp	Quilowatt-pico
kcal/cm ²	Quilocaloria por Centímetro Quadrado
LME _{PS}	Limite Máximo Anual de Energia da Produção Solar
LME _{RP}	Limite Máximo Anual de Energia das Restantes Produções
PH	Produção Hídrica

PB	Potência da Biomassa
H ₂	Hidrogénio
O ₂	Oxigénio
H ₂ O	Água
AFC	Pilha Alcalina
PEFC/PEM	Pilha de Polímero Sólido
PAFC	Pilha de Ácido Fosfórico
MCFC	Pilha de Carbonato Fundido
SOFC	Pilha de Óxido Sólido
rpm	Rotações por Minuto
f _i	Factor de Reajuste dos Diagramas dos Meses com Débito de Registos

Capítulo 1

Introdução

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Neste trabalho de dissertação são apresentadas as metodologias utilizadas com o objectivo de construir e determinar os perfis típicos de μP para todo o ano de 2010 em Portugal. Estes perfis deverão começar a ser considerados nos diferentes aspectos relacionados com a gestão do sistema eléctrico, nomeadamente no que diz respeito ao funcionamento do mercado de electricidade.

Este capítulo apresenta uma perspectiva geral do tema e revela quais os objectivos e motivações essenciais à sua realização. Na parte final do capítulo realiza-se uma breve descrição sobre a estrutura desta dissertação e os dados essenciais para a sua execução.

1.1 - Enquadramento

Hoje em dia vivemos um momento de mudança devido à necessidade de responder ao desafio criado pelas alterações climáticas e pela necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis [1].

Nos últimos anos, a energia tem-se demonstrado como um elemento fundamental para a vida das sociedades modernas, nomeadamente para o seu desenvolvimento. A poluição e o aumento de consumo de recursos para a produção de electricidade são problemas que atingem o planeta Terra. Os gases de efeito de estufa e as alterações climáticas podem vir a constituir os principais problemas que atingem a humanidade.

Nesta conjuntura, começa-se a averiguar alternativas para uma mudança a nível do paradigma energético. Como resposta às crescentes necessidades energéticas, as sociedades modernas têm vindo a adoptar formas alternativas de produção de energia eléctrica cada vez mais limpas e mais eficientes, como por exemplo a adopção de unidades produtoras descentralizadas [2]. Uma grande parte da UE têm vindo a incentivar a instalação e

2 Introdução

integração deste tipo de unidades, com a finalidade de ser possível atingir os objectivos definidos pela UE [3]:

- 20% de aumento na eficiência energética até 2020;
- 20% de redução das emissões dos gases com efeito de estufa;
- Quota de 20% de energias renováveis no consumo energético global da UE até 2020.

A produção de electricidade a partir de energias renováveis mostra-se como uma opção muito atractiva, visto serem capazes de se regenerar por meios naturais não poluindo a atmosfera, e de serem virtualmente inesgotáveis, ao contrário dos recursos não renováveis.

Portugal não apresenta recursos conhecidos de petróleo ou de gás natural, e os recursos disponíveis de carvão estão praticamente extintos. Tal situação de escassez conduz a uma elevada dependência energética do exterior, sendo totalmente dependente das importações de fontes primárias de origem fóssil. Nestas condições, o nosso país viu-se confrontado com a necessidade de desenvolver formas alternativas de produção de energia, nomeadamente, promovendo e incentivando a utilização dos recursos energéticos endógenos [4].

A aposta nas Energias Renováveis visa limitar a intensidade carbónica da economia e contribuir para a diversificação e sustentabilidade do sector energético. Assenta, em especial, no desenvolvimento das energias hídrica e eólica, na biomassa, no incentivo aos biocombustíveis e na energia solar [1].

O cliente de BT mostra-se uma peça fundamental na expansão do aproveitamento das fontes de energia renovável, uma vez que recorrendo a estas, também ele pode produzir electricidade que venderá à rede, sendo este o conceito de microgeração ou μP [5].

A μP consiste na geração de energia eléctrica ou calor em pequena escala, geralmente associadas a tecnologias renováveis, provocando uma menor emissão de gases de efeito de estufa e menor dependência energética. Este tipo de produção de energia em pequena escala possibilita aos consumidores de BT satisfazerem total ou parcialmente as suas necessidades de consumo de energia, e venderem o excedente à rede eléctrica, o que se traduz numa redução das perdas associadas à distribuição, evitando novos investimentos em grandes centrais de produção de energia e em infra-estruturas de distribuição [6].

Em 2007, foi aprovado em Portugal o Decreto-Lei nº363/2007 de 2 de Novembro [7], com vista a facilitar o acesso dos consumidores de BT a este tipo de geração de energia. Foram definidas regras no referido decreto, criando-se o regime das “Renováveis na Hora”. O novo regime refere-se à instalação de produção de electricidade monofásica em BT com potência até 5,75 kW (Unidades de grupo I), que utilizem recursos renováveis como energia primária ou que produzam, em cogeração, electricidade e calor.

A μP surge como uma oportunidade atractiva para milhares de particulares e dezenas de empresas que, ultimamente, passaram a oferecer soluções de produção de energia eléctrica a partir de casa. Em [8], é salientado que a μP poderá alcançar, num panorama mais favorável, 30% da energia consumida em BT, atingindo 1700 MW de potência instalada, correspondente à produção anual de 4900 GWh. De referir ainda que segundo [8], através de um estudo sobre o impacto da μP na rede eléctrica, chegou-se à conclusão que é possível evitar anualmente perdas de 3437 GWh, o que corresponde à poupança de 22 milhões de euros e a 370 toneladas de CO₂ evitadas.

Em [9] é referido que durante 2008, cerca de 3600 unidades de μ P começaram o seu processo de certificação e 808 foram certificadas ou conectadas à rede pública de BT. A figura 1.1 mostra a distribuição destas instalações por distrito em Portugal.

Nos últimos anos em Portugal, a tecnologia fotovoltaica e a micro-eólica têm-se destacado como as tecnologias de μ P mais predominantes, tendo em conta os benefícios de integração destas unidades. Isto deve-se ao facto de Portugal tentar aproveitar ao máximo os recursos próprios que usufrui em abundância e que não se esgotam, como o Sol, o Vento e a Água.

No que diz respeito aos incentivos tarifários e à exposição solar em Portugal, bem como a baixa necessidade de manutenção dos sistemas FV, a tecnologia solar apresenta-se, de longe, como a preferência dos consumidores de BT. No final de 2008, 95% das unidades de μ P certificadas ou conectadas à rede correspondiam a sistemas FV, 4% a micro-eólicas e 1% a sistemas híbridos [9].

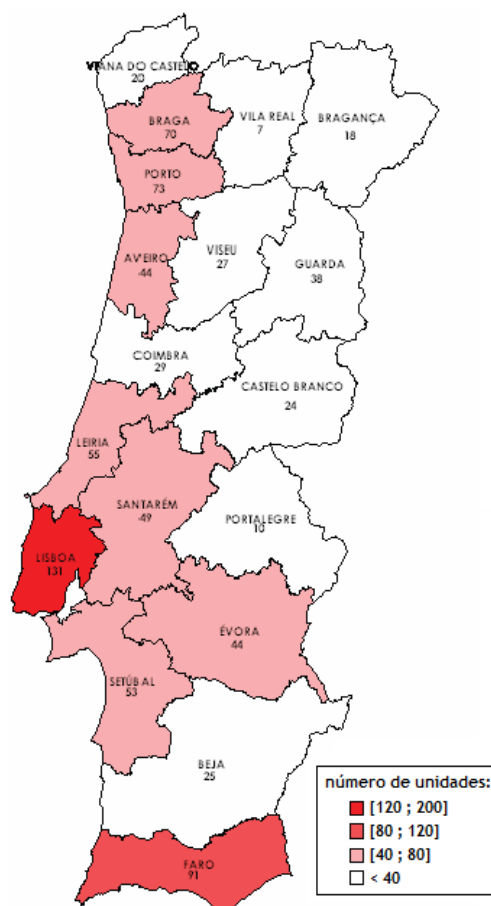


Figura 1.1 - Microprodução em Portugal, Dezembro de 2008 [9].

A energia solar trata-se da fonte de energia mais abundante no planeta Terra, e Portugal possui óptimas condições para aproveitar essa energia através de tecnologias solares fotovoltaicas. Estas tecnologias aproveitam a energia solar convertendo directamente a radiação solar em electricidade. Desta forma, as localizações que apresentem maiores valores

4 Introdução

de radiação solar incidente são obviamente as localizações preferenciais para a utilização deste tipo de tecnologia.

Como se pode verificar na figura 1.2, Portugal, à excepção do Chipre, tem dos melhores níveis de insolação anual de toda a Europa, com valores 70% superiores aos verificados na Alemanha. Esta diferença leva a que o custo da electricidade produzida em condições idênticas seja 40% menor em Portugal. Este aspecto constitui uma enorme vantagem que tem de ser capitalizada [10].

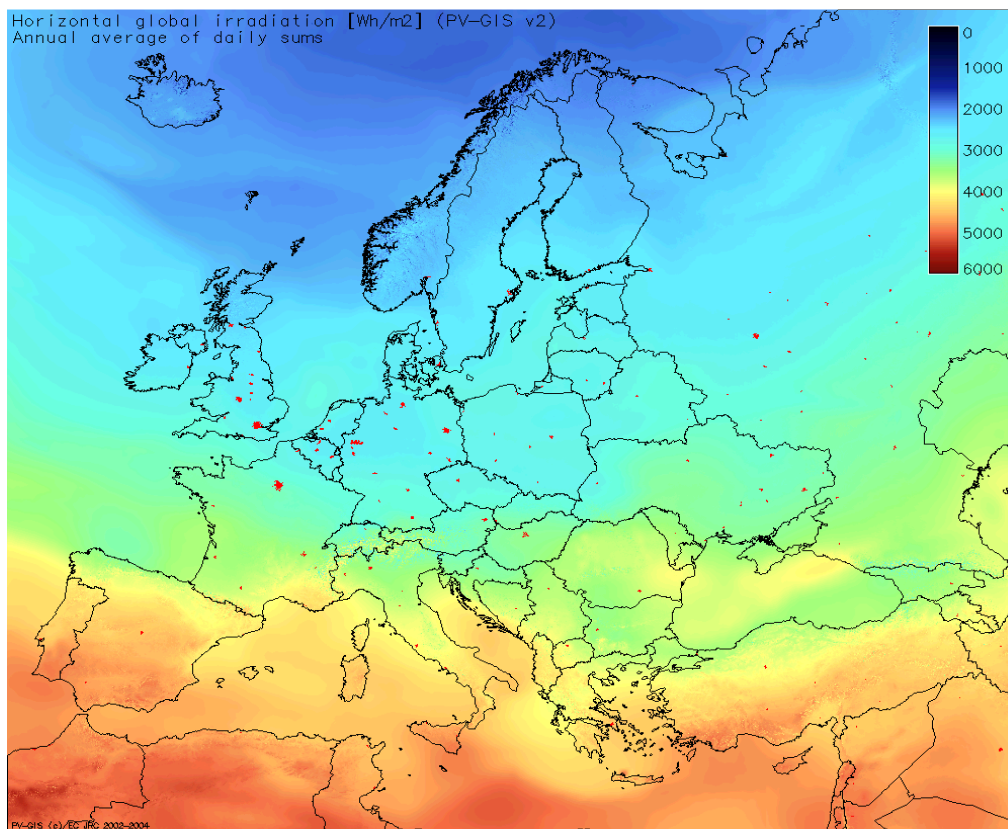


Figura 1.2 - Irradiação Solar na Europa (Wh/m²) (Adaptado de [11]).

A insolação em Portugal Continental (número de horas de Sol descoberto acima do horizonte) é um elemento climático muito importante que varia entre as 1800 e as 3100 horas de Sol por ano. A quantidade total de radiação global varia entre 140 e 170 kcal/cm². O país, devido às suas condições climáticas, possui excelentes condições para a conversão fotovoltaica, com índices de produção entre os 1000 e os 1500 kWh por ano por kWp instalado [1].

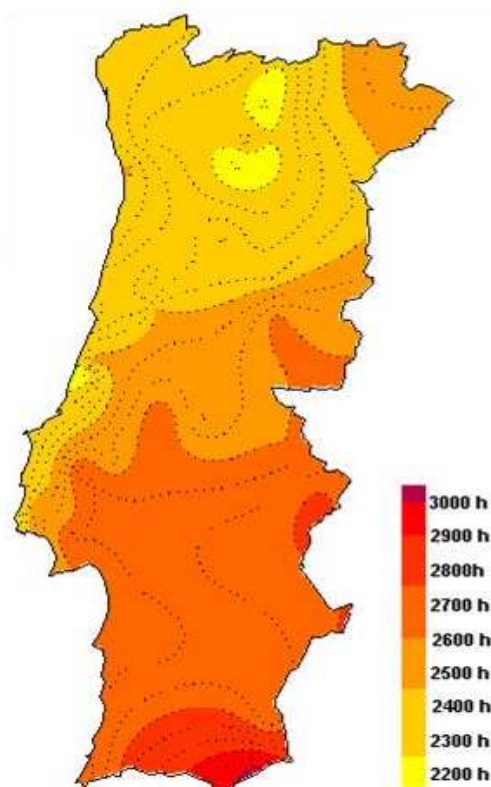


Figura 1.3 - Número de horas solar disponível em Portugal Continental (Adaptado de [12]).

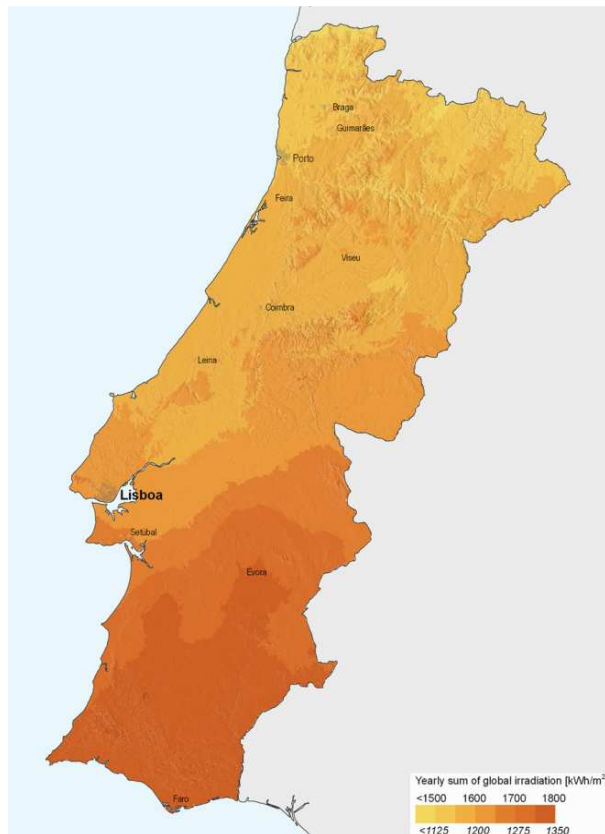


Figura 1.4 - Radiação global e potencial fotovoltaico anual - plano horizontal (Adaptado de [11]).

6 Introdução

Na figura 1.4 pode-se verificar o somatório da radiação global e do potencial FV, anual, de Portugal continental gerado por um sistema de 1 kWp por ano e com eficiência de 75%, para o plano horizontal.

Analisando as figuras 1.3 e 1.4, verifica-se que as zonas com maior número de horas solar e de maior radiação solar incidente são o Sul e o Centro de Portugal. Desta forma, através destes elevados níveis de radiação solar incidente, obtém-se supostamente uma maior produção de energia eléctrica nestas zonas comparativamente com o Norte de Portugal.

Para além do Sol, o Vento é, também, uma das energias primárias com maior potencial de produção eléctrica em Portugal. Encontra-se, aliás, num nível tecnologicamente elevado e é alvo de muitas solicitações do mercado [13].

Tal como a tecnologia fotovoltaica, tem-se verificado um aumento na integração de energia transformada a partir das micro-eólicas que se deve, principalmente, à disponibilidade do recurso no nosso país e à maturidade deste tipo de tecnologia. Segundo [8], a eólica tem um período de retorno mais rápido, embora seja mais fácil de instalar equipamentos para energia solar, já que as empresas instaladoras também estão mais familiarizadas com os mesmos.

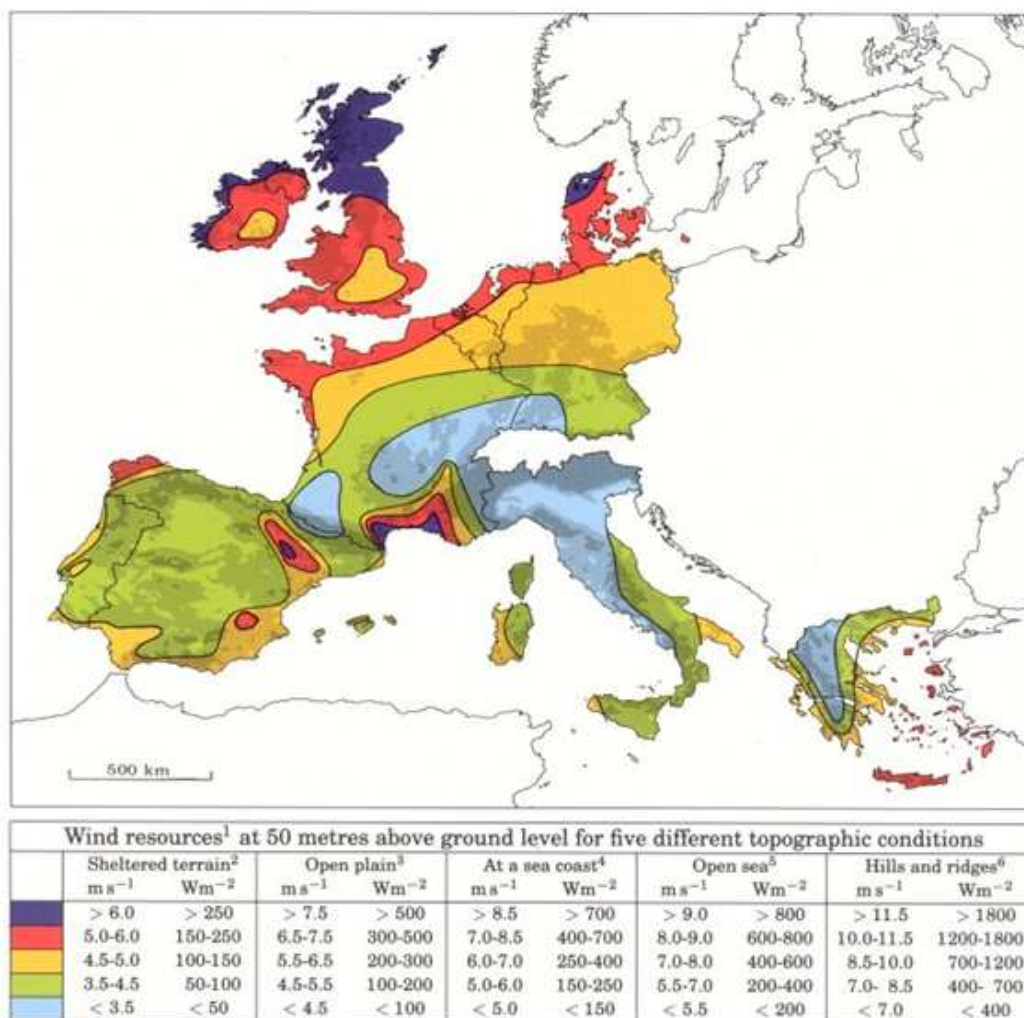


Figura 1.5 - Atlas Europeu do Vento (Adaptado de [14]).

A figura 1.5 mostra um panorama geral do recurso eólico na Europa Ocidental, em termos da velocidade média (m/s) e da densidade de potências (W/m^2) médias anuais, à altura de 50 metros.

Na Europa, as regiões mais ventosas situam-se no Norte do Reino Unido e nas costas Norte/Oeste (roxo e vermelho na figura 1.5), enquanto o Norte de Itália e o Sul de França não são favorecidos em termos do recurso eólico (azul). Relativamente a Portugal Continental, verifica-se algum favorecimento do recurso eólico nas zonas costeiras do Oeste e do Sul, pois apresentam as velocidades de vento mais elevadas. Desta forma, a produção eólica será supostamente superior no Litoral comparativamente ao Interior.

Nos últimos anos, a energia evidencia-se como aposta clara de Portugal e do Governo [15], visto o novo contexto energético global dar ênfase à necessidade de aumentar o peso das fontes de energia renovável na produção de electricidade, manifestando-se numa área com elevado potencial de crescimento. A energia tem-se demonstrado como uma peça essencial perante os desafios colocados pela elevada dependência energética externa e suas implicações económicas e estratégicas para o país, assim como os desafios relacionados com a eficiência energética e as alterações climáticas.

Ultimamente tem-se verificado um crescimento rápido de instalação de unidades de μP , tendo a respectiva produção crescido em conformidade. Desta forma, pretende-se promover a instalação de 50 000 sistemas de μP até ao final de 2010, com incentivo à instalação de Água Quente Solar nos edifícios [15]. Isto significa que a μP começa a ser considerada de uma forma muito expressiva no funcionamento do mercado de electricidade.

1.2 - Motivação e Objectivos

Por todos os motivos fundamentados no enquadramento e pelo facto da μP de energia eléctrica ser considerada uma das prioridades das políticas energéticas nacionais e encarada como uma área com elevado potencial de crescimento em Portugal, esta temática apresenta-se como uma das áreas mais dinâmicas de pesquisa e desenvolvimento científico.

Visto a μP começar a adquirir uma relevância expressiva numa perspectiva global, a motivação associada à realização desta dissertação deve-se essencialmente à necessidade actual de desenvolver e implementar métodos, ferramentas e procedimentos que permitem caracterizar os comportamentos típicos da μP em Portugal.

A determinação dos perfis de μP permitirá melhorar as estimativas das curvas de carga destinadas a uma determinada carteira de clientes. Os perfis poderão, também, ser considerados no processo de estimação do diagrama global da distribuição e no processo de acerto de contas.

Desta forma, a determinação dos perfis típicos de μP pode ser considerada prestigiosa visto que poderá proporcionar vantagens para empresas associadas à gestão do sistema eléctrico, designadamente no que diz respeito ao funcionamento do mercado de electricidade.

O primeiro objectivo da dissertação consiste em propor uma metodologia para a determinação dos perfis típicos de μP de origem solar e outra para a μP de origem eólica. O objectivo principal destas metodologias consiste na identificação dos principais passos, procedimentos e técnicas a aplicar nestes processos.

O segundo objectivo cinge-se ao desenvolvimento e à implementação das metodologias criadas a um caso prático, utilizando bases de dados reais de microprodutores de energia eléctrica. Com esta implementação, pretende-se atingir os seguintes objectivos:

- Caracterizar a situação actual da μP de origem solar e eólica em Portugal;
- Caracterizar os comportamentos típicos de μP solar e eólica em função da hora do dia: Estudo e inferência de relações típicas entre hora do dia e nível de produção de origem solar e eólica;
- Caracterizar os comportamentos típicos de μP solar e eólica em função do mês do ano: Estudo e inferência de relações típicas entre sazonalidade (mês do ano) e nível de produção de origem solar e eólica;
- Quantificar a relação entre produções em função da zona geográfica: Analisar e comparar em termos geográficos os valores de produção de electricidade através de unidades de μP solar e eólica;

1.3 - Estrutura da Dissertação

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação está organizado em 5 capítulos e 2 anexos.

O primeiro capítulo expõe a contextualização do problema em investigação e cita os principais objectivos que o estudo em causa pretende atingir.

No capítulo 2 é apresentado o conceito de μP , bem como o seu enquadramento legal em Portugal e descritas algumas tecnologias destinadas a este tipo de produção de energia eléctrica. Este capítulo é, também, dedicado à introdução do conceito de perfis de μP e justificada a sua necessidade e importância. Para finalizar, são referidos e sintetizados alguns trabalhos que possibilitam compreender melhor a utilização dos perfis de μP .

No terceiro capítulo são apresentadas as metodologias utilizadas para se atingir os objectivos propostos para a dissertação, sendo descritas as diversas fases de cada metodologia. Com esta metodologia, pretende-se determinar e construir os perfis típicos de μP solar e eólico para todo o ano de 2010.

O capítulo 4 é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos através dos estudos que foram executados de acordo com os princípios estabelecidos no terceiro capítulo.

Por último, o fim da dissertação culmina com o capítulo 5 que apresenta as principais conclusões deste trabalho científico, evidenciando os aspectos mais importantes do estudo, e indica algumas perspectivas para futuro desenvolvimento.

No Anexo A são apresentados os resultados obtidos nas diferentes fases da metodologia para a determinação dos perfis de μP solar e apresentado o perfil típico de μP solar para o ano de 2010. No Anexo B são expostos os diagramas diários de produção eólica para alguns meses correspondentes a 2007, 2008 e 2009, e por fim apresentados os valores do perfil diário de μP eólica e perfil típico de μP eólica para o ano de 2010.

1.4 - Dados Utilizados na Dissertação

No âmbito da realização desta dissertação, são utilizadas amostras de dados essenciais, tais como:

- Dados de produção de energia eléctrica para um conjunto de microprodutores de origem solar. Estes dados foram registados em intervalos de 15 minutos para todas as horas do dia, relativamente aos meses de Novembro e Dezembro de 2008, e de Janeiro a Outubro de 2009. Importa referir que em alguns microprodutores, esta base temporal não foi totalmente disponibilizada;
- Dados sobre a produção de energia eléctrica correspondente a um conjunto de microprodutores de origem eólica. Estes dados foram, também, registados em intervalos de 15 minutos para todas as horas do dia, relativamente aos meses de Novembro e Dezembro de 2008, e de Janeiro a Outubro de 2009. Do mesmo modo que a amostra solar, em alguns microprodutores de origem eólica, a base temporal não foi totalmente disponibilizada;
- Dados relativamente à PRE em MT a partir de origem eólica. Estes dados foram registados em intervalos de 15 minutos, para todas as horas do dia, relativamente ao ano de 2007, 2008 e 2009.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo é apresentado o conceito de μ P de energia eléctrica, bem como as suas principais vantagens, e feita uma descrição sumária do enquadramento legal da μ P em Portugal. Em seguida, é inserido o conceito de perfis de μ P e justificada a sua necessidade e importância. Para finalizar, são mencionados alguns trabalhos que permitem perceber melhor a utilização de perfis de μ P.

Com esta caracterização do estado de arte será possível entender melhor a contribuição das metodologias apresentadas nesta tese.

2.1 - Microprodução

A μ P ou microgeração é a geração de energia pelo próprio consumidor (empresa ou particular) por intermédio de instalações de pequena potência, nomeadamente tecnologias renováveis, o que implica menor emissão de gases de efeito de estufa e maior independência energética. A μ P está no centro de uma revolução que vai abalar o clássico modelo centralizado de produção e distribuição dos sistemas eléctricos da maioria dos países europeus, e que tem grandes vantagens económicas, ambientais e tecnológicas [16].

A μ P emerge como uma oportunidade muito interessante para milhares de particulares e dezenas de empresas, que, nos últimos anos, passaram a oferecer soluções de produção de energia a partir de casa, e até para a banca, que já se posiciona com novas modalidades de financiamento [8].

Permite que as empresas e as famílias satisfaçam total ou parcialmente as suas necessidades de consumo de energia e vendam os excedentes à rede eléctrica, o que se traduz numa redução das perdas associadas à distribuição, evitando novos investimentos em grandes centrais de produção e em infra-estruturas de distribuição.

O novo contexto energético global veio dar ênfase à necessidade de aumentar o peso das fontes de energia renovável na produção de electricidade, pelo que se trata de uma área que apresenta um elevado potencial de crescimento.

A energia produzida pode ser aproveitada para o aquecimento de águas sanitárias ou para a produção de energia eléctrica, que é depois vendida à rede de distribuição. A actividade de μP trata-se de um investimento bastante seguro, onde a rentabilidade é garantida pela tarifa subsidiada que foi fixada pela ERSE. Segundo [8], um investimento entre 15 a 20 mil euros na instalação de unidades de μP , com a remuneração prevista, poderá esperar um retorno de 5000 euros anuais, readquirindo o seu investimento inicial entre 5 a 7 anos. Mais contidos são os ganhos disponibilizados pela APREN, que estima que um sistema destes a nível doméstico pode render, por ano, 800 a 1200 euros, já depois de paga a conta da luz. É importante também referir que segundo [8], em 10 a 20 anos, 5% da electricidade consumida em Portugal deverá basear-se em sistemas de produção descentralizada em energia de pequenas potências.

Para se começar a produzir electricidade a partir de casa, não existe apenas uma única solução standardizada. Existem, no mercado, diversas tecnologias disponíveis para a μP , podendo-se optar por uma, ou pela conjugação de várias, sendo a escolha determinada pela eficiência. Hoje em dia, é possível que cada um de nós utilize fontes alternativas de energia capazes de assegurar o bem-estar, sem comprometer o futuro [17].

As motivações para o aproveitamento da μP são as seguintes:

- Poderá alimentar 15% do consumo doméstico até 2050;
- Utiliza os recursos distribuídos contribuindo para a diminuição da dependência energética;
- É uma oportunidade para o desenvolvimento/aplicação de novas tecnologias e novos paradigmas no sector energético - “*power from the people*” [18].

Na μP , as vantagens são evidentes, nomeadamente a diminuição de perdas de transmissão e distribuição de energia eléctrica, assim como a redução da sobrecarga da RNT e consequente adiamento da necessidade de novos investimentos.

A μP de energia eléctrica tem vantagens significativas para o país e para os cidadãos. Para o país, de salientar vantagens evidentes na vertente energética e ambiental, como reduções da dependência energética nacional visto as energias renováveis serem endógenas, reduções das perdas de transmissão e distribuição pois a μP é distribuída, sendo a electricidade consumida no local onde é produzida. Outras vantagens são as diminuições das emissões de gases de efeito estufa, e o forte impulso ao solar térmico em edifícios existentes porque é obrigatória a instalação de painéis solares térmicos para beneficiar da μP .

A μP , também, apresenta vantagens sócio-económicas, tais como [19]:

- Desenvolvimento de uma indústria de serviços de energia, com criação de centenas de postos de trabalho em instalação e manutenção;
- Criação de fileiras industriais;
- Área com elevado potencial de crescimento e inovação e de exportação;
- Melhoria na balança comercial nacional, ao nível do efeito na importação de energia e da redução do pagamento de direitos de emissões de CO_2 .

Segundo [19], para os cidadãos, deve-se focar a redução da factura energética dos cidadãos (até 3000 euros de redução anual na factura energética), o retorno do investimento realizado em aproximadamente entre 5 a 7 anos e a sensibilização dos cidadãos para as questões de sustentabilidade. Importa referir ainda a contribuição individual dos cidadãos para os objectivos de política energética e ambiental, pois os cidadãos participam na produção de energias renováveis e na redução de gases de efeito de estufa.

Com o aparecimento da μP , as funções do produtor e consumidor deixam de ser funcionalidades fisicamente separadas pela intervenção de redes de transporte e distribuição, sendo os consumidores ao mesmo tempo produtores de energia eléctrica. Desta forma, surge um novo conjunto de consumidores que tem a possibilidade de abastecer parte ou totalidade das suas necessidades energéticas, podendo também entregar a produção excedente de energia eléctrica, resultando daí benefícios económicos importantes.

2.2 - Microprodução em Portugal

Para se ser produtor de energia eléctrica através de unidades de μP , utilizando recursos renováveis, como energias primárias, ou produzindo combinadamente electricidade e calor, é necessário dispor de contrato de energia eléctrica em BT, injectar menos de 50% da potência contratada (com excepção de condomínios), de um registo no SRM e produção integrada na instalação [20].

A μP teve uma penetração lenta em Portugal [21]. Com o Decreto-Lei 68/2002 de 25 de Março foi regulada a μP de electricidade, como a actividade de “produção independente de energia eléctrica em baixa tensão destinada predominantemente a consumo próprio, sem prejuízo de poder entregar a produção excedente a terceiros ou à rede pública”.

Com este enquadramento jurídico, definiu-se a actividade de produção com autoconsumo de energia eléctrica ou de energia eléctrica e térmica, onde pelo menos 50% da energia eléctrica produzida deve-se destinar a consumo próprio ou de terceiros, para fins domésticos, comerciais, industriais ou de prestação de serviços. A restante energia podia ser injectada na rede eléctrica desde que não apresentasse uma potência de entrega à rede superior a 150 kW, para o grupo II (com o grupo I limitado a 3,68 kVA).

No entanto, passados que são mais de cinco anos desde a entrada em vigor do referido decreto, constatou-se que o número de sistemas de microgeração de electricidade licenciados e a funcionar ao abrigo deste enquadramento legal não atingiu uma expressão significativa [7]. Este regime jurídico não foi, então, bem sucedido por ser economicamente inviável, e devido à sua burocracia e à falta de incentivos de financiar pequenas empresas [21].

Desta forma, em Portugal, a 2 de Novembro de 2007 foi publicado em Diário da República, o Decreto-Lei n.º 363/2007 referente à μP [7], que veio simplificar significativamente o regime de licenciamento existente, em que uma unidade de μP do grupo I corresponde a uma instalação de produção de electricidade monofásica, em BT, com potência de ligação até 5,75 kW [22]. Este decreto tem como objectivos a redução da dependência externa do abastecimento da energia eléctrica, a maior eficiência na geração local, a intensificação da

utilização das energias renováveis e o aumento da instalação de solares térmicos para o aquecimento da água [21].

Relacionado com o Decreto-Lei 363/2007, foi criado o Programa “Renováveis na Hora”, tratando-se de uma das medidas no plano para a política energética e alterações climáticas, apresentado em Fevereiro de 2008 pelo Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. O Programa pretende atingir a meta de 50 mil unidades de μP instaladas até 2010, com especial incentivo à instalação de colectores solares para aquecimento de água em habitações existentes [19].

Este novo decreto veio apresentar as seguintes particularidades [18]:

- Simplifica o regime de licenciamento existente, substituindo-o por um regime de simples registo, sujeito a inspecção de conformidade técnica;
- A entrega e a análise de projecto são substituídas pela criação de uma base de dados de elementos tipo preexistente (projectos tipo, equipamentos certificados, instaladores certificados) através de um simples registo electrónico;
- É criado o SRM, que constitui uma plataforma electrónica de interacção com os produtores;
- É ainda previsto um regime simplificado de facturação e de relacionamento comercial, evitando-se a emissão de facturas e acertos de IVA pelos particulares. O comercializador representa o produtor para este efeito;
- O microprodutor recebe ou paga através de uma única transacção, pelo valor líquido dos recebimentos relativos à electricidade produzida e dos pagamentos relativos à electricidade consumida.

2.3 - Enquadramento Legal da Microprodução

Nos últimos anos, Portugal tem-se mostrado como um país onde as políticas energéticas apresentam um papel relevante principalmente na utilização de energias renováveis para produção de energia eléctrica. Com a aprovação da actual legislação (Decreto-Lei nº363/2007, de 2 de Novembro), foi facilitado o acesso dos consumidores a este tipo de geração de energia, sendo possível tornarem-se microprodutores de energia eléctrica.

De salientar, que a partir de Fevereiro de 2008, um consumidor doméstico de energia eléctrica poderia ser ele próprio o produtor de energia eléctrica. As regras para o realizar foram definidas no referido decreto, que criou o regime das “Renováveis na Hora”. O novo regime refere-se à instalação de produção de electricidade monofásica em BT com potência até 5,75 kW (Unidades de grupo I), que utilizem recursos renováveis como energia primária ou que produzam, em cogeração, electricidade e calor.

O Decreto-Lei nº363/2007 constitui o regime jurídico que se destina à aplicação da μP em Portugal. Neste diploma são referidos e definidos variados aspectos, entre os quais os requisitos para o licenciamento das instalações, a função das diversas entidades envolvidas na μP (produtores, instaladores, EDP, DGEG, etc.) e o valor da tarifa subsidiada que se aplica a cada tecnologia de μP .

Nos termos deste enquadramento jurídico, o produtor pode instalar um equipamento de μP com uma potência máxima de 50% da potência contratada e de vender à RESP toda a energia eléctrica que produz, devendo para isso registar-se no SRM.

De referir que uma entidade ou um indivíduo pode instalar tantos sistemas de μP quantos os contratos de fornecimento de electricidade de que seja titular. Por exemplo, uma pessoa que tenha duas casas com contratos de electricidade activos pode instalar dois sistemas de μP independentes.

Os produtores entregam a totalidade da energia eléctrica produzida à RESP mediante dois regimes remuneratórios: Regime Geral e o Regime Bonificado. O primeiro é aplicável à generalidade das unidades de μP , enquanto o segundo aplica-se às unidades de μP com potência de ligação até 3,68 kW que utilizem fontes renováveis.

Relativamente ao Regime Geral, as condições de acesso aplicam-se a todas as entidades com acesso à actividade de μP , como já foi referido anteriormente. As condições de acesso a este regime são as seguintes [22]:

- Potência de ligação limitada a 50% da potência contratada com um máximo de 5,75 kW no caso de instalações não integradas em condomínios, situação em que esta limitação não é considerada;
- Instalações de μP integradas num condomínio, onde não foi realizada auditoria energética ou não foram implementadas as medidas de eficiência energética identificadas na auditoria;
- Restantes instalações onde não foram instalados colectores solares térmicos para aquecimento de água na instalação de consumo, com uma área mínima de 2 m² da área de colector, caso não esteja prevista a instalação de cogeração a biomassa a qual a existir deverá estar integrada no aquecimento do edifício;
- Produção de energia por cogeração com base em energia não renovável;
- Tarifa de venda aplicável é coincidente com a tarifa aplicada na instalação de consumo.

Como também já foi referido anteriormente, o Regime Bonificado aplica-se às unidades de μP com potência de ligação até 3,68 kW que utilizem fontes renováveis de energia (solar, eólica, hídrica, cogeração a biomassa ou pilhas de combustível, com base em hidrogénio proveniente de μP renovável) condicionado:

- À existência de colectores solares térmicos para aquecimento de água na instalação de consumo, no caso de produtores individuais, com um mínimo de 2 m² de área de colector;
- À realização de auditoria energética ao edifício e implementação de medidas, no caso de condomínios.

No Regime Bonificado, a potência de ligação registada é sujeita a um limite anual que no ano de 2008 foi de 10MW, sendo depois esse valor anual da potência de ligação registada acrescido anual e sucessivamente em 20%. Neste regime, a tarifa aplicável para todo o país

aos primeiros 10 MW de potência de ligação registados é de 650 €/MWh, ou seja, cada kWh produzido pode ser pago a 65 cêntimos, sendo sucessivamente reduzida em 5% para cada 10 MW adicionais de potência de ligação a nível nacional. A tarifa é válida para os primeiros cinco anos de exploração da instalação, aplicando-se anualmente nos dez anos seguintes, a tarifa correspondente à que seja aplicável a 1 de Janeiro desse ano às novas instalações equivalentes. Após este período, a tarifa do Regime Geral entra em vigor.

No entanto, o preço de venda final está dependente da tecnologia de produção empregue. A tarifa aplicável a cada tecnologia é definida em percentagem do valor de referência em vigor. As tecnologias de μP podem ser: solares fotovoltaicas, eólicas, hídricas, caldeiras a biomassa (com cogeração, ou seja, produção simultânea de calor e electricidade), pilhas de combustível com base em hidrogénio (desde que este seja produzido através de fontes renováveis) ou combinações das mesmas fontes.

Para se obter a tarifa de venda de energia do produtor ao comercializador é utilizada a equação seguinte:

$$T_V = \frac{LME_{PS}(T_R \times P_S) + LME_{RP}[0,7(T_R \times P_E) + 0,3T_R(P_H + P_B)]}{(LME_{PS} \times P_S) + LME_{RP}(P_E + P_H + P_B)} \quad (2.1)$$

Onde:

- T_V - Tarifa de venda;
- T_R - Tarifa de referência;
- P_S - Potência solar;
- P_E - Potência eólica;
- P_H - Potência hídrica;
- P_B - Potência biomassa;

Esta fórmula tem por base a média ponderada das percentagens individuais de cada fonte de energia utilizada, considerando como factor de ponderação os limites máximos anuais da energia vendida por tipo de produção, LME_{PS} (produção solar) e LME_{RP} (restantes produções) [22].

Considerando nulas P_H (produção hídrica) e P_B (potência de biomassa) e que os limites de produção fixados são os seguintes:

- LME_{PS} (produção solar) = 2,4 MW/ano por kW instalado;
- LME_{RP} (restantes produções) = 4,0 MW/ano por kW instalado.

Então a tarifa de venda aplicável a uma unidade de μP é:

$$T_V = \frac{2,4(T_R \times P_S) + 4,0[0,7(T_R \times P_E)]}{(2,4 \times P_S) + (4,0 \times P_E)} \quad (2.2)$$

A tabela 2.1 mostra as percentagens aplicáveis às diferentes tecnologias.

Tabela 2.1 - Tarifas de referência aplicáveis às diferentes tecnologias de μP [22].

Fonte	Taxa (%)	Tarifa (€/kWh)
Solar	100	0,650
Eólica	70	0,455
Hídrica	30	0,195
Cogeração e Biomassa	30	0,195
Pilhas de combustível com base em hidrogénio proveniente da microprodução renovável	Varia de acordo com a tecnologia renovável utilizada na produção de Hidrogénio	
Combinação de fontes de energia	Média ponderada das percentagens individuais correspondentes às diferentes tecnologias utilizadas	

Em Portugal, a maior parte das instalações de μP que têm sido construídas são do tipo FV (cerca de 95%), existindo somente uma pequena percentagem de micro-turbinas eólicas e de instalações híbridas [23].

2.4 - Tecnologias de Microprodução

Hoje em dia, a energia constitui um papel fundamental na evolução do mundo, pois o desenvolvimento dos países encontra-se cada vez mais dependente da energia. Contudo, o aumento do consumo implica um aumento na produção da energia, o que actualmente pode originar um enorme problema devido à grande dependência da produção de energia através de fontes não renováveis, nomeadamente o petróleo.

Por um lado a situação complica-se devido à prevista escassez do petróleo e à constante instabilidade no seu preço. Por outro lado, coloca-se o problema ambiental, que cada vez mais ganha força na luta pela procura de alternativas às fontes de energia que emitam gases de efeito de estufa, nomeadamente o petróleo e outras fontes que poluam de alguma forma o ambiente [5].

De forma a combater isto, procuram-se energias alternativas a estas com grande potencial, tais como as energias renováveis, amigas do ambiente. Os novos desenvolvimentos tecnológicos colaboraram para o aparecimento de várias tecnologias referentes à actividade de μP . De todas as tecnologias disponíveis, são de distinguir: os painéis solares fotovoltaicos, as micro-turbinas eólicas, as pilhas de combustível e as micro-turbinas a gás. A potência eléctrica disponível neste tipo de tecnologia de conversão de energia é em geral inferior a 100 kW, o que as torna adequadas para serem ligadas às redes de distribuição em BT [24].

De salientar que em Portugal, de todas as tecnologias de μP , as de origem solar apresentam um maior potencial de desenvolvimento, sendo nos últimos anos instaladas em grande número, devido aos factores já salientados. Todavia, as micro-turbinas eólicas, também, manifestam algum potencial de crescimento, tendo em conta as características do vento, predominantes especialmente na zona costeira de Portugal. Em seguida, são descritas as principais características das tecnologias de μP destacadas.

2.4.1 - Painéis Solares Fotovoltaicos

Este tipo de tecnologia de μP trata-se da solução mais rentável e, de longe, a mais utilizada. A tecnologia solar fotovoltaica utiliza painéis solares FV que aproveitam a energia solar convertendo directamente a radiação solar em electricidade através do efeito FV.

O princípio de funcionamento das células fotovoltaicas é bastante idêntico às junções p-n de um díodo. O efeito FV acontece em semicondutores, sendo estes caracterizados pela presença de bandas de energia onde é possível a presença de electrões (banda de valência), e de outra completamente “vazia” (banda de condução). O semiconductor mais utilizado é o Silício.

Os átomos do Silício caracterizam-se por possuírem quatro electrões de valência que formam ligações covalentes perfeitas com átomos de Silício vizinho. Estas ligações são muito fortes, pelo que é preciso muita energia de forma a libertar os electrões. Logo, uma estrutura constituída somente por Silício é por si um fraco condutor pelo que é necessário dopá-lo.

Na dopagem da camada do tipo n, introduzem-se átomos com cinco electrões de ligação, como por exemplo o Fósforo, formando-se ligações covalentes perfeitas com os quatro electrões do Silício. Como resultado, haverá um electrão em excesso que vai continuar ligado ao Fósforo através de uma ligação fraca, pelo que necessita de pouca energia para se libertar, movimentar e criar assim corrente eléctrica. Deste modo, designa-se o Fósforo por “dopante n”, visto que tem excesso de electrões.

Na dopagem da camada do tipo p, adicionam-se átomos com três electrões de ligação, como é o caso do Boro, formando-se assim ligações covalentes perfeitas com três electrões do Silício. Como resultado, irá faltar um electrão para efectuar as ligações com os átomos de Silício. Esta escassez é designada por lacuna, e assim a camada do tipo p tem excesso de lacunas. Diz-se que o Boro é um aceitador de electrões ou um “dopante p”.

Através da junção da camada do tipo p com a camada do tipo n resulta a junção p-n. Esta junção provoca a difusão dos electrões supérfluos do semiconductor n para o semiconductor p. Os electrões livres do lado n passam para o lado p onde encontram as lacunas que os capturam. Como resultado disto, ocorre uma acumulação de electrões no lado p, tornando-se negativamente carregado, e uma redução de electrões do lado n que o torna electricamente positivo.

Esta junção origina um campo eléctrico, já que se tem duas camadas (camada do tipo n com excesso de electrões e camada do tipo p com excesso de lacunas) com cargas opostas.

Este campo eléctrico em conjunto com a pouca energia necessária para libertar os electrões fracamente ligados da camada n provoca a criação do efeito FV, possibilitando desta forma converter a radiação solar em energia eléctrica. Este princípio de funcionamento pode ser visto na figura 2.1.

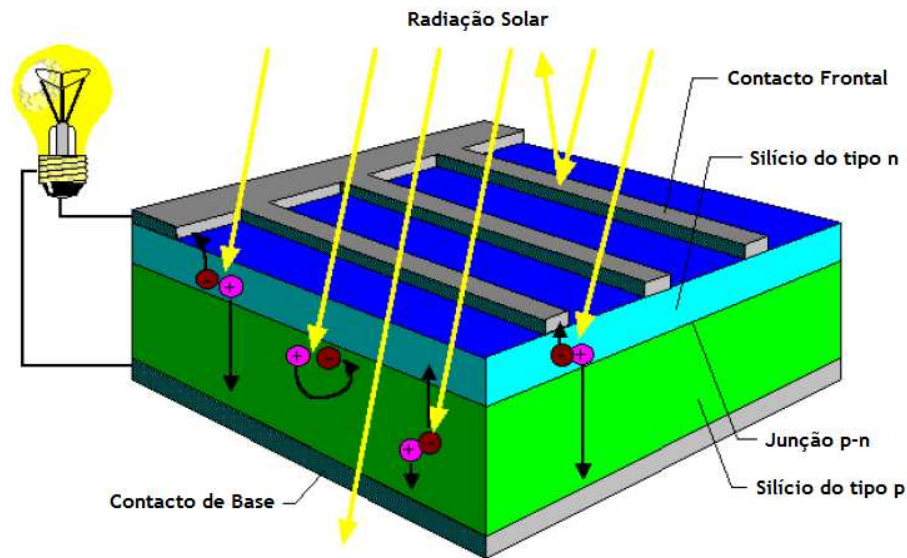


Figura 2.1 - Princípio de funcionamento de um painel FV [25].

A instalação dos painéis solares pode ser realizada em telhados, terraços ou no solo. Por cada kW de potência da instalação precisa-se cerca de 7 m² de painéis. De referir que para ser alcançada uma boa produtividade, os painéis solares devem estar orientados aproximadamente para Sul.

Pode ser utilizado um seguidor solar caso os painéis solares sejam instalados no solo, com o objectivo de aumentar a produtividade das instalações de μ P fotovoltaica até 25% [26]. Isto é conseguido, porque os seguidores solares orientam automaticamente os painéis FV na direcção do Sol, seguindo o seu movimento durante o dia.

O principal componente de um painel FV é a célula solar. Quando o Sol incide sobre a célula solar, ela é capaz de gerar uma tensão entre [0,5;1] V entre os terminais de circuito aberto, e um curto-circuito de algumas dezenas de miliamperes por cm². Desta forma, e como estes valores de tensão e corrente não são adequados para o uso da maior parte das nossas necessidades, estas células são ligadas em série ou paralelo formando módulos. Estes módulos podem, também, ser ligados em série ou paralelo podendo assim atingir tensões e correntes mais elevadas, originando os painéis FV [24]. A figura 2.2 ilustra a constituição dos painéis fotovoltaicos.

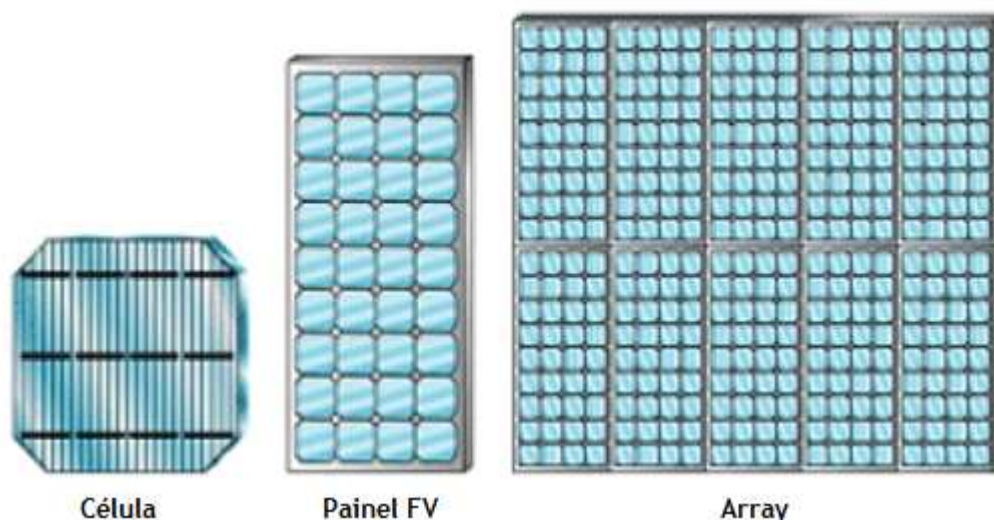


Figura 2.2 - Agrupamento de células solares para formar painéis FV ou arrays [27].

Nos painéis FV, a energia eléctrica é produzida em corrente contínua. No entanto a rede eléctrica pública funciona em corrente alternada. Desta forma, é necessária a utilização de um inversor que converte a corrente contínua em corrente alternada. O inversor utilizado deve apresentar um bom rendimento, para aproveitar o máximo da energia produzida.

Como vantagens, os sistemas de μP solar apresentam:

- Alta fiabilidade: não possui peças móveis, sendo por isso bastante útil para aplicações em locais isolados;
- Adaptabilidade dos módulos: possibilita montagens simples e adaptáveis a diversas necessidades energéticas;
- A energia gerada durante as horas de radiação pode ser armazenada em baterias para o seu aproveitamento durante as horas de inexistência de insolação;
- O custo de operação é reduzido e a manutenção é quase inexistente;
- A tecnologia fotovoltaica oferece vantagens ambientais, pois o produto final é não poluente, não perturba o ambiente e é silencioso.

No entanto, esta tecnologia de μP apresenta também algumas desvantagens, tais como:

- É necessária tecnologia muito sofisticada no fabrico dos módulos fotovoltaicos, o que provoca um custo de investimento elevado;
- Não produz energia eléctrica durante a noite;
- A eficiência de um módulo FV é reduzida (o limite teórico máximo numa célula de Silício Cristalino varia entre 25% a 28%), em relação ao custo do investimento;
- O custo de investimento da tecnologia fotovoltaica aumenta quando é preciso armazenar a energia sob a forma química (baterias).

2.4.2 - Micro-turbinas Eólicas

São designadas “micro-turbinas eólicas” os aerogeradores de menor potência. Tal como as de maior potência, estas aproveitam a energia cinética dos ventos, transformando-a inicialmente em energia mecânica de rotação e, em seguida, em energia eléctrica necessária à alimentação de diversas cargas, ou para ser entregue à rede eléctrica.

Os geradores eólicos podem ser divididos em dois grupos: pequenos geradores eólicos, com potências inferiores a 100 kW, e microgeradores eólicos, com potências inferiores a 5 kW.

O desenvolvimento da energia eólica vem adquirindo muita notoriedade em grandes parques eólicos, onde são frequentemente instalados aerogeradores com potências na ordem das centenas de kW até cerca de 5 MW [24]. Contudo, os pequenos geradores eólicos e os microgeradores eólicos têm vindo a ser ultimamente instalados, apresentando contribuições importantes no abastecimento de electricidade em áreas isoladas e também em áreas ligadas à rede. Tal como os sistemas FV, os pequenos geradores eólicos e microgeradores eólicos são uma outra opção para países que pretendam reduzir as mudanças climáticas e a dependência nacional dos combustíveis fósseis e dos combustíveis nucleares.

Os microgeradores eólicos são geralmente seleccionados de forma a atender as exigências de energia tendo em conta os recursos eólicos disponíveis. Os microgeradores com potências de 1 kW a 25 kW são vulgarmente integrados numa moradia com jardim ou numa quinta. No entanto, se a instalação for feita num telhado, a opção recai num microgerador eólico com potência inferior a 5 kW [24].

Muitas micro-turbinas eólicas são projectadas para serem montadas em cima dos telhados de edifícios, requerendo muitas características específicas que devem agradar as expectativas dos clientes e dos projectistas. Para tal, devem ser abordadas certas questões chave, tais como: nível de ruído, minimizar o impacto visual, apresentar uma operação fiável e respeitar com os requisitos de segurança [24]. Os microgeradores eólicos montados em pontos altos dos edifícios podem oferecer uma enorme oportunidade de produção de energia eléctrica no local, pois à medida que a distância ao solo aumenta, as velocidades do vento também aumentam. Todavia, é de salientar a eventual elevada turbulência no fluxo do vento em ambientes urbanos relativamente aos espaços abertos. A turbulência introduzida no ambiente de construção apresenta determinados efeitos negativos sobre os microgeradores eólicos, exigindo assim um projecto cuidadoso e instalações planeadas.

Os dois grandes tipos de turbinas eólicas são as de eixo horizontal e as de eixo vertical [28], sendo hoje em dia as turbinas eólicas com um eixo horizontal e três pás mais utilizadas para a geração de energia eléctrica. Isto deve-se ao facto do seu maior rendimento. No entanto, segundo [28], o mais importante não é o número de pás, mas sim a superfície varrida por estas, porque a energia que é produzida depende da densidade do ar, da área de varrimento das pás e da velocidade do vento. Existem, também, turbinas eólicas com duas pás ou apenas com uma pá, eventualmente com menor custo em material, contudo estas oferecem menor estabilidade à turbina eólica.

A figura 2.3 ilustra a principal diferença entre os dois grandes tipos de turbinas eólicas. As turbinas eólicas de eixo horizontal, possuem o seu eixo de rotação situado paralelamente à direcção do vento, como nos moinhos de vento tradicionais, enquanto nas turbinas de eixo vertical, as pás giram em torno de um eixo vertical, ou seja, o seu eixo de rotação está situado perpendicularmente à direcção do vento. Actualmente, as turbinas eólicas de eixo

vertical são pouco fabricadas. A grande vantagem deste tipo de turbina eólica é o facto de o gerador se encontrar na base e de poder captar os ventos sem necessidade de um mecanismo de orientação [28]. Porém, as pás, ao girarem em movimento de rotação em torno do eixo vertical, sujeitam-se às variações dos ângulos e deslocamentos do vento, que prejudicam o rendimento da turbina e criam vibrações em toda a sua estrutura.

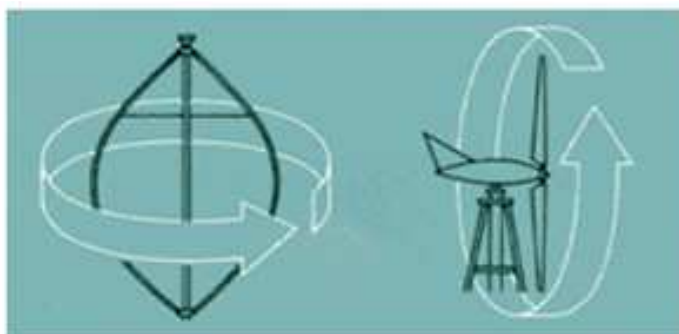


Figura 2.3 - Turbinas eólicas de eixo vertical (esquerda) e eixo horizontal (direita) [28].

Apesar da exploração da energia eólica não ser poluente e ser inesgotável, esta apresenta algumas desvantagens tais como: os elevados custos de instalação e manutenção, o ruído, o impacto visual, e a velocidade do vento ao longo do ano, podendo acarretar problemas na entrega de electricidade.

2.4.3 - Pilhas de Combustível

As pilhas de combustível são mecanismos electroquímicos que convertem a energia química contida nos diferentes combustíveis em energia eléctrica, através de reacções de oxidação-redução.

As células de combustível são constituídas por uma camada de electrólito em contacto com um ânodo e um cátodo de cada lado do electrólito. Estes eléctrodos (ânodo e cátodo) devem ser porosos para que seja possível a passagem dos gases até ao electrólito, ser impermeáveis ao electrólito e apresentarem propriedades que acelerem as reacções electroquímicas. O electrólito constitui uma barreira física para evitar a mistura directa do combustível e do oxidante. Este electrólito trata-se de um condutor iónico, sendo então composto por material que possibilita o fluxo de iões entre os eléctrodos, mas impede a passagem de electrões.

O ânodo é alimentado pelo combustível e o cátodo alimentado pelo oxidante. De referir que, o combustível é composto total ou parcialmente por hidrogénio, enquanto o oxidante é composto pelo oxigénio. O hidrogénio pode ser obtido através das seguintes fontes: electrólise da água, gás natural, metanol, propano ou outros derivados do petróleo como qualquer hidrocarboneto, ao passo que o oxigénio pode ser retirado do ar.

Na figura 2.4 pode-se verificar a representação do princípio de funcionamento de uma célula de combustível.

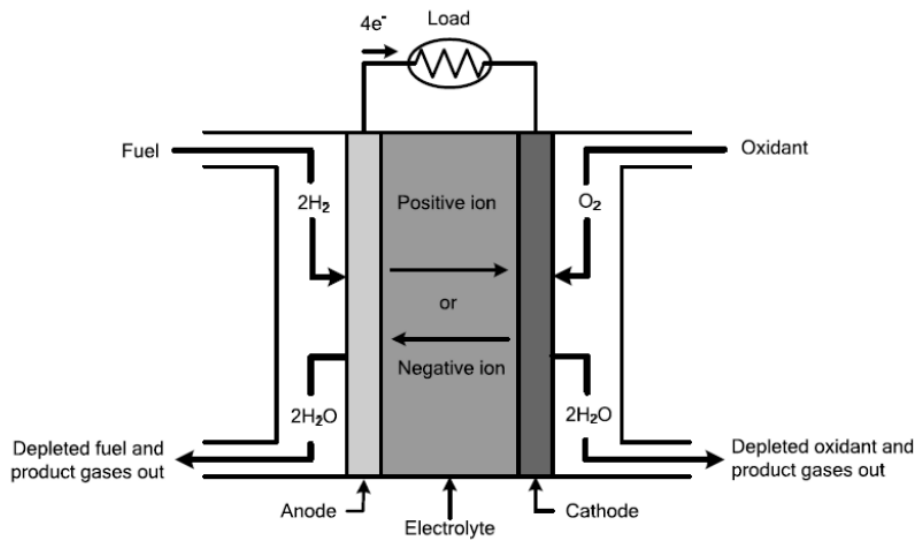
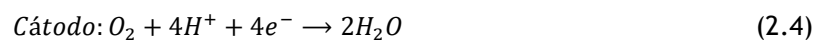


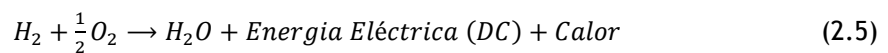
Figura 2.4 - Princípio de funcionamento de uma célula de combustível [24].

No caso mais simples em que o combustível é hidrogénio molecular, as reacções electroquímicas que ocorrem são as seguintes [29]:



Os electrões libertados pela separação das moléculas de hidrogénio no ânodo são captados pela placa de platina e conduzidos através de um circuito eléctrico até ao cátodo, originando uma corrente eléctrica contínua. Os iões (neste caso protões) são transferidos para o cátodo através do electrólito, onde se associam às moléculas de oxigénio formando moléculas de água [29].

Durante o processo de conversão da energia química do combustível em energia eléctrica, é libertado calor numa célula de combustível; uma parte da energia química não é transformada em energia eléctrica, e portanto o processo não apresenta um rendimento de 100%. A reacção química global do processo é a seguinte [29]:



Em sistemas de cogeração, o calor libertado pode ser aproveitado, o que faz aumentar o rendimento global. Hoje em dia são conhecidos cinco tipos diferentes de pilhas/células de combustível [29]:

- Pilha Alcalina (AFC);
- Pilha de Polímero Sólido (PEFC/PEM);
- Pilha de Ácido Fosfórico (PAFC);
- Pilha de Carbonato Fundido (MCFC);
- Pilha de Óxido Sólido (SOFC).

As células de combustível são identificadas pelo seu electrólito, e surgiram como sistemas viáveis. Cada classe de pilha de combustível difere nos materiais de construção, técnicas de fabricação e os requisitos do sistema. Na tabela 2.2 é apresentado um quadro resumo das características dos diversos tipos de pilhas.

Tabela 2.2 - Tipos de pilhas de combustível [29].

Tipo de fuel cell	Electrólito	Combustível	Oxidante	Ião Cond.	Temperatura de funcionamento [°C]	Rendimento eléctrico [% PCI]	Dimensão típica
AFC	KOH (hidróxido de potássio)	H ₂ puro	Ar + H ₂ O (s/CO ₂)	OH ⁻	60 - 90	55 - 60	< 7 kW
PEFC / PEM	Membrana de polímero	H ₂ puro	Ar (s/CO)	H ⁺	70 - 90	35 - 45	5 - 250 kW
PAFC	Ácido fosfórico	H ₂	Ar (s/CO)	H ⁺	200	35 - 45	200 kW
MCFC	Lítium, potássio, carbonato fundido	CH ₄ , H ₂ , CO	Ar + CO ₂	CO ₃ ²⁻	600 - 650	45 - 55	2 - 3 MW
SOFC	Óxidos de Ytria e Zircónio	CH ₄ , H ₂ , CO	Ar	O ²⁻	800 - 1000	45 - 55	Tubular: 100-5000 kW Planar: 50-100 kW

Como principais vantagens associadas a este tipo de tecnologias, é importante referir:

- As pilhas de combustível são geralmente mais eficientes do que os motores de combustão, visto produzirem energia eléctrica sem a transformação intermediária em energia térmica;
- São essencialmente simples;
- As pilhas de combustível que utilizam hidrogénio e ar produzem só água como subproduto. Quando são alimentadas por hidrocarbonetos, geram menos CO₂ que os motores de combustão. Desta forma, contribuem para a redução dos gases que originam o efeito estufa, e diminuem a poluição atmosférica;
- Como não possuem peças móveis, sofrem menos desgaste e precisam de menos manutenção, reduzindo-se assim os custos e aumentando a disponibilidade do equipamento;
- Flexibilidade, pois podem funcionar com diversos combustíveis além do hidrogénio;
- Durante o processo de funcionamento da pilha de combustível produz-se uma quantidade significativa de calor, que pode ser aproveitado para produzir vapor ou água quente, permitindo assim uma optimização da eficiência do sistema, nomeadamente em sistema de cogeração.

Como principais desvantagens, são de salientar: os problemas e os custos relacionados com o transporte e distribuição de novos combustíveis como, por exemplo, o hidrogénio; o elevado custo comparativamente com as fontes de energia convencionais; e os interesses económicos associados às indústrias de combustíveis fósseis e aos países industrializados.

2.4.4 - Micro-turbinas

O desenvolvimento tecnológico das micro-turbinas tem vindo a evoluir rapidamente na última década, provocado principalmente pelo aparecimento de novos materiais mais resistentes e capazes de suportar grandes temperaturas.

Segundo [30], o termo “micro-turbina” refere-se em geral a um sistema de dimensões relativamente reduzidas composto por compressor, câmara de combustão, turbina e gerador eléctrico, com uma potência total disponível não superior a 250 kW. Para sistemas semelhantes mas com potências entre 250 kW e 1 MW é usualmente usado o termo “mini-turbina”.

A maior parte das micro-turbinas disponíveis no mercado apresentam como principal função a produção de energia eléctrica, podendo funcionar em cogeração através da utilização de equipamento adicional. Nas micro-turbinas com recuperador de calor, o rendimento eléctrico atingido é da ordem dos 30%, enquanto nos sistemas de cogeração o rendimento global pode atingir mais de 80% [30].

As micro-turbinas são uma força versátil e fiável, e uma fonte de geração adequada para variadas aplicações, devido ao seu baixo nível de emissões e de requisitos de manutenção. Segundo [31], este tipo de tecnologia pode ser aplicada em: hospitais, aproveitamentos de biomassa, cogeração, sistemas de emergência (arranque rápido), sistemas isolados, e produção em horas de ponta para regularização tarifária. As micro-turbinas funcionam com diversos combustíveis: Gás Natural, Gás Propano Liquefeito (GPL), Biogás, Gasóleo e Querosene.

Existem dois tipos de micro-turbinas: de veio simples e de veio duplo. Relativamente à micro-turbina de veio simples (“*single-shaft*”), o compressor, a turbina e o gerador eléctrico são montados no mesmo eixo de rotação que gira a uma velocidade muito elevada. Tipicamente o veio funciona a uma velocidade na ordem das 70000 - 90000 rpm, produzindo electricidade em corrente alternada com frequência elevada. Esta corrente alternada é primeiro rectificada para corrente contínua, sendo de seguida invertida novamente para corrente alternada, mas desta vez com uma frequência de 50 ou 60 Hz, pronta a ser utilizada [30].

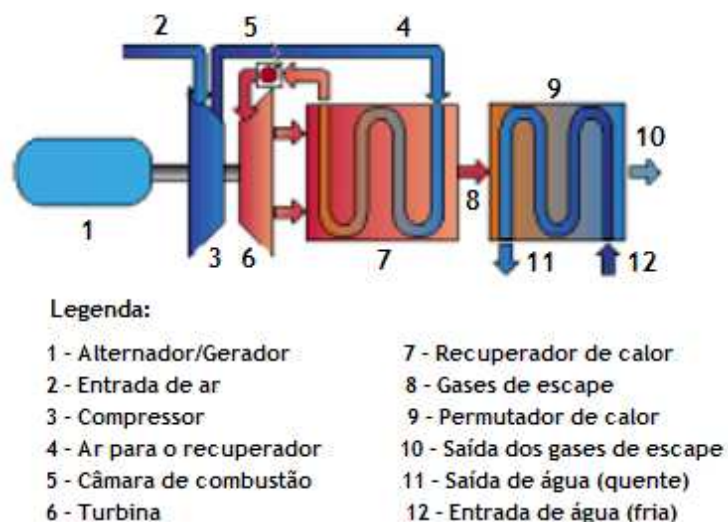


Figura 2.5 - Esquema de uma micro-turbina com um único veio [30].

Na micro-turbina com dois veios (“*split-shaft*”), o compressor e o gerador não estão directamente acoplados no mesmo veio. Esta configuração compreende duas turbinas.

Num eixo existe uma turbina para accionar o compressor, e no outro eixo existe uma turbina para accionar o gerador eléctrico. Os gases de escape da turbina do compressor são utilizados para alimentar o gerador da turbina. O gás de escape é usado num recuperador para pré-aquecer o ar que sai do compressor. Neste tipo de micro-turbina, os eixos podem girar a velocidades mais baixas [24].

A tabela 2.3 apresenta as vantagens e desvantagens associadas a cada configuração.

Tabela 2.3 - Vantagens e desvantagens associadas às configurações das micro-turbinas [30].

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
1 Veio	➤ Menor número de peças móveis; ➤ Elimina a necessidade de uma caixa de velocidades; ➤ Funcionamento menos ruidoso.	➤ Compromisso entre as necessidades da turbina e de uma carga eléctrica bem definida.
2 Veios	➤ Flexibilidade em combinar a turbina e a carga eléctrica exigida; ➤ Menores esforços mecânicos; ➤ Vida útil mais prolongada.	➤ Maior número de peças móveis; ➤ Necessidade de uma caixa de velocidades; ➤ Geralmente tem um custo superior.

2.5 - Perfis de Microprodução

Os perfis de μP são construídos com o objectivo de caracterizar os comportamentos típicos da μP em função da hora do dia, da época do ano (sazonalidade), da zona geográfica, etc.

Tal como os perfis de carga, os perfis de μP poderão ser usados na melhoria das estimativas das curvas de carga associadas a determinada carteira de clientes. Estes perfis podem igualmente ser enquadrados no procedimento de acerto de contas e, também, no processo de estimação do diagrama global da distribuição, podendo fornecer melhores estratégias de comercialização e melhorar a eficiência do planeamento.

Os microprodutores de energia eléctrica de diferentes tipos e características manifestam comportamentos de μP diferentes, que variam, em princípio, com a hora do dia, o dia do ano, a época e estação do ano, e a zona geográfica.

Os perfis de μP de origem solar e eólica são influenciados pelas condições naturais, nomeadamente a radiação solar para os sistemas FV e a velocidade do vento para as micro-eólicas. Assim, a contribuição de uma tecnologia de microgeração para a adequação da geração tende a apresentar variações sazonais e diárias.

A procura de conhecimento relativo à forma como se comportam os diferentes tipos de microprodutores, levou à realização de alguns estudos que procuram criar e caracterizar perfis típicos de μP , e representar os diferentes padrões de μP de energia eléctrica através de um conjunto de registos.

Um perfil típico de μP pode ser definido como o padrão esperado de μP de energia eléctrica por parte de um microprodutor-consumidor, durante um determinado período de tempo. Esses perfis são vulgarmente determinados para representar o diagrama de μP diário, correspondente a cada dia do ano. Normalmente, os perfis são anuais.

Como já foi referido, as tecnologias de μP mais importantes nos últimos anos, são a solar e a eólica, como se pode verificar na figura 2.6.

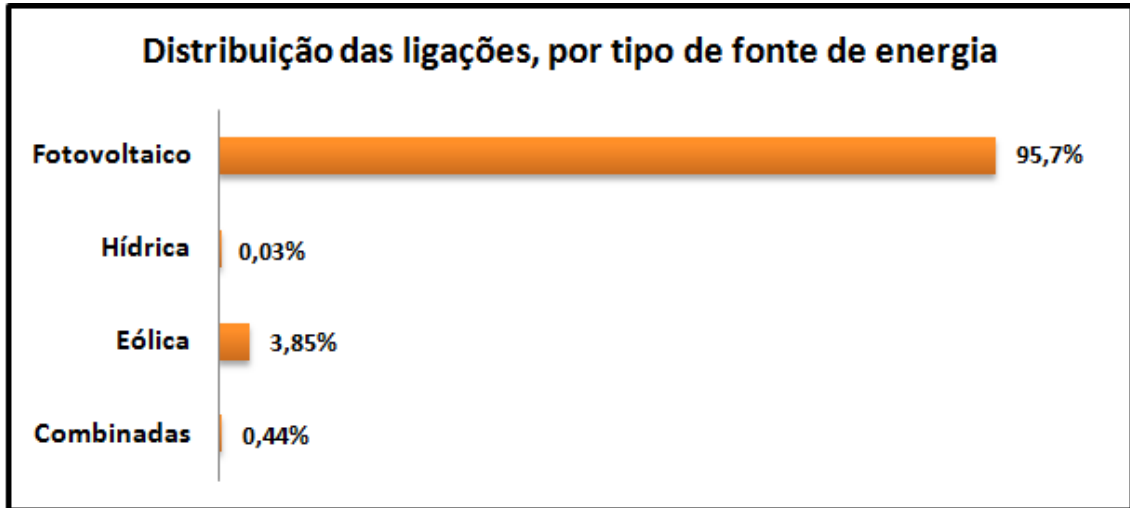


Figura 2.6 - Distribuição das diferentes tecnologias de μP instaladas em Portugal até Outubro de 2009 (Fonte: EDP).

Observando a figura 2.6, pode-se constatar que a produção de electricidade via sistemas solares é na larga maioria utilizada em Portugal, havendo uma pequena percentagem de micro-eólicas. Isto acontece, visto a μP solar fotovoltaica ser a mais viável, uma vez que pode ser instalada em qualquer edifício desde que seja possível uma exposição orientada para Sul, e também devido ao facto da solar ser a energia com melhor remuneração. Segundo [8], a micro-eólica está, ainda, a percorrer um grande caminho na melhoria das condições técnicas e comerciais dos geradores eólicos. É nas zonas rurais de montanha e Litoral de Portugal que esta tecnologia poderá obter melhores resultados. Desta forma, na realização desta dissertação foram considerados dois perfis: um para a μP de origem solar e outro para a μP de origem eólica.

Os perfis de μP são construídos com base em valores de uma amostra, medidos por aparelhos de telecontagem instalados nas unidades de μP . Estes valores referem-se às produções de origem solar e eólica em diferentes localidades ao longo do ano, para intervalos de 15 minutos, visto os contadores (telecontagem) serem programados nestes casos, por imposição regulamentar, para estes intervalos de tempo.

Os perfis de μP representam o comportamento esperado para uma dada hora do dia, ou seja, uma estimativa da forma como se distribui a μP de energia eléctrica ao longo do dia, mês ou ano.

2.6 - Síntese de Estudos Realizados por Outros Autores

MacDonald, em [32] apresenta um estudo do impacto de penetração de microgeração de electricidade para 2020 no Reino Unido. Para tal foram examinados os níveis de penetração de microgeração, os perfis típicos de microgeração e os perfis típicos da carga.

MacDonald sugere, ainda, que os perfis de microgeração são necessários para a correlação com os perfis típicos da carga a fim de se estabelecer a importação/exportação líquida em vários níveis na rede. Para que este objectivo fosse alcançado, foram efectuadas as seguintes etapas:

- As saídas típicas de microgeração foram definidas durante um período de 24 horas, ao nível do consumidor individual doméstico, para três períodos do ano: Inverno, Verão e um período intermediário;
- Cálculo de um conjunto de perfis típicos de carga, representativos deste sector da actividade do mercado da electricidade;
- Os perfis adequados de microgeração são sobrepostos com os perfis de carga para identificar o pico de importação/exportação dos níveis de energia no ano.

Neste estudo foram considerados os perfis de microgeração das seguintes tecnologias: micro-cogeração, painéis FV, micro-eólicas e micro-hídrica.

Na micro-cogeração, a produção de electricidade depende do aquecimento e da carga de água quente nas instalações, e vários fabricantes podem adoptar estratégias diferentes de controlo para maximizar a eficiência e minimizar os custos. Para a determinação dos perfis de micro-cogeração é realçada a limitação de ensaios deste tipo de tecnologia para se estabelecer os diagramas típicos de produção. Foram considerados certos pressupostos com o objectivo de reduzir a micro-cogeração em outras épocas do ano. Estas suposições são guiadas por típicas variações anuais na procura de gás. A figura 2.7 resume o princípio de micro-cogeração eléctrica ao longo de várias estações do ano, com base numa avaliação teórica de micro-cogeração de 1,1 kW.

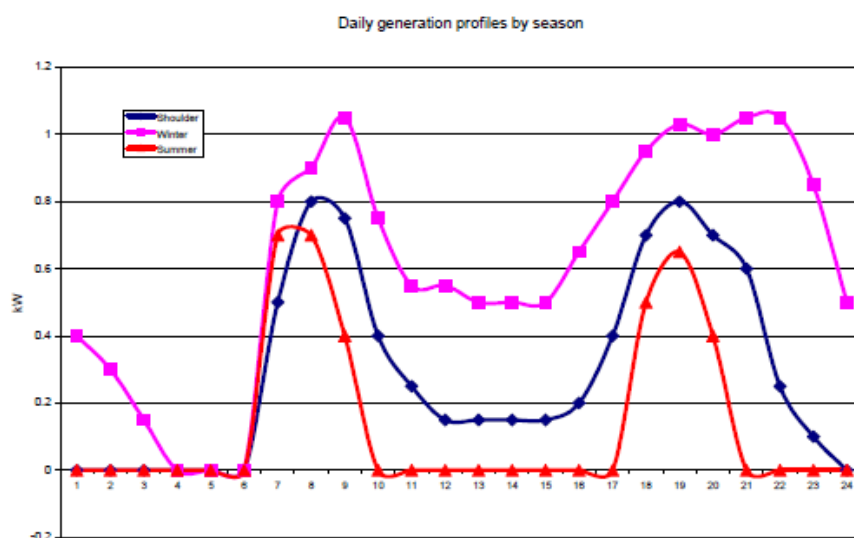


Figura 2.7 - Perfis diários para a micro-cogeração [32].

Relativamente aos perfis de microgeração de origem solar (figura 2.8), concluiu-se que a potência nominal do painel FV foi atingida somente num dia ideal de Verão. Relativamente às outras épocas do ano, os valores de microgeração reflectem uma redução da intensidade e da duração da luz solar. Após o estudo, foi concluído que em 2020 é esperado um avanço tecnológico que reduz os custos fotovoltaicos, ou um incentivo que aumente a difusão.

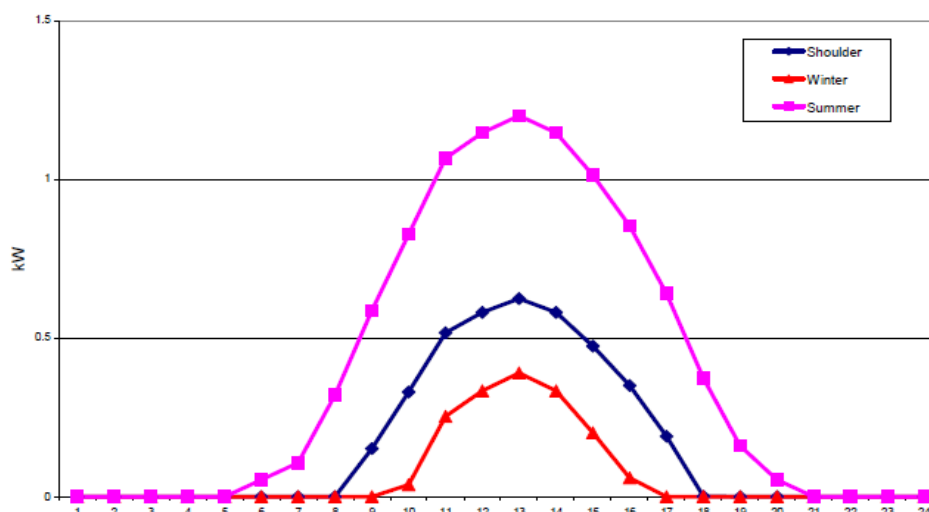


Figura 2.8 - Perfis diários para microprodução solar [32].

Neste estudo, foram considerados pequenos geradores eólicos com um valor nominal máximo de produção da ordem de 1 kW para os mercados doméstico e comercial. Visto que estes microgeradores eólicos não apresentam os mecanismos de travagem e difusão de unidades maiores, eles irão funcionar numa ampla gama de velocidades do vento, e prevê-se que a produção máxima ocorra a uma velocidade do vento relativamente elevada, que só acontece raramente.

Relativamente à avaliação do impacto das instalações de micro-hídricas sobre a rede de distribuição, verificou-se que a produção de micro-hídrica deverá variar de 100% num ano húmido a 30% num ano seco, relativamente à potência nominal da instalação. A produção de micro-hídrica será tipicamente *"run-of-river"*, com a sua produção dependendo da disponibilidade dos recursos hídricos da região em questão e das necessidades da comunidade, bem como da precipitação local e do armazenamento eficiente da bacia hidrográfica.

Nos trabalhos realizados por Cao em [33], são avaliados os impactos da microgeração nas redes do Reino Unido e da Finlândia sobre a redução de perdas na rede de BT. As avaliações foram realizadas considerando as seguintes tecnologias de microgeração: micro-cogeração, painéis FV e micro-hídrica.

No Reino Unido, foram estudados e analisados apenas a micro-cogeração e a produção através de painéis solares, porque os perfis típicos diários e sazonais de μP podem ser usados para estas duas tecnologias.

Em primeiro lugar, foi analisado a tecnologia de micro-cogeração. A figura 2.9 ilustra o perfil de geração normalizada da micro-cogeração usado no estudo, onde se assumiu que a produção de micro-cogeração é nula durante o Verão.

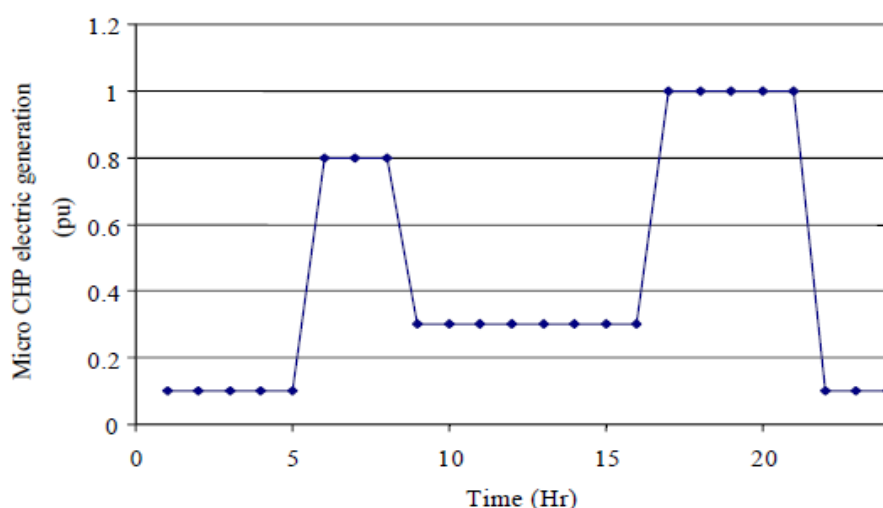


Figura 2.9 - Perfil da produção normalizada de micro-cogeração (p.u.) [33].

Como conclusão, determinou-se que o aumento da proporção de clientes que utilizam a tecnologia de micro-cogeração provoca uma redução significativa das perdas de energia. Esta redução é importante porque a produção máxima de micro-cogeração ocorre no momento da alta procura dos clientes, diminuindo a transferência de potência na rede de distribuição em períodos de alta procura.

Posteriormente, foi analisada a μP de origem solar, onde a figura 2.10 descreve o perfil de geração normalizada de origem solar utilizada no estudo para modelar a μP de origem solar. Neste estudo, supôs-se que os clientes teriam um módulo FV com uma capacidade de 1kW.

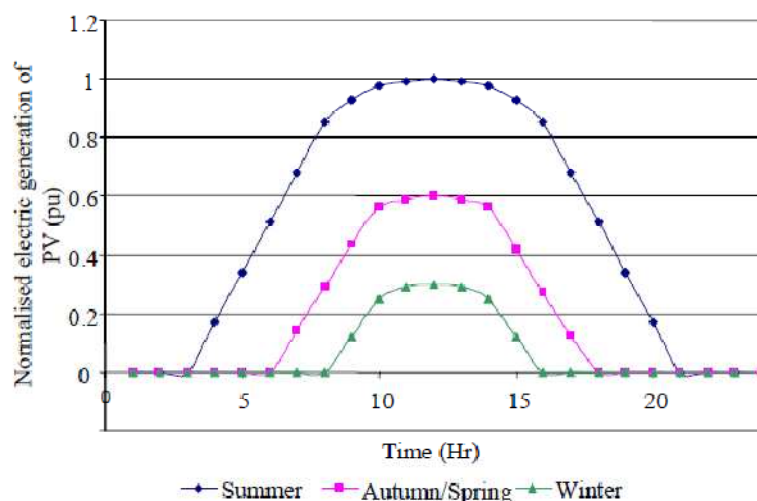


Figura 2.10 - Perfil da produção normalizada de origem solar (p.u.) [33].

Realizado o estudo, conclui-se que o impacto dos painéis FV sobre as perdas e sobre a oferta da capacidade de rede é menos significativa que o impacto da micro-cogeração. Na verdade, no Reino Unido os painéis FV produzem energia eléctrica em períodos de baixa procura (no Verão durante o dia), e não durante os picos de procura, como as noites das

semanas de Inverno. Portanto, o fluxo máximo que entra na rede de distribuição não é muito afectado pela instalação dos painéis FV, e mesmo se as perdas diminuíssem com penetrações mais elevadas de painéis solares, a redução não seria significativa.

Relativamente à Finlândia, os estudos foram realizados a partir da utilização dos perfis de produção de mini-hídrica, visto que é muito utilizado em áreas rurais devido à disponibilidade da energia hídrica a partir de pequenos rios. O perfil utilizado é mostrado na figura 2.11, onde se concluiu que a tecnologia micro-hídrica não reduz apenas o caudal máximo, mas também as perdas na rede de distribuição. Isto deve-se ao facto do pico de produção hídrica coincidir com o pico de consumo.

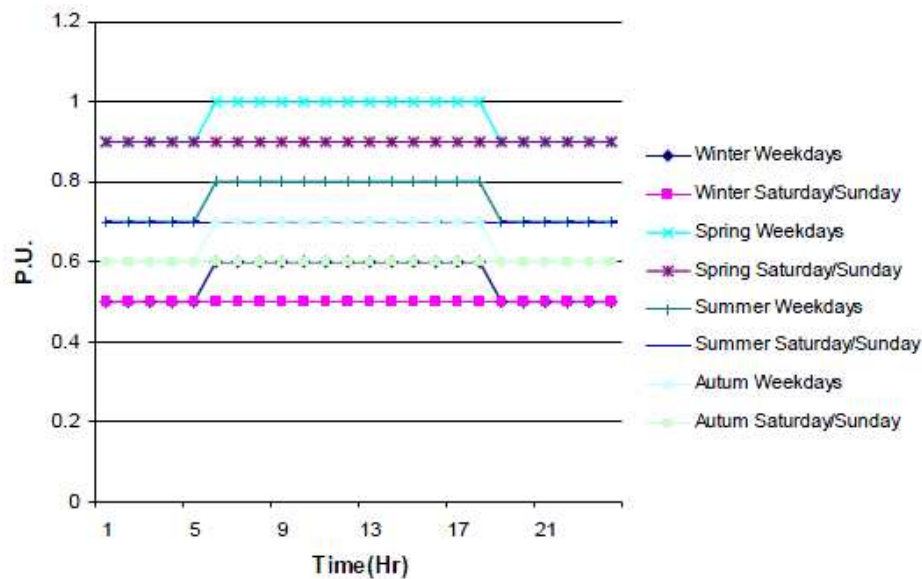


Figura 2.11 - Perfil da produção normalizada da micro-hídrica (p.u.) [33].

Comparando os impactos da microgeração nas duas redes, foi concluído que a tecnologia micro-hídrica da Finlândia tem o mesmo efeito na rede que a tecnologia de micro-cogeração do Reino Unido.

Em [34] é exposto um estudo da contribuição positiva da microgeração para a segurança do abastecimento de energia de um sistema eléctrico. Estas melhorias aumentam a capacidade de produção disponível, e são influenciadas pelas características das tecnologias de microgeração, nomeadamente sobre os seus perfis de geração e as correlações entre os perfis e o comportamento da carga do sistema. Por outro lado, os perfis de microgeração são influenciados pelas condições naturais, nomeadamente a radiação solar para sistemas FV, a velocidade do vento para as micro-eólicas, e a temperatura ambiente para os sistemas de micro-cogeração. Desta forma, a contribuição de uma tecnologia de microgeração para a adequação da geração tende a apresentar variações sazonais e diárias.

A fim de avaliar a contribuição da microgeração, é apresentada uma abordagem probabilística baseada num processo de Simulação de Monte Carlo. Este processo, também, pôde ser utilizado com a finalidade de avaliar os índices de confiabilidade de um sistema de energia que inclua a microgeração. A fim de explicar o comportamento dos perfis de microgeração, dividiu-se o ano em vários períodos (cenários), permitindo esclarecer as dependências potenciais entre a carga sazonal e diária. Essas dependências resultam da

influência de aspectos climatéricos (radiação solar, velocidade do vento e temperatura ambiente) e temporais (hora do dia, o dia do ano e época do ano) sobre a carga do sistema e sobre os perfis de microgeração.

É referido, ainda, que a definição dos cenários está, então, condicionada pelo comportamento temporal do factor de capacidade de cada tecnologia de microgeração, que é influenciado por vários aspectos, principalmente:

- A disponibilidade de recursos primários (velocidade do vento e radiação solar), no caso de micro-eólica e de painéis FV;
- As necessidades de calor no caso de sistemas de micro-cogeração;
- As características e o modo de funcionamento das diferentes tecnologias de microgeração (eficácia, estratégias de controlo, etc.);

A metodologia desenvolvida foi aplicada a um sistema que apresenta uma dimensão idêntica a um sistema Português, nomeadamente um nível de carga semelhante. Os índices de adequação, de um caso base, sem a microgeração, foram comparados com os índices associados a várias penetrações de diferentes tecnologias de microgeração (micro-cogeração, microgeração de origem solar e micro-eólica).

Como conclusão, foi salientado que as diferentes tecnologias de microgeração contribuem de forma diferente para a segurança do abastecimento do sistema eléctrico de energia.

Capítulo 3

Metodologia

Este capítulo descreve de forma objectiva e clara todos os procedimentos efectuados na determinação e construção dos perfis típicos de μP para todo o ano de 2010. Pretende-se, que no final do capítulo, sejam perceptíveis todas as opções tomadas, e que se possa utilizar este documento como guia para a construção e determinação de perfis de μP para os anos seguintes.

Um perfil de μP pode ser definido como um padrão de produção de electricidade para um microprodutor, ou grupo de microprodutores, durante um determinado período de tempo.

A construção dos perfis típicos de μP pretende caracterizar os comportamentos típicos da μP em função da hora do dia, da época do ano, da zona geográfica, etc. Os diversos tipos de microprodutores de electricidade apresentam comportamentos de μP diferentes. Estes comportamentos podem variar com a hora do dia, a época e estação do ano, e com a zona geográfica.

Como já foi referido no capítulo 2, são determinados os perfis típicos de μP de origem solar e de origem eólica. Este capítulo apresenta a metodologia para cada caso.

Para a determinação dos perfis típicos de μP de origem solar, a metodologia é estruturada em quatro fases:

- FASE 1 - Tratamento inicial da informação: Campanha de medição, Organização, Filtragem, Completamento e Pré-processamento dos dados;
- FASE 2 - Determinação dos diagramas típicos mensais. Reajuste destes diagramas;
- FASE 3 - Suavização;
- FASE 4 - Normalização e realização dos últimos passos para a construção e a determinação dos perfis típicos de μP solar.

Relativamente aos perfis de μP de origem eólica, a metodologia é organizada em quatro fases:

- FASE 1 - Tratamento inicial da informação: Campanha de medição, Organização, Filtragem, Completamento e Pré-processamento dos dados;
- FASE 2 - Determinação dos diagramas típicos mensais. Normalização;
- FASE 3 - Atribuição de “pesos”;
- FASE 4 - Determinação dos perfis típicos de μP eólica.

Como a primeira fase correspondente à metodologia para determinação dos perfis de μP solar é praticamente semelhante à primeira fase da metodologia dos perfis de μP eólica, em seguida é descrita de forma conjunta esta fase de ambas a metodologias, sendo salientadas as pequenas diferenças, os diferentes procedimentos, métodos e técnicas a utilizar entre os dois casos. Importa referir que as diversas etapas correspondentes a este tratamento inicial são aplicadas na amostra de dados disponibilizada respectiva à μP de origem solar, e nas amostras de dados disponibilizadas correspondentes à produção de origem eólica.

3.1 - Tratamento Inicial da Informação

Esta fase trata-se de um processo longo e que pode ser dividido em várias etapas. Com o objectivo de tornar mais claro este processo, em seguida apresenta-se um esquema representativo das várias etapas desta fase.

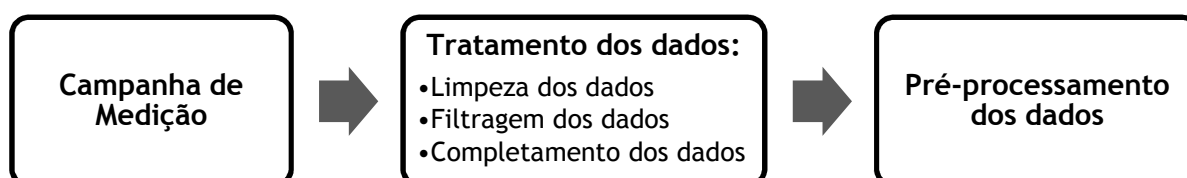


Figura 3.1 - Esquema representativo das etapas do Tratamento Inicial da Informação.

A realização destas etapas é essencial para que se adquira uma base de dados consistente, como o objectivo de não afectar as fases seguintes do processo de determinação dos perfis típicos de μP .

3.1.1 - Campanha de Medição

Para se obter os dados para o estudo da μP , é necessário especificar uma determinada amostra de microprodutores a estudar, e recolher e tratar a informação dessa amostra. Geralmente, pretende-se que o período referido seja o maior possível (no mínimo 12 meses), para que seja possível apurar alterações sazonais.

Em primeiro lugar, deve ser criado o procedimento de recolha dos dados através dos seguintes parâmetros:

- Período total da recolha dos dados (dias, meses ou anos);
- Cadência da recolha dos dados (por exemplo 5, 15 ou 30 minutos, ou uma hora). Neste caso, os contadores (telecontagem) são programados, por exigência regulamentar, para registar a produção de 15 em 15 minutos;
- Grandezas relevantes para o estudo da μP , tal como a Potência Instalada que servirá como termo de normalização, para permitir comparar produções normalizadas.

A amostra de microprodutores que vai ser estudada terá que ser definida. A amostra escolhida, de dimensão M (número de microprodutores da amostra), deverá representar a totalidade dos microprodutores que se pretende estudar.

O resultado da agregação das campanhas de medição será uma base de dados de grande dimensão constituída por toda a informação recolhida para cada um dos produtores correspondentes à amostra μP de origem solar e à amostra eólica.

Assim, para cada microprodutor tem-se um conjunto de dados recolhidos em função da cadência estabelecida, ao longo do período de tempo de estudo. Estes dados equivalem aos diagramas diários de μP de energia eléctrica para o número de dias em que se recolheu a informação. Os registos podem ser influenciados pela época do ano, hora do dia, zona geográfica e condições meteorológicas.

3.1.2 - Tratamento dos Dados

A prática tem demonstrado que existem por vezes problemas com os valores registados. Frequentemente os valores registados no mundo real encontram-se incompletos, afectados com ruído e inconsistentes. O uso de registos reais, adquiridos e armazenados de forma automática devia estar sujeito a procedimentos de detecção e filtragem de registos anómalos. Este procedimento, normalmente designado por limpeza dos dados, é muitas vezes ultrapassado. Contudo, a limpeza dos dados é importante para identificar dados anómalos, preencher dados ausentes, identificar inconsistências e remover o ruído.

Os dados anómalos podem ter origem nos sistemas de medição, no processo de comunicação, ou devido à ocorrência de contingências ou condições insólitas.

No processo de filtragem dos dados, uma parte dos dados anómalos pode ser detectada e eliminada, podendo-se igualmente colmatar falhas de registo, determinando os dados em

falta. Como técnicas de filtragem dos dados, podem ser salientadas a filtragem difusa (*Fuzzy Filtering*) e as Redes Neurais, que são utilizadas em situações mais complexas.

Em [35] são apresentados estudos de estimação de estados que usam e descrevem metodologias de detecção de dados anómalos.

Estas técnicas são utilizadas sobretudo quando a duração das anomalias é grande ou quando o processo de filtragem é complexo. No estudo presente, optou-se por realizar uma pesquisa inicial para avaliar a duração típica das anomalias, tendo-se verificado que normalmente não ultrapassavam as duas horas, para os casos solar e eólico. Desta forma, não é necessário utilizar tais técnicas de filtragem de dados, visto a duração das anomalias, detectadas no conjunto inicial de registos, não ser muito grande.

Quando são encontrados dados anómalos neste pequeno período de tempo, foi necessário desenvolver uma estratégia que substitua estes dados. Esta estratégia baseia-se num algoritmo em que se realiza a substituição da anomalia pela média dos dados imediatamente antecedentes e consequentes.

Nas figuras 3.2 e 3.3, podem-se verificar o motivo de ser necessário realizar a filtragem de dados, pois em determinados instantes ocorrem dados anómalos. Como se pode observar, foram registados valores nulos de potência. No entanto, para os instantes antecedentes e seguintes foram registados valores de produção de energia eléctrica. Estes acontecimentos devem-se a problemas de comunicações, como já foi atrás referido. Os aparelhos de telecontagem deviam ser supostamente mais sofisticados para que situações como estas fossem evitadas.

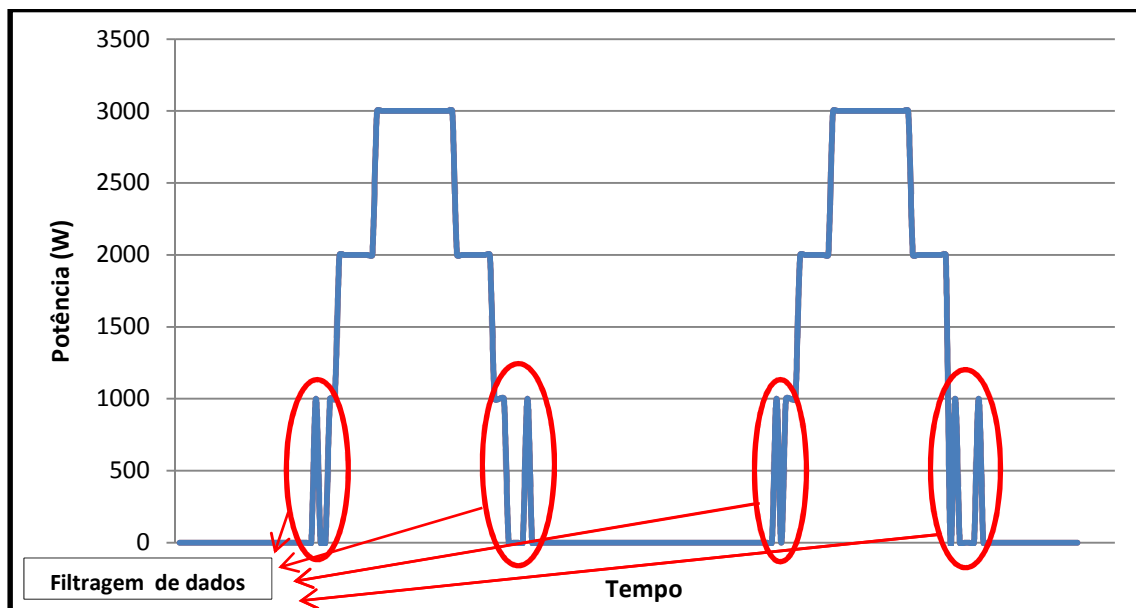


Figura 3.2 - Exemplo do motivo da aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor solar.

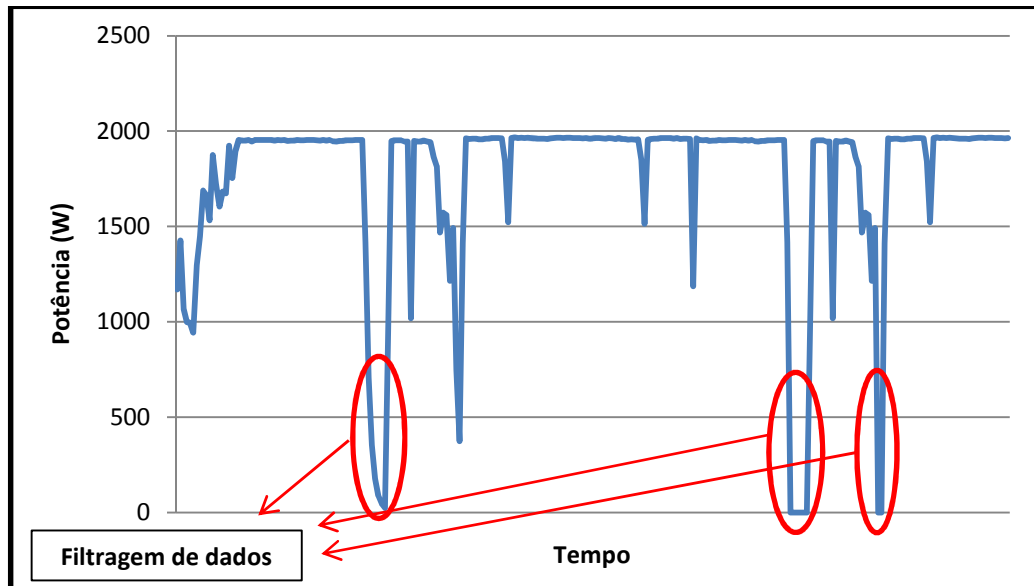


Figura 3.3 - Exemplo do motivo da aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor eólico.

Nas figuras 3.4 e 3.5, podem-se observar os resultados finais após a realização da estratégia desenvolvida para filtragem de dados.

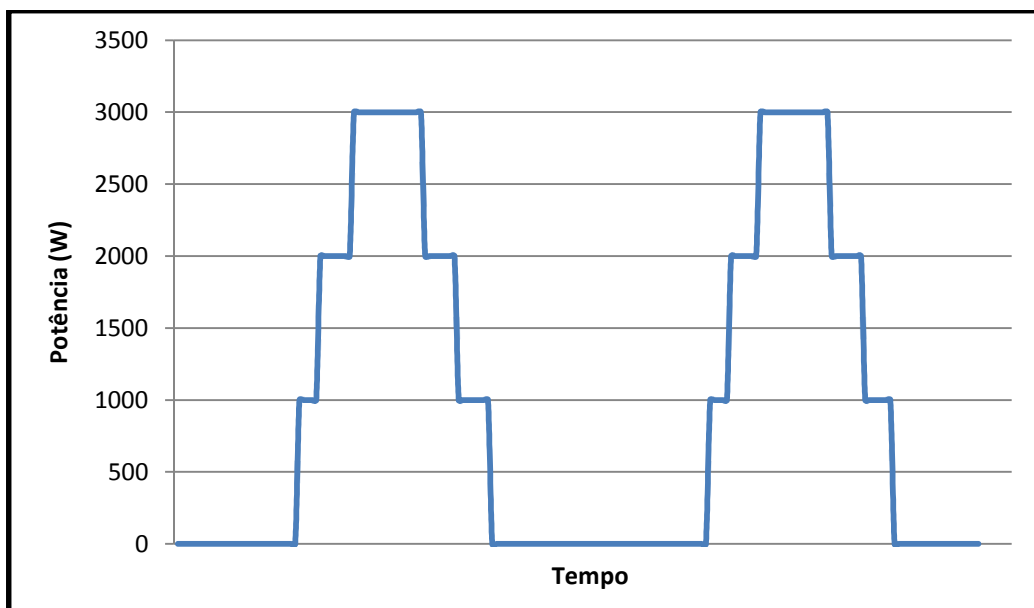


Figura 3.4 - Resultado após aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor solar.

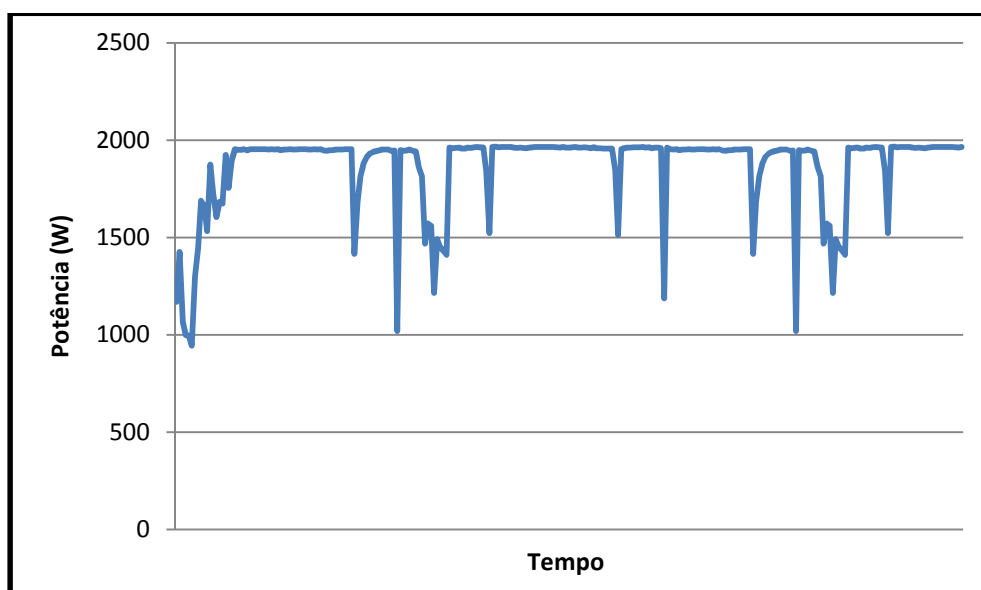


Figura 3.5 - Resultado após aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor eólico.

De salientar, também, as situações em que para várias horas são registados pequenos valores de produção de energia eléctrica, e num instante para o outro são registados valores elevados de produção pelos contadores, verificando-se alguns picos de produção de energia eléctrica, como se pode verificar na figura 3.6 para um microprodutor presente na amostra de μP de origem eólica. Perante estas situações, é necessário também efectuar o processo de filtragem de dados. Na figura 3.7, observa-se o resultado após a realização da técnica desenvolvida de filtragem de dados.

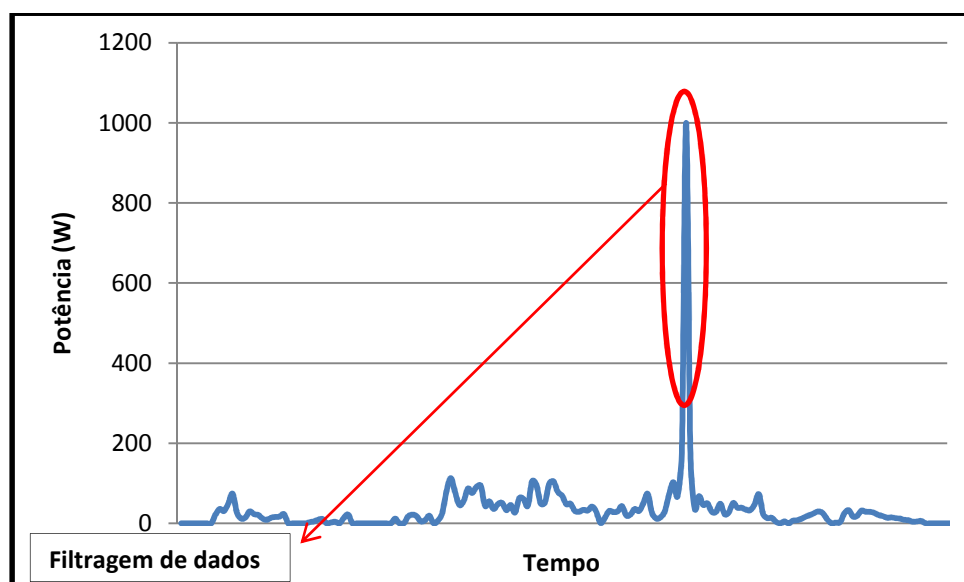


Figura 3.6 - Exemplo da aplicação do método de filtragem de dados, para um determinado microprodutor eólico.

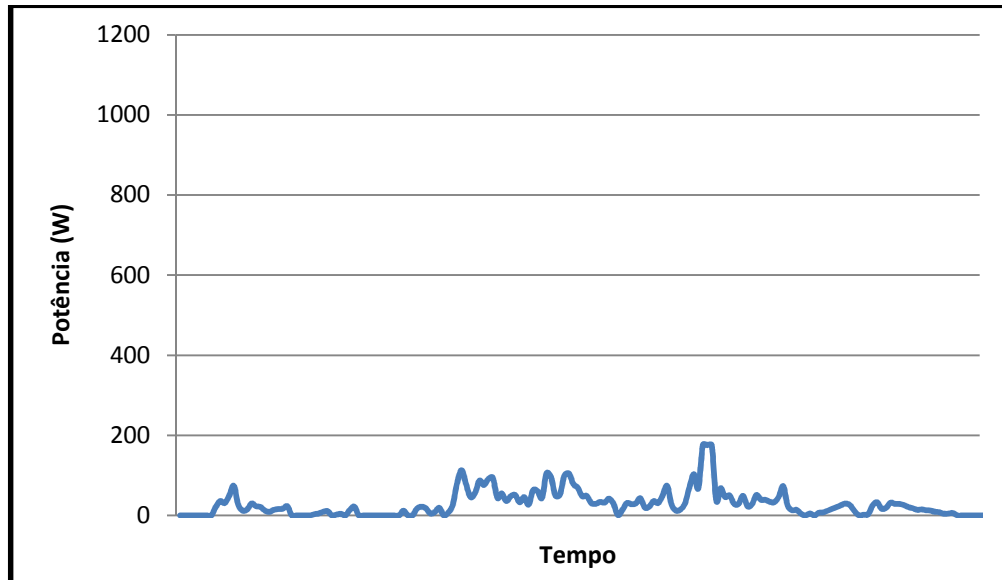


Figura 3.7 - Efeito da aplicação de filtragem de dados, para um determinado microprodutor eólico.

Relativamente à ausência de dados¹, que acontece devido ao mau funcionamento dos equipamentos de medição, a problemas de comunicações, inconsistência com outros dados gravados e consequente supressão. Desta forma, é necessário colmatar os dados ausentes.

Os dados em falta são tratados conforme o seu volume e dos algoritmos que vão ser utilizados. Caso o volume de registos em falta seja substancialmente grande, é essencial criar uma técnica de estimação destes registos. As técnicas de estimação que podem ser utilizadas são a regressão linear ou as redes neuronais (por exemplo).

As técnicas de regressão linear são utilizadas para estimar os valores numéricos dos registos [36]. A regressão estuda o relacionamento entre uma variável chamada variável dependente e outras variáveis denominadas variáveis independentes. A regressão, geralmente, trata da questão de se estimar um valor esperado. Este tipo de regressão é designado "linear" pois considera-se que a relação da resposta às variáveis é uma função linear de alguns parâmetros.

As RN criam modelos, através dos dados conhecidos, que possibilitam determinar os dados em falta [37]. As RN são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neuronal de organismos inteligentes e que obtêm conhecimento através da experiência. Uma rede neuronal é composta por várias unidades básicas de processamento interligadas, denominadas por neurónios, cujo funcionamento é bastante simples, e que usualmente são conectados por canais de comunicação que estão associados a um determinado peso. A constituição das RN inclui o conjunto de entrada, conjunto de neurónios (camada escondida) e conjunto de saída. Podem ser constituídas por vários neurónios distribuídos por várias ou somente uma camada escondida.

¹ Pode acontecer o registo ser zero (como exemplificado nas figuras 3.2 e 3.3) ou simplesmente o registo estar vazio ("blank").

As RN são máquinas de aprendizagem, distribuídas, adaptativas e geralmente não lineares, cujo comportamento inteligente resulta das interações entre as unidades de processamento da rede. Logo, pelas suas próprias características, são principalmente aplicadas em problemas que envolvem o reconhecimento e a classificação de padrões, daí que sejam vulgarmente utilizadas em matéria de previsão, em aproximações de funções, análise de regressões e previsão de séries temporais.

Comparativamente com as técnicas de regressão linear, as RN são técnicas mais complexas porque envolvem um conjunto de treino e um conjunto de teste, e aplicam-se em situações mais exigentes. É necessário filtrar, separar e processar a informação para treino e teste da RN.

Porém, estas técnicas são empregadas principalmente quando a duração de ausência de dados é grande ou quando o processo de completamento de dados é complexo.

Da mesma forma que o processo de filtragem, decidiu-se durante o estudo, também, fazer uma pesquisa inicial para avaliar a duração típica da ausência de dados, constatando-se que não ultrapassavam as seis horas, para a amostra solar. Assim para um intervalo de duração de ausência de dados entre uma a seis horas, os dados em falta são calculados pela média dos valores do dia anterior e do dia seguinte, para a mesma hora. Este método, que utiliza os valores de produção solar do dia anterior e do dia seguinte, pode ser aplicado devido ao facto da radiação solar ser caracterizada pela sua elevada regularidade. Logo as produções solares de um dia para o outro são também semelhantes.

Para o intervalo de duração menor que uma hora, é aplicada a mesma estratégia desenvolvida para os dados anómalos, ou seja, os dados em falta são determinados através da média dos registos imediatamente antecedentes e dos registos consequentes.

Em relação às amostras eólicas, constatou-se que a ausência de dados em determinados produtores apresentava uma duração superior a seis horas. Desta forma, para essas horas não são considerados registos, não sendo então utilizados para a determinação dos perfis típicos de μP eólica. Assim, numa fase posterior da metodologia eólica irá se ter em conta esta ausência de dados através de uma atribuição de pesos a cada componente.

Para uma duração inferior a seis horas, os dados em falta são calculados através da média dos registos imediatamente antecedentes e dos registos consequentes. De realçar que não é possível aplicar a técnica desenvolvida para o caso solar, que utiliza os valores de produção do dia anterior e do dia seguinte, visto o comportamento do vento apresentar grande variabilidade, contrariamente à radiação solar, onde o seu comportamento apresenta grande regularidade.

Completados os dados em falta, os erros de medição das curvas de μP são atenuados sem se introduzir alterações substanciais aos dados reais.

Finalizando, a fase de limpeza de dados é de extrema importância para que os dados anómalos e os dados em falta não afectem as fases seguintes do processo de determinação dos perfis típicos de μP de energia eléctrica. Ou seja, o objectivo será minimizar os eventuais problemas das bases de dados, formando-se assim bases consistentes para a construção dos perfis típicos de μP de origem solar e de origem eólica.

3.1.3 - Pré-processamento dos Dados

O conjunto de dados obtido tem por base as leituras efectuadas na amostra dos microprodutores ao longo do período de tempo de estudo. O tamanho deste conjunto de registos é função do número de microprodutores que constituem a amostra, da cadência de recolha das medições (15 minutos) e do número total de dias que constituem a amostra. Desta forma, obtém-se um grande número de registos, constituído por um número de diagramas de μP diário total, igual ao número de microprodutores da amostra multiplicado pelo número total de dias em que se recolheu a informação.

Para cada microprodutor tem-se um número de diagramas diários de μP correspondente ao número de dias do registo. Devido ao elevado volume de dados existente nesta fase, é conveniente reduzir o mesmo antes de se passar para as fases seguintes.

Por exemplo, se para um conjunto de 15 microprodutores durante um ano (365 dias) com uma cadência de recolha de registos de 15 minutos, resultam 35040 leituras para cada microprodutor, e um total de 525 600 valores.

Tendo em conta a abordagem a adoptar para estudar o problema, é essencial nesta fase efectuar uma análise e um pré-processamento dos dados da μP , reduzindo desta forma o volume inicial e formando menores conjuntos de dados. Esta redução dos dados pode ser realizada sem perder informação de forma excessiva, e pode facilitar a sua aplicação nas fases seguintes. A redução da dimensão de dados apresenta as seguintes vantagens:

- Obtenção de uma representação reduzida da série de dados que é muito menor ao nível de volume, mas contudo produz aproximadamente os mesmos resultados analíticos;
- Redução do tempo de aprendizagem;
- Interpretação mais fácil dos conceitos aprendidos;
- Menor tempo de processamento;
- Menor espaço em disco.

O modo como a redução é realizada deve ter sempre em conta o objectivo do estudo que se pretende desenvolver, para que não seja perdida informação fundamental para as fases seguintes da metodologia.

Nesta dissertação, a cadência de recolha de informação usada foi o intervalo de 15 minutos, o que faz com que cada diagrama de μP seja representado por 96 registos dos valores de potência, num intervalo de tempo com início às 0:00 horas e final às 23:45 horas do mesmo dia. Para tal, os diagramas de μP são reduzidos de forma que sejam representados apenas por 24 registos dos valores de potência, ou seja, é alterada a cadência para uma hora. Consegue-se assim reduzir o volume de dados para $\frac{1}{4}$ do volume original.

Então, o diagrama típico de μP com cadência de 15 minutos é modificado para uma cadência de uma hora, de forma a caracterizar os comportamentos típicos de μP em função da hora do dia. Ou seja, para todas as horas, os seus valores são determinados pela média das potências dos intervalos de 15 minutos. Por exemplo, para uma determinada hora, o valor da produção de electricidade é calculado através da média:

$$x_{ij} = \frac{x_{i(j_00min)} + x_{i(j_15min)} + x_{i(j_30min)} + x_{i(j_45min)}}{4}, \quad (3.1)$$

em que, x_{ij} é o valor representativo da produção (W) do mês i para a hora j , onde i varia entre [1,12] e j varia entre [1,24].

Em seguida, os dados de μP podem ser divididos por mês do ano e por zona geográfica. Realizada esta divisão, estudos separados podem ser realizados de modo a conhecer a situação actual da μP em Portugal através da obtenção dos diagramas típicos de μP para cada situação.

Relativamente à primeira divisão, o objectivo é representar o total da amostra dos microprodutores através de um diagrama típico para cada mês. Esta divisão convém ser efectuada, visto os perfis de consumo e de perdas, adoptados pela ERSE para o uso em mercado de electricidade, terem periodicidade mensal.

A forma de cada um destes diagramas é determinada através da média dos diagramas diários de μP , ou seja, para cada hora de um determinado mês realiza-se a média dos dados da μP de todos os dias do mês em questão.

Relativamente à segunda divisão, o intuito é obter uma base de dados de acordo com a zona geográfica. Para o caso da produção solar, optou-se por dividir o conjunto inicial dos dados entre os microprodutores localizados em Sul e em Norte. Para o caso da produção eólica, poderá ser interessante considerar também a divisão entre Litoral e Interior. Assim, será possível caracterizar cada cenário e determinar, por exemplo, se a produção solar é mais elevada no Sul do que o Norte, e se a produção eólica é mais elevada no Litoral ou no Interior.

Para o caso solar, é realizada a divisão entre Sul e Norte, pois verificou-se na figura 1.4 que a radiação solar é mais elevada no Sul, como seria de esperar. Relativamente ao caso eólico, a separação entre Litoral e Interior, permitiu observar que no Litoral de Portugal Continental as velocidades do vento são em média superiores às do Interior, como se pode constatar na figura 1.5. Desta forma, estas análises permitem também quantificar a relação entre produções no Sul e no Norte para o caso solar, e a relação entre produções no Litoral e no Interior para o caso eólico.

3.2 - Perfis de Microprodução Solar

3.2.1 - Obtenção e Reajuste dos Diagramas de Microprodução Solar

Uma vez obtida uma base de dados consistente, são determinados os diagramas diários de μP para cada mês, tornando possível a realização de estudos de forma a determinar os perfis globais. Na construção dos perfis globais, observou-se que os diagramas de μP correspondentes aos meses de Inverno, nomeadamente Janeiro, Novembro e Dezembro, encontravam-se num nível de produção muito abaixo dos restantes meses. Supostamente, a produção de energia eléctrica nestes meses é inferior aos restantes, visto se tratar da época do ano em que a radiação solar é, também, inferior, tal como é ilustrado na figura 3.8.

A radiação solar típica durante um dia de um determinado mês do ano pode ser determinada com o auxílio de ferramentas disponibilizadas por [11].

O programa PVGIS desenvolve uma base de dados GIS sobre factores técnicos, ambientais e sócio-económicos da geração de electricidade solar nas seguintes regiões: Bacia Mediterrânea, África e Sudoeste Asiático e Subcontinente Europeu, na qual se insere este estudo. O programa PVGIS combina a experiência de longo prazo de pesquisas de laboratório,

monitorização e testes com conhecimentos geográficos. É usado como uma ferramenta de pesquisa para o desempenho da avaliação da tecnologia fotovoltaica em termos geográficos, e como um sistema de apoio à tomada de decisões na UE. A interface web foi desenvolvida para fornecer o acesso interactivo aos dados, mapas e outras ferramentas para investigação e institutos de educação, para os decisores, para os profissionais de painéis FV, e para os proprietários dos sistemas, bem como para público em geral [38].

O PVGIS é principalmente destinado a ser um sistema de apoio para a decisão da instalação de painéis FV em moradias. No entanto, para fornecer um acesso à base de dados e estimativas para os profissionais e para o público em geral, foram desenvolvidas aplicações “online” interactivas [38]. Pode ser escolhido qualquer local na Europa pelo navegador através de um clique no mapa, escolher um país e cidade a partir de uma lista, ou por ajuste directo dos valores de latitude e longitude, sendo possível conhecer os valores médios diários e médios mensais, e anuais da energia produzida, da radiação solar, da temperatura e da inclinação óptima dos painéis FV. O utilizador poder obter um perfil médio diário das radiações solares para céu limpo e para céu “real” para uma determinada inclinação e orientação dos módulos FV em função do mês escolhido, como se pode constatar na figura 3.8.

Ao longo do dia, a variação da radiação solar segue um padrão característico. No entanto o nível de radiação também varia de forma típica ao longo do ano, como se pode verificar na figura 3.8. A nebulosidade também afecta a produção, mas este efeito pode ser considerado intermitente e aleatório.

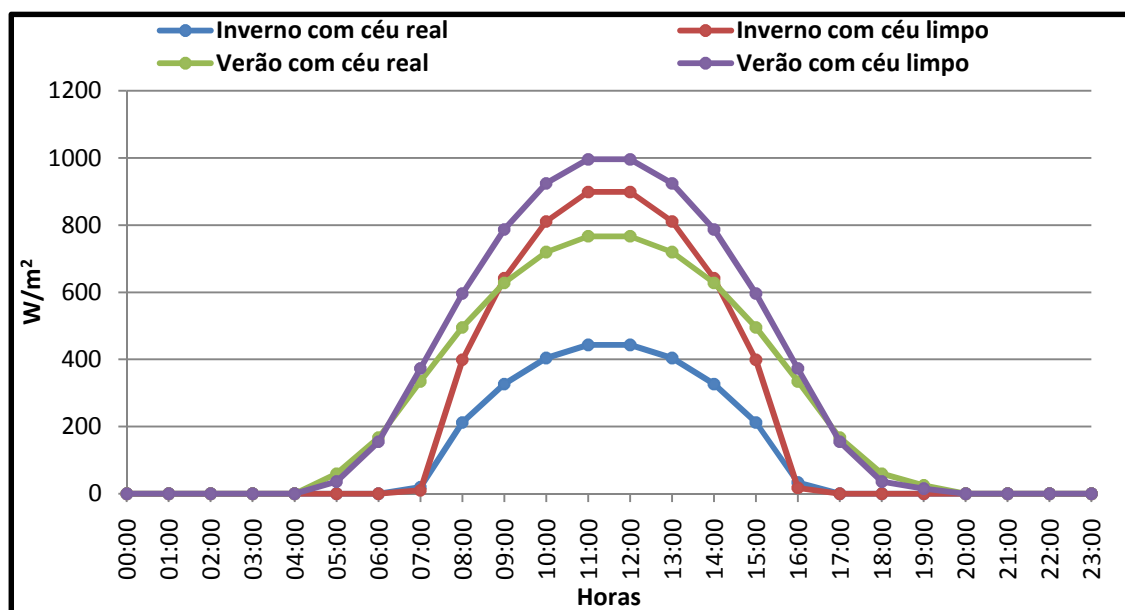


Figura 3.8 - Radiação solar incidente num plano óptimo em Coimbra.

Como se pode constatar na figura 3.8, o pico de produção de energia eléctrica no Inverno acontece por volta do meio-dia, e nos dias em que não há nenhuma nebulosidade (céu limpo) a radiação solar é superior aos dias que há (céu real), portanto a produção de electricidade em dias de céu limpo, também, será superior.

No entanto, o baixo nível de produção dos diagramas dos meses de Inverno, tal como é ilustrado na figura 3.9, não se deve unicamente à radiação solar, mas também há pouca

quantidade de informação disponibilizada pelos microprodutores relativamente a estes meses. De facto verifica-se que o número de microprodutores com registos em Janeiro, Novembro e Dezembro é bastante inferior ao dos outros meses.

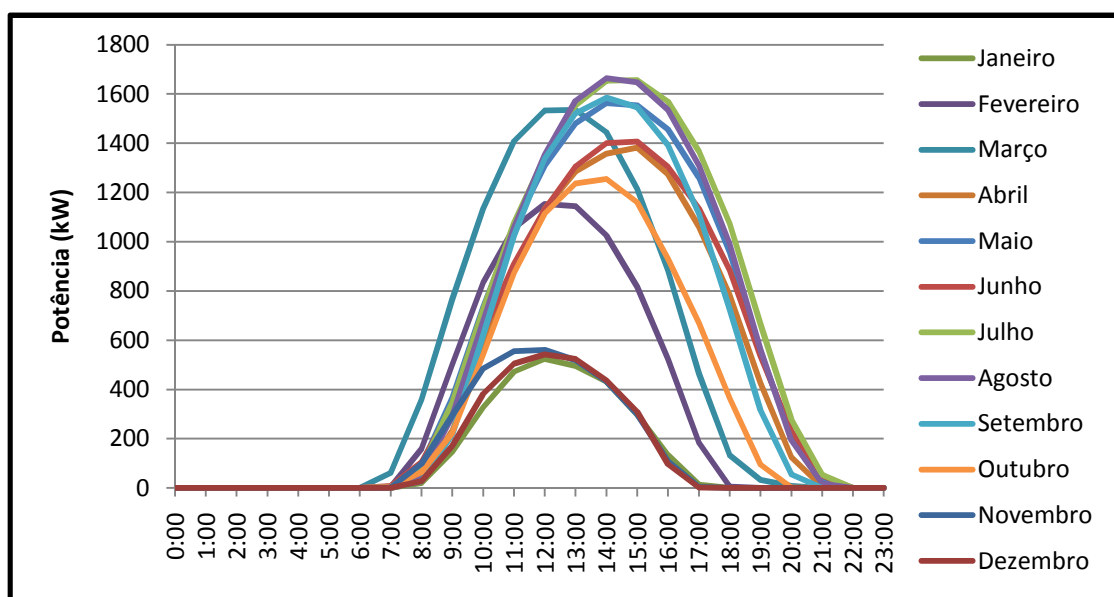


Figura 3.9 - Potência total de cada mês ao longo do dia.

É importante referir, que a amostra da base de dados disponibilizada apresenta registos de Novembro de 2008 até Outubro de 2009. A duração temporal da base de dados termina no mês de Outubro, pois no fim desse mês foram solicitados estudos sobre os comportamentos típicos de μP de origem solar. Estes estudos foram realizados com base nessa amostra de registos.

Quando se refere que em determinados meses do ano há falta de informação sobre a produção de energia eléctrica, significa que, em alguns microprodutores na amostra de dados, não são conhecidos ou não foram disponibilizados e registados valores de produção ao longo do período do tempo respectivos desses meses. Isto acontece, porque em Portugal muitos microprodutores apenas instalaram os painéis FV em Janeiro de 2009 com o objectivo de beneficiarem do Regime Bonificado, recebendo 65 cêntimos por cada kWh produzido. A partir de Janeiro de 2009, verificou-se um crescimento da integração de unidades de μP solar em Portugal. Por este facto, é que na amostra inicial de registos, a partir de Fevereiro até Outubro de 2009 são conhecidos todos os valores de produção solar, e daí a pouca quantidade de informação para os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro em alguns microprodutores de energia eléctrica.

Para ultrapassar o facto de não se dispor da mesma quantidade de registos em determinados meses, optou-se por completar a informação em falta com o auxílio do programa PVGIS, de modo a não comprometer a qualidade dos perfis de μP a determinar.

Deste modo, aproveitando as ferramentas disponibilizadas pelo PVGIS, é determinada para as localidades correspondentes à localização geográfica de todos os microprodutores presentes na amostra solar, a energia média produzida pelos painéis FV para todos os meses. Importa referir que para o cálculo desta energia foram consideradas as seguintes condições no Simulador do PVGIS:

- A tecnologia de todos os painéis FV é Silício Cristalino;
- A potência da instalação dos sistemas FV no PVGIS é igual à Potência de Ligação de cada microprodutor disponibilizada na amostra inicial;
- 5% de perdas estimadas para todos os sistemas FV;
- Todos os painéis FV estavam montados para o plano óptimo.

Após ter sido determinada a energia produzida pelos painéis FV em cada mês para cada microprodutor através de [11], é realizado o somatório da energia eléctrica produzida para cada mês de todos os consumidores de BT que disponham de instalações de μP .

Calculada a energia total produzida em cada mês, é determinado um factor de reajuste (f_i) somente para os meses do ano em que se verifica a falta de informação. Este factor é calculado para duas situações, com o objectivo de verificar que factores estimam com melhor qualidade a energia desses meses. Numa delas, o f_i é calculado em função da energia produzida pelo mês com pouca informação (Janeiro, Novembro e Dezembro) pela energia média mensal produzida pelos meses com toda a informação disponível (ou seja, todos os meses excepto Janeiro, Novembro e Dezembro). Para a outra situação, o f_i é calculado em função da energia produzida pelo mês com pouca informação pela energia média mensal produzida por todos os meses do ano.

$$f_i = \frac{\text{Energia do mês com pouca informação}}{\text{Energia média mensal}} \quad (3.2)$$

De salientar, que o f_i determinado através do PVGIS, para além de permitir estimar a energia total produzida, também permite reajustar os níveis de produção solar, possibilitando, desta forma, corrigir a amplitude dos diagramas de μP representativos dos meses com falta de informação, tal como se pode verificar na figura 3.10.

A falta de informação provoca a alteração do nível de produção dos diagramas de μP solar nos meses correspondentes. Desta forma, o cálculo do f_i dos diagramas de μP revela uma enorme importância, para que a qualidade do processo de construção e determinação dos perfis típicos de μP solar de energia eléctrica não seja comprometida.

Importa realçar, que este factor f_i é calculado em função dos valores obtidos pelo programa PVGIS, e é determinado um factor para cada mês com débito de registos. Após a determinação do f_i para o mês de Janeiro, Novembro e Dezembro, é efectuada, então, a estimação da energia total produzida destes meses. Esta estimação é determinada a partir do quociente entre a energia total determinada a partir da amostra inicial (E_i) e de f_i , obtendo-se a seguinte equação:

$$E_i' = \frac{E_i}{f_i} \quad (3.3)$$

Onde:

- E_i' - Energia total estimada do mês i (Wh), em que i corresponde a {1;11;12}, ou seja, Janeiro, Novembro e Dezembro respectivamente;
- f_i - Factor de reajuste para o mês i com falta de informação na amostra de dados inicial (Janeiro, Novembro e Dezembro) determinado através do PVGIS;
- E_i - Energia total produzida do mês i (Wh) calculada a partir da amostra de dados inicial.

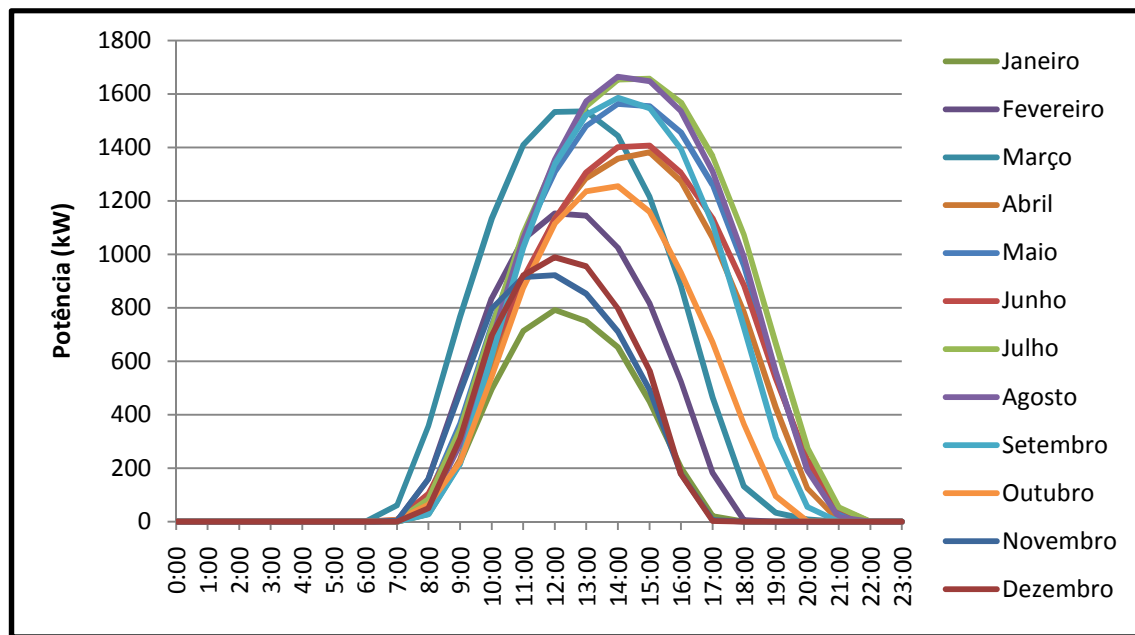


Figura 3.10 - Potência total de cada mês ao longo de um dia, após aplicação do factor de reajuste.

Para que sejam corrigidas as amplitudes dos diagramas de μP representativos dos meses com falta de informação, é necessário determinar as novas potências desses diagramas, potências essas que correspondem às potências reajustadas.

$$f_i = \frac{E_i}{E_i'} \Leftrightarrow f_i = \frac{\sum P_{ij} \times t}{\sum P_{ij}' \times t} \Leftrightarrow f_i = \frac{\sum P_{ij}}{\sum P_{ij}'} \Leftrightarrow \sum P_{ij}' = \frac{\sum P_{ij}}{f_i} \quad (3.4)$$

Em que:

- P_{ij} - potência do mês i para a hora j (W);
- P_{ij}' - potência reajustada do mês i para a hora j (W);
- $i \in \{1;11;12\}$ e $j \in [1,24]$;
- t - tempo, que equivale a 1 hora;

Desta forma, o reajuste da potência (P_{ij}') para uma determinada hora dos meses de Janeiro, Novembro e Dezembro é realizado em função da potência obtida a partir da base de dados inicial (P_{ij}) e do f_i correspondente:

$$P_{ij}' = \frac{P_{ij}}{f_i} \quad (3.5)$$

Reajustados os valores de produção de energia eléctrica, são corrigidos os níveis de produção solar, aumentando-se a amplitude dos diagramas de μP de Janeiro, Novembro e Dezembro, pois já se tem a informação completa relativamente às produções de energia eléctrica, como se pode verificar na figura 3.10.

Para os restantes meses, não é efectuado qualquer reajuste dos níveis de produção solar, pois não se verifica falta de informação para esses meses na amostra solar.

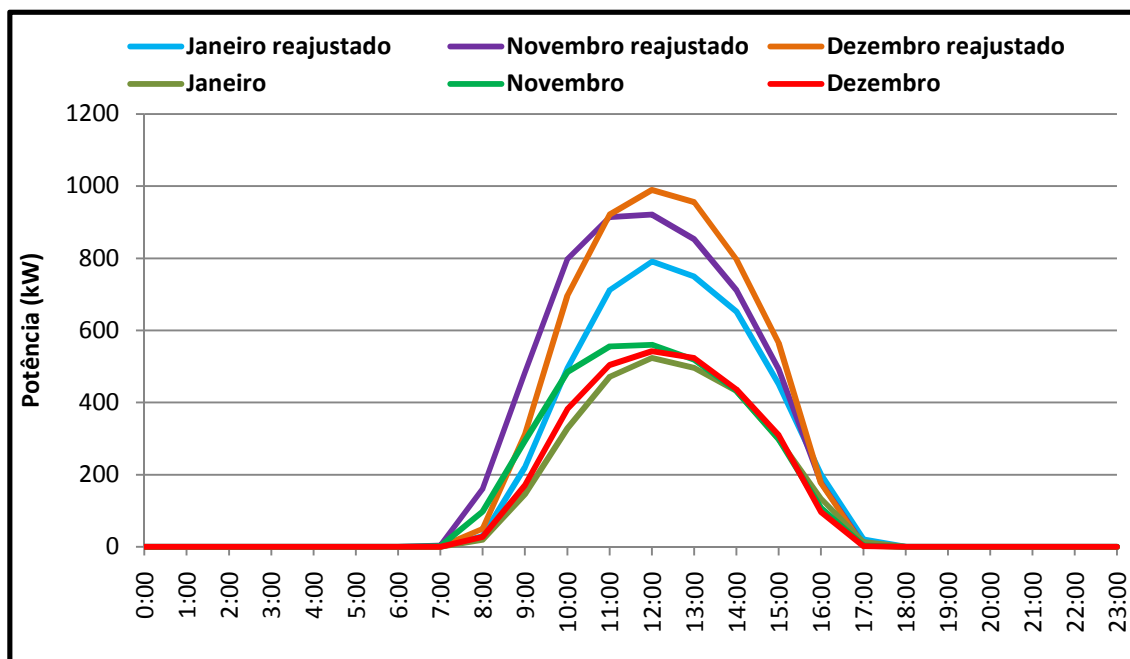


Figura 3.11 - Diagramas diários de μP para os meses com débito de dados, antes e após aplicação do factor de reajuste.

Analisando a figura 3.11, observa-se que os valores de produção de Janeiro, Novembro e Dezembro aumentaram, após serem reajustados. No entanto, como já foi salientado anteriormente, nestes meses o nível de produção solar ainda continua a ser inferior aos restantes, como se pode constatar na figura 3.10. Isto acontece devido aos seguintes factores:

- Nestes meses verifica-se elevada nebulosidade, ou seja, baixa radiação solar;
- Nestes meses o Sol encontra-se, também, mais baixo relativamente aos restantes meses;
- O número de horas de Sol no Inverno, mesmo sem nebulosidade, é inferior ao Verão.

3.2.2 - Suavização

Todos os dados obtidos experimentalmente contêm erros e são afectados com ruído, apesar de serem bem planeados e cuidados pelos experimentadores [39].

Se não existir nebulosidade e os registos forem perfeitos, os perfis de μP solar são perfeitamente “suaves”. Porém, as oscilações anormais observadas nos diagramas médios têm origem nestes factores aleatórios, daí a necessidade da aplicação de técnicas de suavização.

É habitual usar técnicas de suavização das curvas de forma a anular estes factores tanto quanto possível. Portanto, esta terceira fase resume-se à suavização dos diagramas representativos da μP . A suavização tem como objectivo criar uma função de aproximação que tenta capturar os padrões importantes no conjunto de dados, removendo variações

bruscas, e eliminando ruídos ou outros fenómenos que podem deformar os comportamentos típicos de μP .

Segundo [40], a suavização é uma ferramenta explorativa muito útil para a análise de dados, bem como um ingrediente essencial em muitas novas técnicas de montagem de dados de grande dimensão. A simplicidade é uma característica sempre desejável como geral. Na suavização isso manifesta-se através da facilidade de aplicação e interpretação compreensível directa. Uma vantagem da facilidade de implementação é que os métodos de suavização se tornam amplamente acessíveis. A facilidade de interpretação é essencial para qualquer analista de dados que quer um detalhe apropriado para os dados.

Geralmente a suavização gráfica consiste em traçar uma curva mais regular, ou seja, que substitua os números de uma série de modo a atingir uma sequência de valores mais regular.

Em [41], são descritos dois mecanismos de suavização para facilitar a visualização das tendências dos dados, nomeadamente em gráficos. Os mecanismos descritos consistem na aplicação de médias móveis e medianas de três pontos. A regularização por médias móveis consiste em substituir cada ponto (x_i, y_i) por (x_i, z_i) , onde z_i é a média dos valores de Y nos 3 ou 5 pontos centrados em (x_i, y_i) , por exemplo:

$$z_i = \frac{(y_{i-2} + y_{i-1} + y_i + y_{i+1} + y_{i+2})}{5}, \quad (3.6)$$

sendo ignorados, neste caso, necessariamente os dois primeiros e dois últimos pontos da lista, previamente ordenada pelos valores de X . Na utilização da mediana de 3 pontos, substitui-se cada valor de y_i pela mediana de (y_{i-1}, y_i, y_{i+1}) , repetindo-se o processo até estabilizar. Neste caso, os pontos extremos da lista inicial, ordenada pelos valores de X , mantêm-se fixos ao longo do processo.

No âmbito da realização desta dissertação, foi aplicado o método da média deslizante de 3 pontos:

$$s_{ij} = \frac{x_{i(j-1)} + x_{ij} + x_{i(j+1)}}{3} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} i &\in [1, 12] \\ j &\in [0, 24] \end{aligned}$$

Onde:

- s_{ij} - valor suavizado da potência do mês i para a hora j (W);
- x_{ij} - valor da potência do mês i para a hora j (W);
- $x_{i(j-1)}$ - valor da potência do mês i para a hora $(j-1)$ (hora antecedente) (W);
- $x_{i(j+1)}$ - valor da potência do mês i para a hora $(j+1)$ (hora consequente) (W).

3.2.3 - Normalização

A quarta etapa consiste na normalização dos dados obtidos para os diagramas típicos de μP solar. A normalização consiste em converter os dados para escalas comparáveis, e é realizada com o objectivo de comparar a forma dos diagramas de μP representativos de cada mês, com origens distintas (por exemplo, Norte e Sul).

Embora existam diversas hipóteses de efectuar a normalização de dados, não existe consenso quanto aos factores de normalização a utilizar.

Uma delas consiste na utilização da Potência de Ligação de cada microprodutor. Para cada situação, o vector que representa a curva da μP é dividida pelo valor da Potência de ligação, obtendo-se as denominadas curvas p.u.. Os valores da Potência de Ligação são disponibilizados por todos os microprodutores e constam na amostra inicial dos registos. Este tipo de normalização permite manter a forma da curva da μP e comparar os padrões de produção. Possibilita nomeadamente analisar a produção relativamente à potência instalada, esperando-se, por exemplo, que no Sul, as curvas p.u. sejam superiores às do Norte.

Em [36] para cada microprodutor, o vector representativo do diagrama de μP é normalizado para uma escala entre [0,1] usando como factor de normalização a potência de ponta do diagrama representativo de μP . Como o anterior, com este tipo de normalização, também, se consegue reter toda a informação relativamente à forma do diagrama, comparando os padrões de produção de energia eléctrica. A curva representativa da μP passa a ser um vector:

$$l = \{l_1, \dots, l_h, \dots, l_H\}, \quad (3.8)$$

onde l_h são os valores normalizados da produção (potência produzida) no instante h , e $h=1, \dots, H$ em que H representa o número de valores lidos num dia, e que varia com a cadência das medições.

Em [42], o factor de normalização é calculado pela diferença do valor do atributo e o valor mínimo, divididos pela diferença entre o valor máximo e o valor mínimo do atributo:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min X_j}{\max X_j - \min X_j} \quad (3.9)$$

Onde:

- z_{ij} - valor normalizado;
- x_{ij} - valor actual;
- X_j - vector de todos os 96 valores representativos do diagrama diário de μP (cadência de 15 minutos).

A utilização deste método apresenta todos os valores no intervalo [0,1], e mantém relações mútuas dos perfis entre valores inalterados.

Em [43] o factor de normalização é calculado pelo valor máximo registado. Para o uso em diagramas de μP representativos, o factor de normalização será igual à potência máxima dos diagramas representativos. Deste modo, o valor normalizado do diagrama diário de μP é determinado por:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max X_j} \quad (3.10)$$

Onde:

- z_{ij} - valor normalizado;
- x_{ij} - valor actual;

- X_j - vector de todos os 96 valores representativos do diagrama diário de μP (cadência de 15 minutos).

Segundo [44], uma outra hipótese de normalização utilizada é baseada na Potência Média do conjunto de microprodutores da amostra. A utilização deste factor possibilita manter a informação relativa à energia total da μP . Como principal desvantagem, é de salientar a possível perda de informação relativa às diferenças entre as formas dos diagramas de μP , dos consumidores de BT com valores de potência mais afastados do valor da potência média utilizada na normalização.

A escolha do factor de normalização a utilizar deve ser efectuada em função do modelo de determinação do perfil de μP que se quer desenvolver, tentando sempre minimizar a perda de informação, e deverá possibilitar comparar os diagramas representativos de acordo com a sua forma. No âmbito desta dissertação, decidiu-se empregar como factor de normalização o valor máximo de todos os valores de diagramas diários representativos de todos os meses do ano para determinação dos perfis de μP solar, tal como [43]. No entanto, o método empregue difere em alguns aspectos. Os dados obtidos para os perfis típicos de μP solar são normalizados da seguinte forma:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} i &\in [1,12] \\ j &\in [1,24] \end{aligned}$$

Em que:

- z_{ij} - valor normalizado do mês i para a hora j (p.u.);
- x_{ij} - valor actual do mês i para a hora j (W);
- $\max(x_{ij})$ - valor máximo do vector com 288 valores x_{ij} (cadência de uma hora) que representam os diagramas diários de produção de todos os meses (W).

Deste modo, todos os diagramas representativos de cada mês apresentam os valores pertencentes ao intervalo $[0,1]$. Este tipo de normalização assegura as relações iniciais entre os dados, permitindo manter informação relativamente à forma do diagrama de μP representativo.

Concluídas todas as fases anteriormente descritas, obtém-se um perfil diário de μP solar para cada mês para o ano de 2010, em que o valor normalizado z_{ij} do mês i para hora j equivale ao valor do perfil diário de μP do mês i para a hora j . Na construção do perfil típico anual de μP solar, deve ser aplicado o seguinte processo:

- 1) Através do perfil diário obtido para cada mês, constrói-se o perfil de μP solar mensal que corresponde ao perfil diário repetido pelo número de dias do respectivo mês;

- 2) Construídos os perfis mensais de μP , é traçado, finalmente, o perfil μP de todo ano 2010, onde o valor final correspondente a cada hora do perfil anual é determinado a partir da seguinte fórmula:

$$perfil_{ij} = \left(\frac{z_{ij}}{\sum z_{ij}} \right) \times 1000 \quad (3.12)$$

Onde:

- **perfil_{ij}** - valor final do perfil anual de μP solar do mês *i* para a hora *j*;
- **z_{ij}** - valor do perfil diário de μP solar do mês *i* para a hora *j* (p.u.);
- **$\sum z_{ij}$** - Somatório de todos os valores horários do perfil de μP solar do mês *i* para a hora *j* (p.u.);

É de realçar a multiplicação por 1000, porque é habitual, na construção e determinação dos perfis anuais publicados pela ERSE, efectuar-se uma nova normalização para 1000. Importa ainda referir, que numa fase final para a construção do perfil típico anual de μP solar, deve-se ter em atenção os feriados (que neste caso é irrelevante, ao contrário do que sucede com os perfis de consumo), os dias de mudança de hora e outras particularidades do ano específico em consideração. As mudanças horárias do ano de 2010 ocorrem nos seguintes dias:

- No dia 28 de Março, onde a hora passa da 1:00 hora para as 2:00 horas (adianta uma hora), logo não será registado nenhum valor de produção de energia eléctrica para a uma da manhã do dia 28 de Março;
- No dia 30 de Outubro, onde às 2:00 da manhã o relógio muda para a 1:00 da manhã, portanto serão registados dois valores de potência para a uma da manhã.

3.3 - Perfis de Microprodução Eólica

Para a determinação dos perfis de μP eólica, foram utilizados para além dos dados disponibilizados pelos microprodutores, dados da PRE em MT registados em três anos (2007, 2008 e 2009). Esta opção justifica-se pelo facto de a base de dados de μP disponibilizada ser muito limitada (poucos registos), não sendo possível uma caracterização robusta do comportamento típico de μP de origem eólica. Tal utilização de dados registados em três anos, deve-se ao facto da velocidade e da direcção do vento apresentarem grande variabilidade, contrariamente ao que acontece com a radiação solar, que apresenta grande regularidade.

É de destacar que a construção de perfis procura sobretudo regularidades e fenómenos cíclicos. O vento, apesar da característica de falta de regularidade, apresenta comportamentos sazonais bastante típicos, como poderá ser constatado na análise dos dados ao longo dos três anos de registos.

Os ventos são causados por diferenças de pressão ao longo da superfície terrestre, devidas ao facto de a radiação solar recebida na terra ser maior nas zonas equatoriais do que nas zonas polares. A origem do vento é, portanto, a radiação solar [4]. O vento também depende da orografia.

O vento é o ar em movimento com uma determinada velocidade e direcção. A sua intensidade não é regular e a sua disponibilidade depende do local. Como tal, antes de cada instalação, medições dos parâmetros do vento devem ser efectuadas, assim como um estudo do relevo do local. Em princípio, quanto menores forem as alterações do relevo, menores serão as barreiras físicas e assim melhor será a regularidade do vento. Esta é a razão pela qual, hoje em dia, se estão a desenvolver parques eólicos em “off-shore” [29].

De realçar, também, a existência de brisas, que representam um fluxo de vento localizado e de intensidade mais reduzida [45]. As brisas têm origem térmica, mediante o aquecimento ou arrefecimento desigual das superfícies terrestres, num determinado local. As brisas mais vulgares são a brisa Terrestre, Marítima, da Montanha e do Vale, representando um comportamento diário do vento. Estes comportamentos explicam as mudanças de direcção do vento e de sazonalidade associadas às séries temporais do recurso vento. O vento pode apresentar variações sazonais, mensais, diárias e horárias.

No âmbito desta dissertação, são utilizados dados de PRE correspondentes aos anos de 2007, 2008 e 2009, com o objectivo de tornar a amostra inicial mais consistente e de se verificar se os comportamentos médios de produção eólica nos diferentes anos apresentam ou não regularidades significativas. Então, a construção e a determinação dos perfis de μP eólica, tem por base as seguintes amostras:

- Dados medidos e disponibilizados de microprodutores eólicos;
- Dados medidos e disponibilizados da PRE em MT relativo ao ano 2007;
- Dados medidos e disponibilizados da PRE em MT relativo ao ano 2008;
- Dados medidos e disponibilizados da PRE em MT relativo ao ano 2009.

3.3.1 - Normalização

A segunda fase consiste na normalização dos dados de forma a converter os dados para escalas comparáveis, para que seja possível comparar a forma dos diagramas de μP com os da PRE. Das diversas hipóteses de efectuar a normalização de dados já referidas anteriormente, utilizou-se como factor de normalização o valor máximo da potência.

Para cada amostra são calculados os valores médios de produção para cada hora de cada mês. A seguir, para cada amostra, verifica-se qual o valor máximo da produção média, e efectua-se a normalização:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} i &\in [1,12] \\ j &\in [1,24] \end{aligned}$$

Onde:

- z_{ij} - valor normalizado do mês i para a hora j (p.u.);

- x_{ij} - valor actual do mês i para a hora j (W);
- $\max (x_{ij})$ - valor máximo do vector com 288 valores x_{ij} (cadência de uma hora) que representam os diagramas diários de produção de todos os meses (W).

A utilização deste método apresenta todos os valores no intervalo $[0,1]$, para cada valor do novo diagrama. Terminada esta fase, obtém-se os valores médios de produção normalizados para cada hora de cada mês.

3.3.2 - Atribuição de Pesos

Esta fase consiste na atribuição de diferentes “pesos” para cada amostra em cada mês. Contrariamente aos perfis de μP solar, onde existem ferramentas interactivas, tal como o programa PVGIS, que permitem calcular a informação em falta, para os perfis de μP eólica não são conhecidas quaisquer aplicações disponíveis gratuitamente (“freeware”) que possibilitem efectuar este cálculo.

Uma vez que há falta de dados em alguns meses, optou-se por completar essa informação com dados disponíveis da PRE. Assume-se naturalmente que o comportamento da PRE e da microgeração eólica serão semelhantes. O facto de se dispor de dados PRE de 2007, 2008, e 2009 permite que se utilize esta informação para obter maior consistência de resultados.

Os diagramas típicos eólicos são obtidos através de uma combinação destes dados (PRE e μP) através de uma combinação linear, onde são atribuídos pesos a cada componente (μP , PRE 2007, PRE 2008, PRE 2009). Como é evidente, nos meses onde faltar informação relativamente a valores de potência, o peso correspondente será menor que nas situações ordinárias (onde existe informação).

O objectivo é atribuir um determinado peso para cada amostra em cada mês, sendo estes determinados pela quantidade e importância que os registos de cada amostra têm na construção do perfil típico de μP de cada mês. Importa referir que para todos os meses, a soma dos pesos das diferentes amostras tem que ser igual para que não sejam introduzidas distorções na energia mensal produzida. Para cada mês, é calculada uma proporção que cada amostra tem na determinação do perfil do mês em questão. Calculada essa proporção, os pesos são atribuídos conforme a sua relevância/influência, ou seja, para cada mês, a amostra que apresentar uma maior proporção tem um maior peso, e a amostra com menor proporção, evidentemente, possui um peso menor que os restantes.

De forma a tornar mais claro e compreensível este processo, seguidamente é explicado o método utilizado neste cálculo:

- Em todas as amostras, foram registados valores de produção de energia eléctrica para quinze localidades/produtores. Então, as proporções, de cada amostra, são calculadas pelo quociente entre o número de produtores com registos efectuados em qualquer mês e o número total de produtores de electricidade existentes na amostra:

$$\text{proporção} = \frac{n^{\circ} \text{ de produtores com registos}}{n^{\circ} \text{ total de produtores da amostra}} \quad (3.14)$$

- Por exemplo, para o mês de Janeiro, foram registados dados de produção em sete dos quinze produtores, no caso de μP , sendo portanto, a proporção igual a 7/15. Para a amostra da PRE em 2007, foram registados valores de produção em oito localidades, logo a proporção é igual a 8/15;
- Como a proporção da PRE de 2007 é maior, então o peso correspondente será maior que o peso dos dados dos microprodutores, para o mês de Janeiro.

Por exemplo para o mês de Dezembro, nas amostras de μP e PRE de 2009, não foram registados quaisquer valores. Nesta situação, os pesos que estes apresentam na construção dos perfis são nulos. Para este mês, são os dados da PRE de 2007 e 2008 que determinam a construção do perfil típico para o mês de Dezembro. No entanto, os dados do ano de 2008 são mais preponderantes que os de 2007 porque existe mais informação em 2008 do que 2007, logo o peso de 2008 é maior que o de 2007. O mesmo acontece para o mês de Novembro.

Para as restantes situações, o objectivo será atribuir um determinado peso, conforme a sua quantidade/importância dos dados sobre os perfis de μP eólica.

Um outro critério a ter em consideração na atribuição dos pesos, é que os registos mais antigos são afectados com um peso menor ou igual que os registos mais recentes.

Como resultado final, obtém-se para cada hora de cada mês, um valor igual à multiplicação do valor normalizado pelo peso respectivo do seu mês:

$$y_{ij} = z_{ij} \times w_i \quad (3.15)$$

Onde:

- y_{ij} - valor corrigido pelo peso respectivo do mês i para a hora j (p.u.);
- z_{ij} - valor normalizado do mês i para a hora j (p.u.);
- w_i - peso do mês i .

A atribuição de pesos é realizada para se ter em conta a utilidade e a influência que cada registo terá na determinação dos perfis de μP eólica. O peso e a forma de atribuição dependem do tipo de registo, tendo em consideração que o seu valor deverá traduzir a necessidade da sua função.

3.3.3 - Determinação dos Perfis Típicos de Microprodução Eólica

Realizadas as fases anteriormente descritas, passa-se então à determinação e construção dos perfis típicos de μP eólica para todo o ano de 2010. O perfil global é determinado em função dos dados da μP , da PRE em MT de 2007, 2008 e 2009, como já foi salientado previamente.

Para cada hora de cada mês, o valor do perfil global diário será determinado em função da seguinte expressão:

$$perfil_{ij}' = y_{ij_ \mu P} + y_{ij_2007} + y_{ij_2008} + y_{ij_2009} \quad (3.16)$$

Onde:

- perfil_{ij}' - valor do perfil diário de μP eólica do mês i para a hora j (p.u.);
- $y_{ij_ \mu P}$ - valor corrigido pelo peso respectivo do mês i para a hora j , para os dados de μP (p.u.);
- y_{ij_2007} - valor corrigido pelo peso respectivo do mês i para a hora j , para os dados da PRE em 2007 (p.u.);
- y_{ij_2008} - valor corrigido pelo peso respectivo do mês i para a hora j , para os dados da PRE em 2008 (p.u.);
- y_{ij_2009} - valor corrigido pelo peso respectivo do mês i para a hora j , para os dados da PRE em 2009 (p.u.);

Realizadas todas as fases atrás descritas, obtém-se um perfil diário de μP eólica para cada mês para o ano de 2010. Para que se construa o perfil anual de μP eólica, deve ser adoptado um processo praticamente semelhante ao solar:

- 1) Através do perfil diário obtido para cada mês, constrói-se o perfil de μP eólica mensal que corresponde ao perfil diário repetido pelo número de dias do respectivo mês;
- 2) Construídos os perfis mensais de μP , é traçado, finalmente, o perfil μP de todo ano 2010, onde o valor final correspondente a cada hora do perfil anual é determinado a partir da seguinte fórmula:

$$\text{perfil}_{ij} = \left(\frac{\text{perfil}_{ij}'}{\sum \text{perfil}_{ij}'} \right) \times 1000 \quad (3.17)$$

Onde:

- perfil_{ij} - valor final do perfil anual de μP eólica do mês i para a hora j ;
- perfil_{ij}' - valor do perfil diário de μP eólica do mês i para a hora j (p.u.);
- $\sum \text{perfil}_{ij}'$ - somatório de todos os valores horários do perfil de μP eólica do mês i para a hora j (p.u.);

De salientar, novamente, a multiplicação por 1000, visto ser habitual, na determinação dos perfis anuais publicados pela ERSE, efectuar-se uma normalização para 1000. Tal como no perfil anual μP solar, na construção do perfil anual de μP eólico deve-se ter em consideração os dias de mudança de hora de 2010 e outras particularidades do ano específico em consideração.

Capítulo 4

Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos de acordo com as metodologias adoptadas no capítulo anterior desta dissertação. Pretende-se com esta dissertação satisfazer os objectivos que foram propostos nas secções anteriores.

De modo a tornar o texto mais claro e compreensível são apresentados separadamente os resultados obtidos para a μ P solar e eólica. O capítulo é organizado de acordo com as diferentes fases de aplicação da metodologia correspondente a cada caso.

Importa realçar que, para além dos resultados obtidos ao longo das diversas fases de cada metodologia, são expostos resultados decorrentes da realização de outros estudos com a intenção de compreender melhor a situação actual da μ P de origem solar e eólica em Portugal.

4.1 - Perfis de Microprodução Solar

Uma vez obtida a base de dados consistente, com os dados já organizados, filtrados, pré-processados e completos, correspondentes aos microprodutores de origem solar torna-se possível passar às fases seguintes da metodologia para determinar os perfis típicos de μ P solar.

No âmbito desta dissertação para a determinação dos perfis típicos de μ P de origem solar, são utilizadas ferramentas disponíveis gratuitamente ("*freeware*"), nomeadamente o programa PVGIS, que permite determinar a informação em falta. Com o intuito de verificar se o PVGIS se trata de um programa que adquire valores compatíveis com os valores reais, é efectuado um estudo que compara os valores de energia obtidos pelo PVGIS com os valores obtidos a partir da amostra real disponibilizada para a realização deste trabalho científico.

Deste modo, decidiu-se comparar para um determinado microprodutor existente na base de dados disponibilizada, os valores de energia total produzida em todos os meses determinados a partir da amostra de registos com os valores obtidos através do PVGIS. Foi escolhido da amostra um microprodutor localizado em Guimarães, por ser dos poucos com os

dados totalmente completos, e assim a partir do PVGIS escolheu-se a localidade de Guimarães definindo-se as seguintes circunstâncias:

- Silício Cristalino como a tecnologia dos painéis FV;
- A potência da instalação dos sistemas FV (PVGIS) equivale à Potência de Ligação da unidade de μ P disponibilizada na amostra inicial;
- 5% de perdas estimadas para o sistema FV;
- Os painéis FV estavam montados para o plano óptimo.

Desta forma, os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela 4.1 - Energia produzida (kWh) determinada através da amostra inicial e do PVGIS, para um microprodutor localizado em Guimarães.

Mês	Energia (kWh)	
	Amostra	PVGIS
Janeiro	208	293
Fevereiro	371	295
Março	544	456
Abril	445	438
Maiο	534	500
Junho	475	520
Julho	565	533
Agosto	580	551
Setembro	500	475
Outubro	354	392
Novembro	311	276
Dezembro	272	226
Total	5161	4955

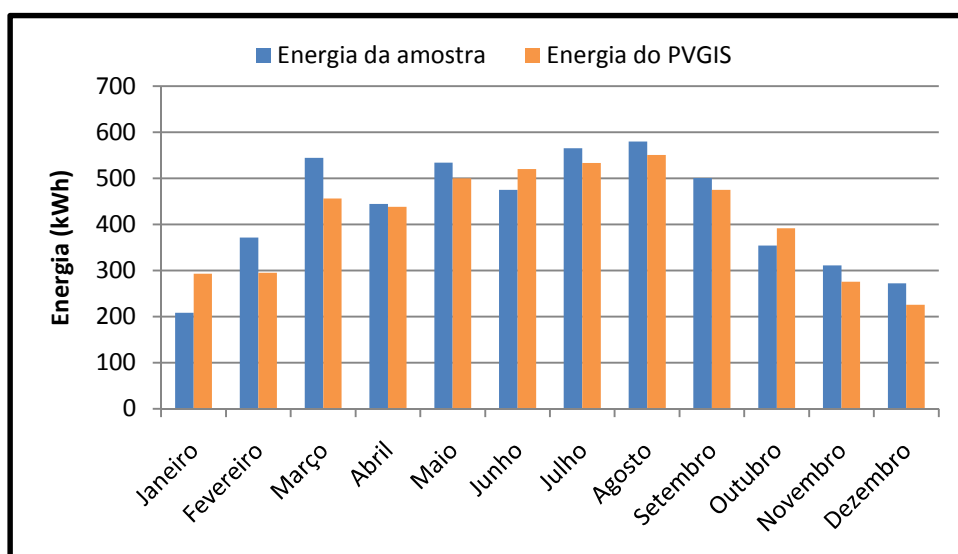


Figura 4.1 - Energia produzida (kWh) da amostra inicial e do PVGIS, para um microprodutor localizado em Guimarães.

Comparando os resultados da tabela 4.1 e da figura 4.1, verifica-se que os resultados do PVGIS encontram-se compatíveis com os resultados reais, sendo verificadas umas pequenas diferenças. Estas diferenças devem-se a particularidades do ano específico em estudo.

Desta forma, o programa PVGIS pode ser utilizado na resolução de eventuais problemas que podem surgir durante a realização desta dissertação, nomeadamente na determinação dos factores de reajuste que permitem estimar a energia produzida e reajustar os níveis de produção solar, para os meses com falta de informação na base de dados inicial.

4.1.1 - Obtenção e Reajuste dos Diagramas de Microprodução Solar

A partir dos registos da amostra inicial disponibilizada, a energia total produzida em cada mês ao longo do ano é apresentada na tabela 4.2 e esquematizada graficamente na figura 4.2. Na mesma tabela e mesma figura são apresentadas as energias produzidas por cada mês determinadas através do PVGIS. Esta determinação é realizada para o mesmo tipo de microprodutores presentes na amostra de registos inicial. Efectua-se o somatório de todas as energias produzidas nas localidades correspondentes à localização geográfica dos microprodutores da amostra. Ou seja, para cada localização geográfica do microprodutor da base de dados inicial, determina-se a energia para cada mês através das ferramentas do PVGIS; depois, realiza-se para cada mês o somatório da energia produzida de todas as localidades.

Comparando os valores obtidos da amostra com os valores obtidos do PVGIS, conclui-se que os valores são muito próximos para todos os meses, excepto para Janeiro, Novembro e Dezembro devido à pouca quantidade de informação destes meses.

Como seria de esperar a produção solar é superior nos meses de Verão, nomeadamente em Julho e Agosto. Nos meses em que a radiação solar é menor, tais como em Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro, verifica-se que a energia produzida é muito inferior do que os restantes. No entanto, analisando a figura 4.2, constata-se que o nível de produção de energia em Janeiro, Novembro e Dezembro se encontra num nível muito abaixo do que é esperado. Isto acontece devido ao débito de dados para esses meses, como já foi realçado anteriormente. Para resolver esta situação, são calculados factores de reajuste que corrigem esses níveis de produção solar.

Importa salientar que em Abril a produção de electricidade é inferior que Março. Este acontecimento deve-se ao facto no mês de Abril, como é sabido, ser bastante chuvoso², apesar de o calor começar a aparecer. Logo, o aparecimento da chuva associa-se à elevada nebulosidade presente neste mês, apresentando portanto menor irradiação solar, como se pode constatar nas figuras 4.3 e 4.4, e igualmente menor produção de energia. Os valores obtidos para irradiação solar foram determinados a partir do programa PVGIS para um plano óptimo. Para obter estes valores, realiza-se o somatório das irradiações solares determinadas nas localidades correspondentes à localização geográfica dos microprodutores disponíveis na amostra inicial disponibilizada. A irradiação solar (Wh/m^2) corresponde à energia que incide na superfície por unidade de área durante um período de tempo.

É de realçar que em Junho a energia produzida é inferior a Maio, apesar de o mês de Junho apresentar valores da irradiação solar superiores ao mês de Maio, como se pode

² Como se normalmente se diz “Em Abril Águas Mil”.

observar nas figuras 4.3 e 4.4. O programa PVGIS consiste numa aplicação supostamente baseada nos dados de um conjunto alargado de anos, pelo que os valores apresentados deverão ser típicos.

Tabela 4.2 - Energia total produzida (MWh) determinada na amostra inicial e a Energia total produzida (MWh) determinada pelo PVGIS, para todos os meses do ano.

Mês	Energia (MWh)	
	Amostra	PVGIS
Janeiro	2,86	7,33
Fevereiro	7,41	7,17
Março	10,98	11,09
Abril	10,56	10,41
Maio	12,62	11,99
Junho	11,37	12,09
Julho	13,45	12,81
Agosto	12,92	13,04
Setembro	11,49	11,30
Outubro	8,53	9,67
Novembro	3,36	6,72
Dezembro	3,00	6,06

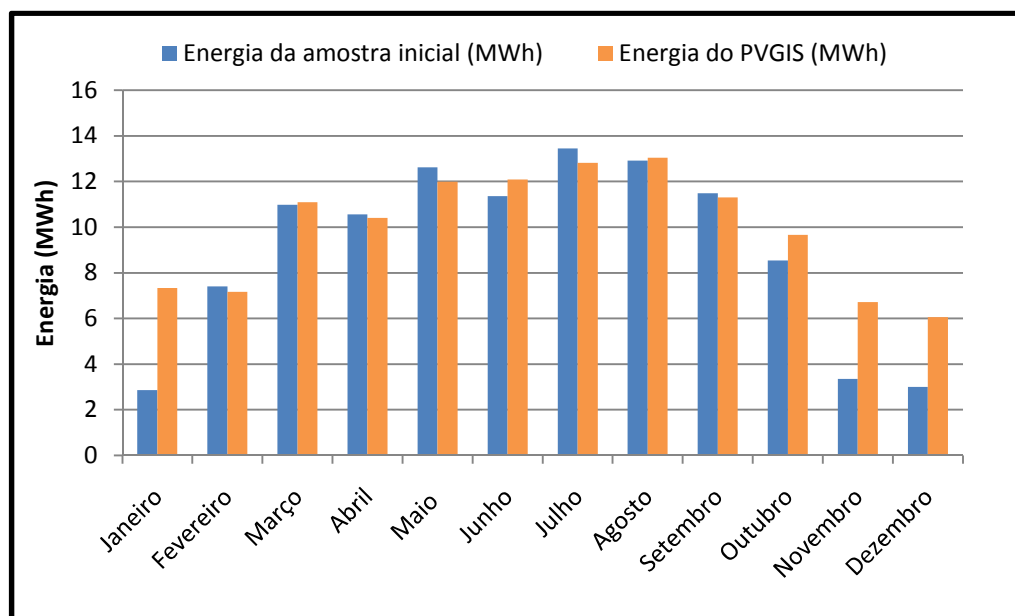


Figura 4.2 - Energia total produzida (MWh) determinada na amostra inicial e a Energia total produzida (MWh) determinada pelo PVGIS para todos os meses do ano.

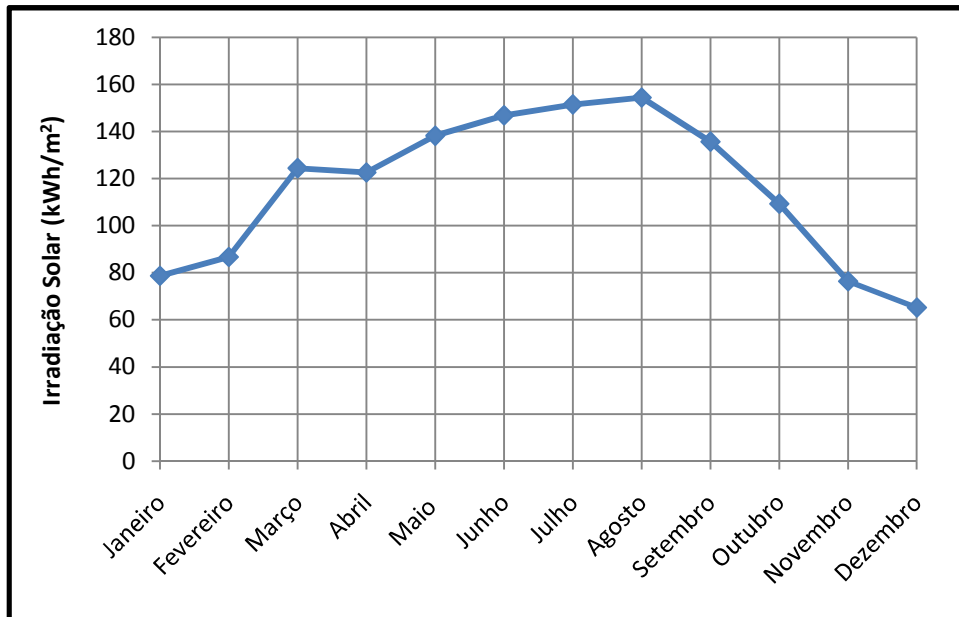


Figura 4.3 - Média total diária da irradiação solar num plano óptimo para todos os meses do ano.

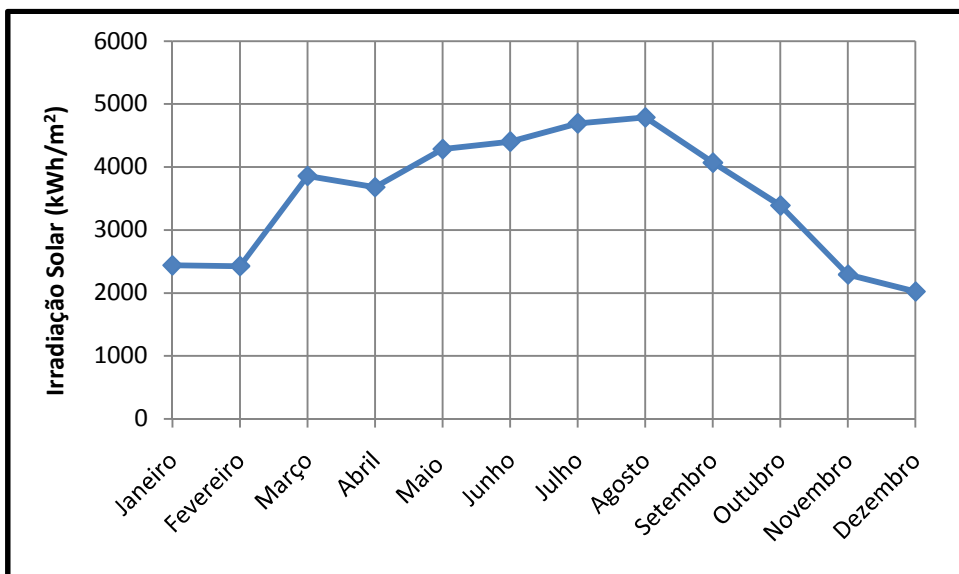


Figura 4.4 - Média mensal da irradiação solar num plano óptimo para todos os meses do ano.

Através das ferramentas disponibilizadas no PVGIS foram calculadas as energias totais produzidas para os meses com débito de registos, e assim determinados os seus factores de reajuste (f_i) através da equação (3.2). Porém, é de realçar que foram calculados f_i para duas situações. Como já foi referido, numa delas efectua-se o cálculo de f_i através da energia média mensal produzida pelos meses onde não se verifica falta de informação, ou seja, pelos meses de Fevereiro a Outubro inclusive. Na outra situação, o f_i é determinado através da energia média produzida por todos os meses do ano. Estes processos são efectuados com o objectivo de verificar quais os f_i que permitem estimar com melhor qualidade a energia produzida para os meses com débito de registos. Os factores de reajuste obtidos para cada situação são os seguintes:

Tabela 4.3 - Factores de reajuste para os meses com falta de informação para cada situação.

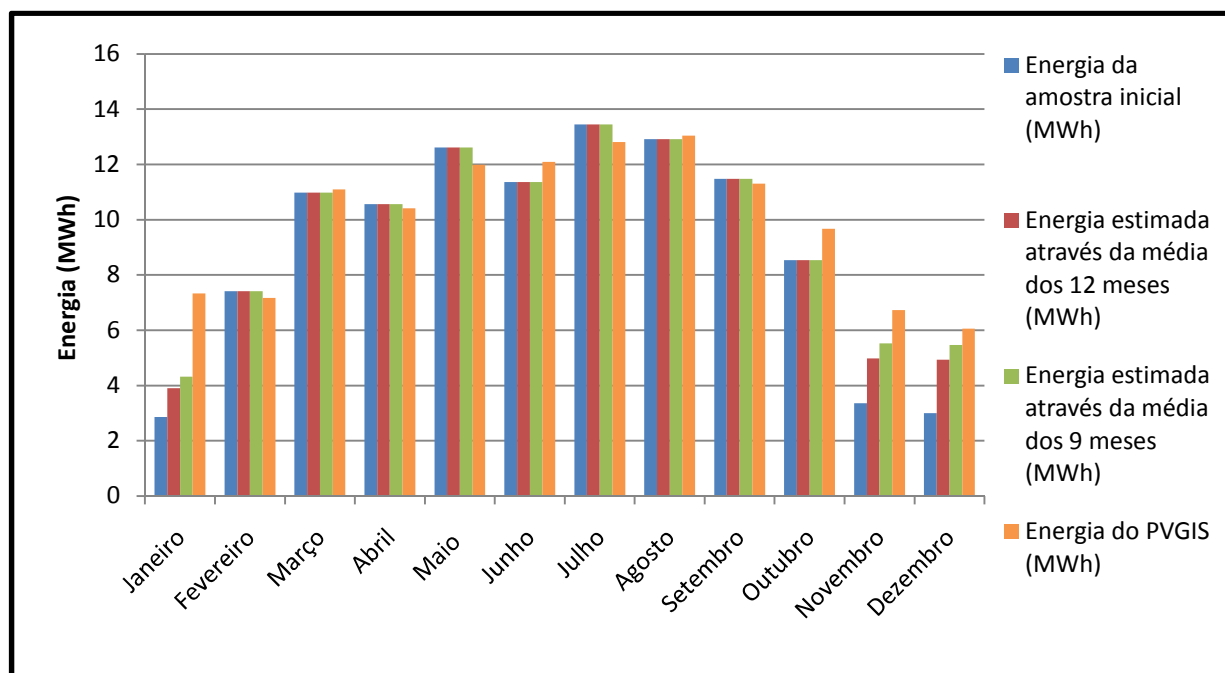
Mês	Factor de reajuste (f_i) através da média de 9 meses	Factor de reajuste (f_i) através da média dos 12 meses
Janeiro	0,662	0,735
Novembro	0,608	0,674
Dezembro	0,548	0,608

Calculados os f_i para ambas as situações, são estimadas as energias totais para os meses de Janeiro, Novembro e Dezembro para cada situação através da aplicação da equação (3.3). Os valores das energias estimadas para esses meses são apresentados na tabela 4.4.

Na figura 4.5 são apresentadas para cada mês a energia determinada a partir da amostra inicial, a energia estimada para as duas situações atrás referidas e a energia determinada através do PVGIS.

Tabela 4.4 - Energias Estimadas (MWh) para os meses com falta de informação em cada situação, e a energia produzida (MWh) determinada através do PVGIS.

Mês	Energia Estimada (MWh) através da média de 9 meses	Energia Estimada (MWh) através da média de 12 meses	Energia total produzida (MWh) determinada através do PVGIS
Janeiro	4,32	3,90	7,33
Novembro	5,52	4,98	6,72
Dezembro	5,47	4,93	6,06

**Figura 4.5** - Valores de produção de energia da amostra inicial, de energia estimada para cada situação e de energia obtida através do PVGIS para todos os meses do ano.

Através da análise da tabela 4.4 e da figura 4.5 verifica-se que após aplicação dos f_i , ocorre os aumentos das amplitudes das energias produzidas para os meses com falta de informação (Janeiro, Novembro e Dezembro) em ambas situações.

Pode-se concluir que os valores estimados da energia, correspondentes à situação que utiliza a média dos 9 meses sem falta de informação, se encontram mais próximos dos valores obtidos pelo programa PVGIS. Desta forma, a partir daqui são utilizados os f_i respectivos a esta situação, e determinadas através destes factores as potências reajustadas dos diagramas de μP representativos dos meses com pouca informação.

Quanto aos valores determinados a partir do PVGIS, é de notar na figura 4.5, que a energia produzida em Janeiro é superior a Fevereiro, o que não acontece com os valores determinados a partir da amostra de dados disponibilizada para a realização desta dissertação. Este acontecimento verificado no PGVIS não é normal, devendo-se provavelmente ao facto dos valores determinados no PVGIS terem por base outras amostras referentes a anos transactos, resultando dessas amostras maiores produções de energia eléctrica em Janeiro do que Fevereiro. Contudo, verifica-se que as radiações solares determinadas no PVGIS atingem maiores níveis em Fevereiro do que em Janeiro, como se pode certificar nas figuras 4.3 e 4.4.

Calculadas as energias estimadas, é necessário, então, realizar o reajuste dos níveis de produção dos meses com débito de dados. Aplicando a equação (3.5), efectua-se o reajuste da potência para todas horas dos diagramas diários de μP solar correspondentes aos meses com débito de registos. Dada a dimensão em causa, decidiu-se por apresentar no Anexo A na tabela A.1 os resultados desta operação.

Reajustados os valores de produção de energia eléctrica, corrigiu-se os níveis de produção solar dos diagramas de μP de Janeiro, Novembro e Dezembro, visto já se conter toda informação relativamente às produções de energia eléctrica, como se pode observar na figura 3.11. Porém, como já foi salientado anteriormente, nestes meses o nível de produção ainda continua a ser inferior aos restantes devido a diversos factores já citados, como se pode constatar na figura 3.10.

Concluídas as fases descritas anteriormente, são efectuados alguns estudos com o intuito de analisar e quantificar as produções solares de forma a conhecer o estado actual da μP de origem solar em Portugal. Conforme foi salientado no capítulo anterior, optou-se por dividir a base de dados disponibilizada em função da zona geográfica. Em relação à μP de origem solar, divide-se o conjunto inicial dos dados entre os microprodutores localizados em Sul e em Norte, com o objectivo de quantificar a relação entre as produções.

Em primeiro lugar, são calculadas as energias médias diárias produzidas representativas de cada mês e determinadas as energias médias mensais, a partir dos registos da amostra. Os resultados obtidos apresentam-se nas tabelas 4.5 e 4.6, assim como a diferença entre Sul e Norte em cada mês.

Tabela 4.5 - Energia média diária em cada mês (kWh) em função da zona geográfica para a μP solar.

Energia média diária (kWh)			
Mês	Sul	Norte	Diferença
Janeiro	8,92	5,92	3,00
Fevereiro	13,86	11,25	2,61
Março	17,68	15,35	2,32
Abril	18,52	14,82	3,70
Maio	20,78	17,44	3,34
Junho	19,52	16,15	3,37
Julho	22,45	18,44	4,00
Agosto	20,66	17,53	3,13
Setembro	17,72	16,07	1,65
Outubro	14,21	10,98	3,23
Novembro	12,67	9,39	3,27
Dezembro	9,42	7,14	2,28
TOTAL	196,42	160,50	35,92

Tabela 4.6 - Energia média mensal (kWh) em função da zona geográfica para a μP solar.

Energia média mensal (kWh)			
Mês	Sul	Norte	Diferença
Janeiro	276,63	183,53	93,10
Fevereiro	388,19	314,98	73,21
Março	548,02	476,00	72,02
Abril	555,62	444,75	110,87
Maio	644,15	540,70	103,45
Junho	585,62	484,47	101,15
Julho	695,82	571,77	124,06
Agosto	640,57	543,39	97,17
Setembro	531,74	482,10	49,64
Outubro	440,57	340,41	100,16
Novembro	379,96	281,79	98,17
Dezembro	291,95	221,31	70,64
TOTAL	5978,85	4885,21	1093,64

Analisando as tabelas 4.5 e 4.6 e as figuras 4.6 e 4.7, conclui-se que, em média, durante um dia representativo de cada mês e durante um mês, a produção de energia eléctrica é superior no Sul em relação ao Norte. Como já foi demonstrado anteriormente, em Portugal a radiação solar é superior no Sul, daí a produção de electricidade ser superior no Sul.

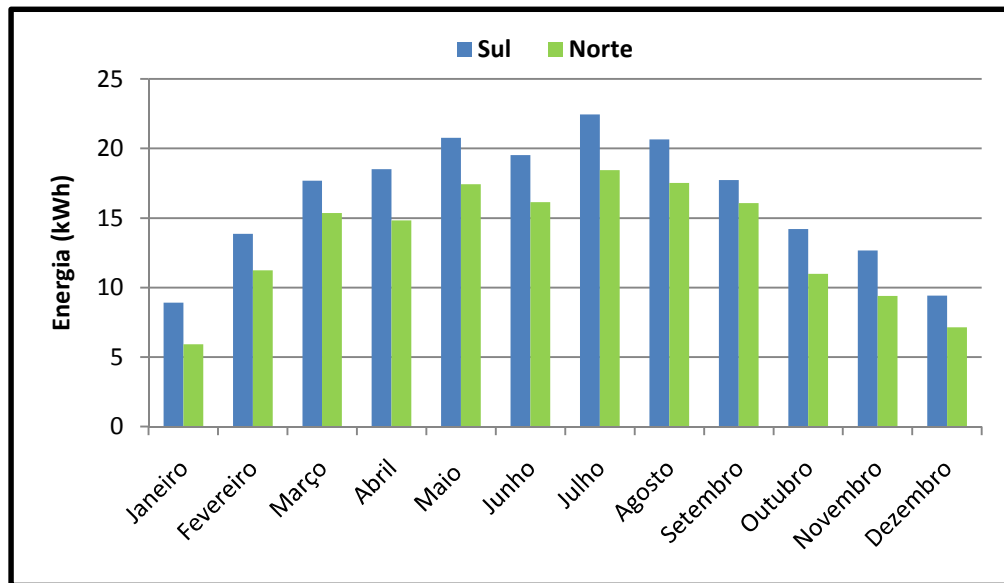


Figura 4.6 - Energia média diária em cada mês (kWh) em função da zona geográfica para a μ P solar.

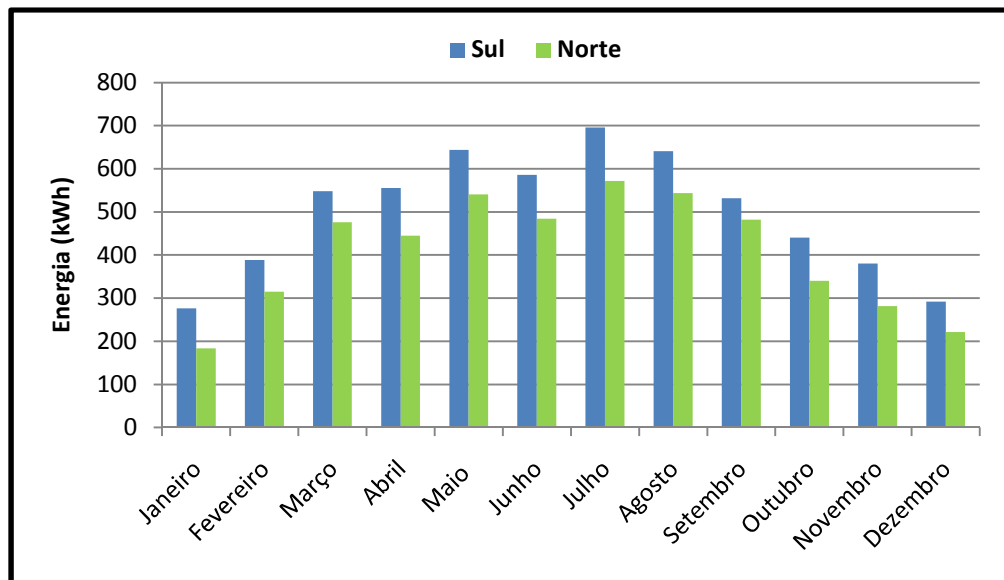


Figura 4.7 - Energia média mensal (kWh) em função da zona geográfica para a μ P solar.

Posteriormente, é determinada a energia total produzida para cada situação a partir da base de dados inicial, ou seja, sem terem sido realizados quaisquer processos de reajuste da amplitude dos diagramas típicos de μ P para esses meses. Assim, os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela 4.7 - Energia total produzida (MWh) na amostra em função da zona geográfica para a μ P solar.

	Energia produzida (MWh)	%
Sul	38,45	35 %
Norte	70,08	65 %
Global	108,54	100 %

Embora se espera que no Sul a produção de energia eléctrica seja superior que o Norte, visto a radiação solar ser mais elevada nesta zona geográfica, como se pode constatar na figura 1.4, os resultados obtidos não demonstram isso. Os resultados obtidos, através da base de dados, mostram que no Norte é produzida mais electricidade que no Sul. Isto deve-se ao facto da amostra inicial disponibilizada para se realizar esta dissertação, apresentar mais registos correspondentes a microprodutores que se encontram na zona Norte de Portugal (de 23 microprodutores da amostra global disponibilizada, 15 situam-se na zona Norte e 8 na Sul), logo como seria de esperar maior energia será produzida. Importa referir que isto não significa que uma instalação a Norte produza mais energia eléctrica que uma instalação a Sul.

Note-se, no entanto, que, caso a amostra apresentasse o mesmo número de microprodutores localizados no Sul e no Norte, e todas as unidades de μP tivessem a mesma Potência de Ligação, a energia produzida ao longo de um ano seria com certeza superior no Sul.

Posteriormente, é realizado o mesmo estudo, mas agora após terem sido efectuados os procedimentos relativos ao reajuste da amplitude dos diagramas típicos de μP relativamente aos meses com falta de informação (segunda fase da metodologia). Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Energia total produzida (MWh) na amostra em função da zona geográfica, após realização da segunda fase da metodologia de μP solar.

	Energia produzida (MWh)	%
Sul	39,55	34 %
Norte	75,41	66 %
Global	114,97	100 %

Realizados os procedimentos com o objectivo de corrigir os níveis de produção dos meses com falta de informação, verifica-se um acréscimo das energias produzidas no Sul e no Norte, como se pode conferir na figura 4.8, como seria de esperar.

A partir da amostra, constatou-se que no Norte, igualmente, se produz mais energia eléctrica. Tal acontecimento deve-se aos mesmos factores atrás já citados. Através dos resultados obtidos da amostra solar, conclui-se que no Norte se produz mais 32% de energia que Sul.

De salientar, ainda, que após o reajuste dos níveis dos diagramas de μP , há um maior acréscimo da energia eléctrica em Norte do que em Sul. Após o reajuste, o Norte produz mais 32 % que Sul, enquanto antes do reajuste o Norte produzia mais 30 %. Este aumento de 2 %, deve-se ao facto da base de dados correspondente a Norte apresentar maior débito de registos que a base de dados respectiva a Sul.

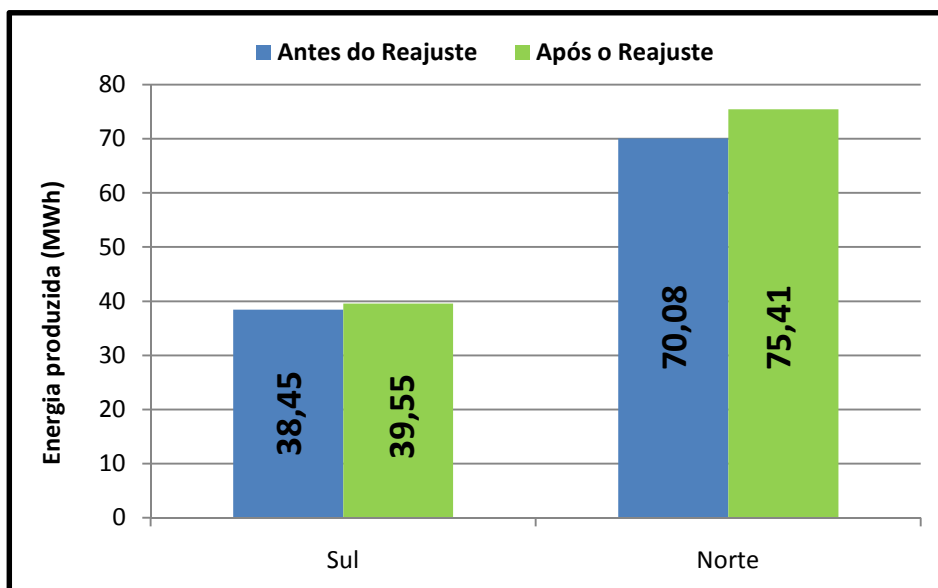


Figura 4.8 - Energia total produzida em função da zona geográfica, antes e após realização da segunda fase da metodologia de μP solar.

Efectuados os processos de actualização ou correcção dos valores referentes aos meses com pouca quantidade de informação, é interessante realizar um estudo relativamente ao número médio de horas correspondentes à produção de electricidade durante um ano. O objectivo desta análise consiste em estimar qual a energia que será produzida aquando da instalação de painéis solares em determinada zona geográfica de Portugal. Ou seja, em função do conhecimento da Potência de Ligação da unidade de μP e das horas equivalentes, consegue-se estimar qual a energia que vai ser produzida durante o ano.

O cálculo das horas equivalentes correspondentes à produção de energia eléctrica é efectuado a partir da seguinte equação matemática:

$$h_{eq} = \frac{E_{produzida}'}{P_{instalada}} \quad (4.1)$$

Onde:

- h_{eq} - Horas equivalentes à produção de energia eléctrica (h);
- $E_{produzida}'$ - Total da energia média estimada (Wh) determinada após realização do reajuste/correcção da amplitude dos diagramas de μP dos meses com quantidade de informação insuficiente;
- $P_{instalada}$ - Média das Potências de Ligação das unidades de μP solar, disponibilizadas por todos os microprodutores existentes na amostra inicial de registos (W).

Tabela 4.9 - Horas equivalentes (h) em função da zona geográfica, após realização da segunda fase da metodologia para a μP solar.

	Horas equivalentes (h)
Sul	1837,64
Norte	1598,49

Analisando os valores obtidos na tabela 4.9, conclui-se que, em média, no Sul a produção de energia eléctrica ocorre em mais horas do que Norte durante um ano. Tais resultados são esperados porque o Sul apresenta maiores níveis de radiação solar, e consequentemente maiores níveis de produção de electricidade.

Desta forma, qualquer consumidor de BT que pretenda instalar uma unidade de μP de origem solar, por exemplo, com uma Potência de Ligação de 3,68 kW, produzirá em média aproximadamente 6,76 MWh de energia eléctrica durante o ano, supondo que o consumidor esteja localizado no Sul, e aproximadamente 5,88 MWh se o microprodutor estiver situado no Norte de Portugal Continental.

4.1.2 - Suavização

Aplicando o método de suavização descrito no capítulo anterior (equação (3.7)), obtém-se os seguintes diagramas de μP representativos de cada mês, como se pode observar na figura 4.9. A aplicação deste método permite suavizar ou anular tanto quanto possível as oscilações observadas nos diagramas médios reais da μP . Oscilações essas que devem-se à existência de nebulosidade e ao facto de os registos não serem perfeitos. Os valores obtidos após realização da suavização apresentam-se no Anexo A na tabela A.2.

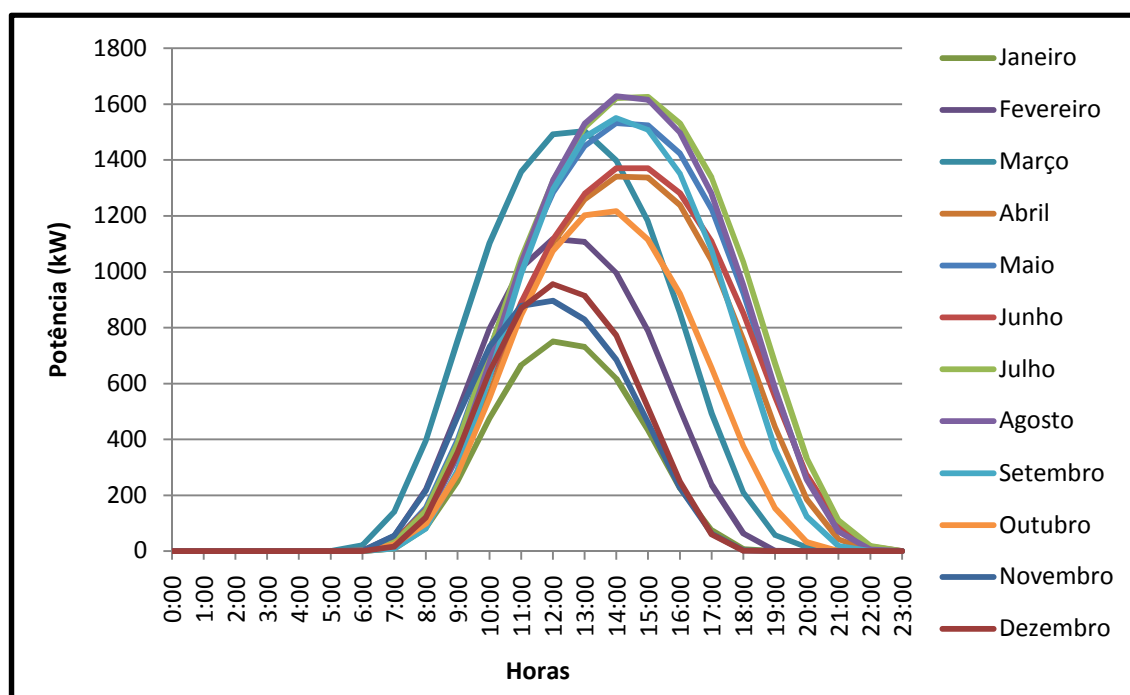


Figura 4.9 - Suavização dos diagramas diários representativos de cada mês da μP solar.

4.1.3 - Normalização

Com os dados suavizados, é necessário proceder à normalização dos mesmos, para que se possa comparar a forma dos diagramas de μP representativos de cada mês, ou seja, convertê-los para escalas comparáveis, de forma a proceder à determinação dos perfis típicos de μP de origem solar.

Como se pode verificar na figura 4.10, a aplicação do método de normalização dos dados permite manter a forma dos diagramas médios de μP solar. A única diferença a realçar é a escala. Todos os diagramas representativos de cada mês apresentam os valores pertencentes ao intervalo $[0,1]$ e assumem a mesma ordem de grandeza quando comparados uns com os outros. Com o método de normalização utilizado, são asseguradas as relações iniciais entre os valores de dados, permitindo manter informação relativamente à forma da curva de cada diagrama de μP representativo.

Realizada a normalização, obtêm-se os valores dos perfis diários de μP solar para cada mês do ano de 2010. No Anexo A na tabela A.3 são apresentados os valores obtidos após aplicação do factor de normalização.

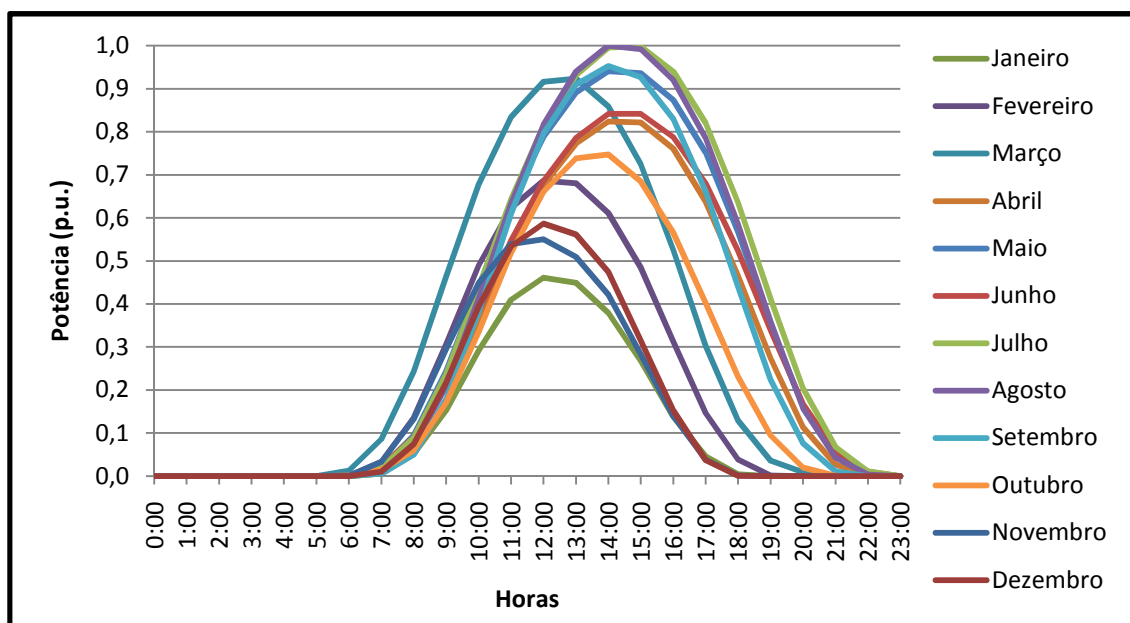


Figura 4.10 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da μP solar.

Analisando a figura 4.10, conclui-se que as curvas p.u. para os meses de Julho e de Agosto são as mais elevadas, visto se tratarem dos meses com a melhor combinação dos seguintes factores:

- Maior radiação solar;
- Maior número de horas solar;
- Menor ocorrência fenómenos de nebulosidade.

Para a construção do perfil típico anual de μP solar deve-se seguir os passos descritos no capítulo anterior, e ter em consideração os dias de mudança de hora e outras particularidades

do ano específico em consideração. Tendo em conta a dimensão do perfil anual de μP de origem solar, optou-se por apresentá-lo no Anexo A na figura A.1.

Analisando a figura A.1, conclui-se que os perfis solares apresentam grande regularidade, pois a radiação solar tem um comportamento bastante regular ao longo dos anos, sendo os perfis de Julho e Agosto os perfis com maiores níveis de produção solar. Constatou-se, como seria de esperar, que o perfil típico de μP de Abril é inferior ao de Março, pois Abril apresenta habitualmente menores níveis de radiação solar. É de realçar, também, o nível inferior do perfil correspondente a Junho em comparação com Maio, devido aos factores atrás referidos.

4.2 - Perfis de Microprodução Eólica

Uma vez obtidas as bases de dados consistentes, com os dados já organizados, filtrados, completos e pré-processados, correspondentes aos microprodutores eólicos e à PRE em MT de 2007, 2008 e 2009, torna-se possível passar às fases seguintes para determinar os perfis típicos de μP eólica.

4.2.1 - Normalização

Através da aplicação da equação (3.13), é realizada a normalização dos dados da amostra de microprodutores eólicos, e das amostras da PRE de 2007, 2008 e 2009. Como resultado obtém-se todos os valores entre a gama [0,1] para cada valor do novo diagrama. Os novos diagramas obtidos para cada amostra apresentam-se nas figuras 4.11 a 4.14.

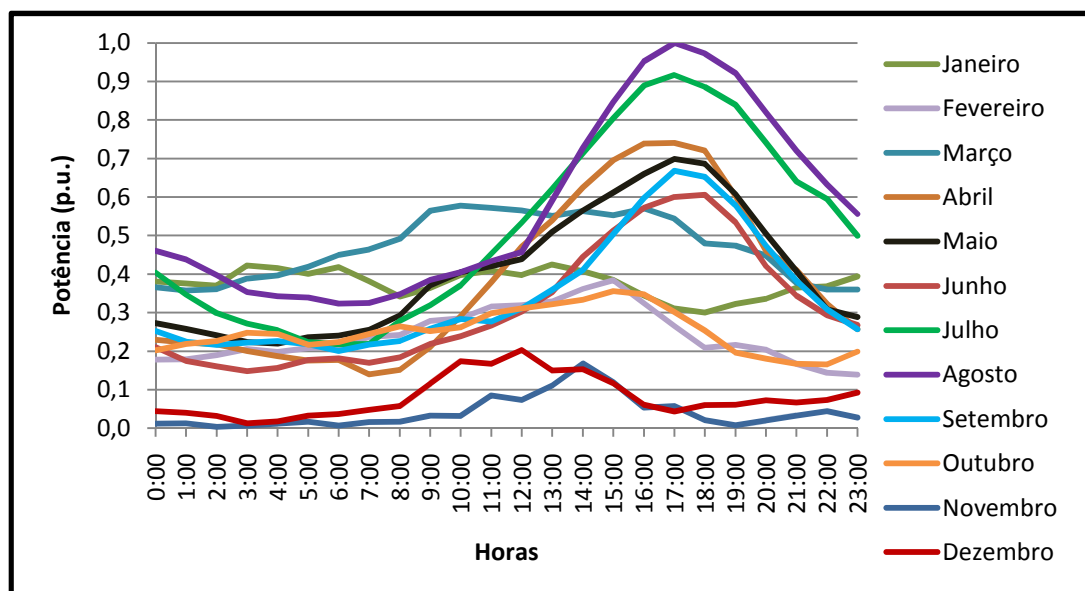


Figura 4.11 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da amostra de microprodutores eólicos.

Analisando a figura 4.11, verifica-se que os meses de Julho e Agosto correspondem aos meses que apresentam as maiores curvas p.u., ou seja, são considerados os meses onde a produção de energia eléctrica é, em média, superior. Constata-se, também, que principalmente nos meses de Primavera e Verão, a produção eólica é superior durante o dia que durante a noite. De realçar a elevada produção entre as 15:00 e as 19:00 horas para Julho e Agosto, pois, como é sabido, estes meses apresentam ventos fortes neste período, principalmente no Litoral de Portugal Continental.

Para esta amostra, é de realçar o baixo nível de produção para os meses de Novembro e Dezembro. Isto justifica-se pela ausência de dados de valores de potência em alguns microprodutores. As causas desta situação, já foram salientadas previamente. Ao contrário do que acontece no caso solar, não se dispõe de uma ferramenta (tipo programa PVGIS) para ajustar os dados da eólica. Desta forma, na fase seguinte da metodologia, vão apresentar um menor peso que os outros meses, para não condicionarem fortemente a construção e determinação dos perfis de μP de origem eólica.

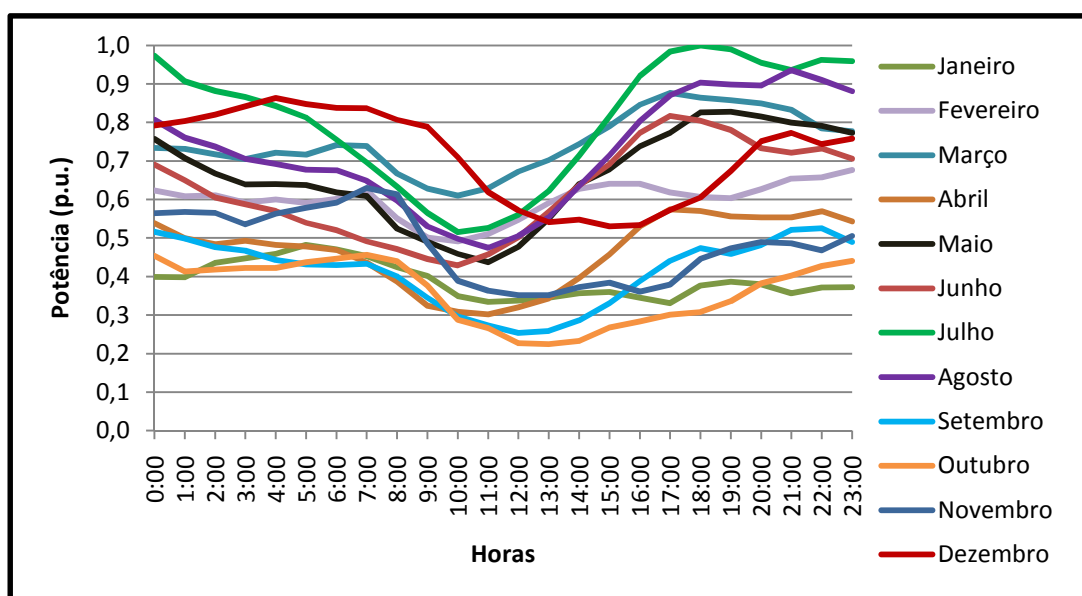


Figura 4.12 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da amostra da PRE em MT de 2007.

Relativamente a 2007, verifica-se que novamente os meses de Julho e Agosto apresentam os diagramas mais elevados. No entanto, é de realçar os elevados valores de produção em Dezembro. Em 2008, a curva correspondente a Agosto equivale à curva que adquire maior produção de energia, nomeadamente entre as 17:00 e as 19:00 horas.

Em 2009, verifica-se que o diagrama representativo da μP do mês de Julho corresponde ao diagrama que adquire maiores valores de produção. Para a amostra da PRE em 2009, só é possível conhecer os diagramas até Outubro, dado o limite de obtenção de registos.

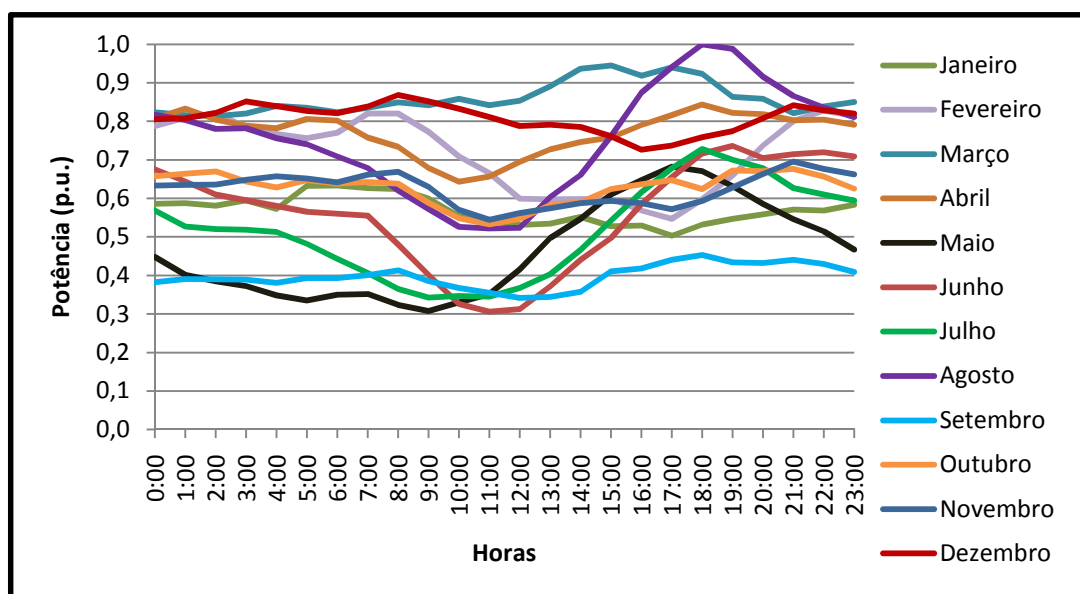


Figura 4.13 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da amostra da PRE em MT de 2008.

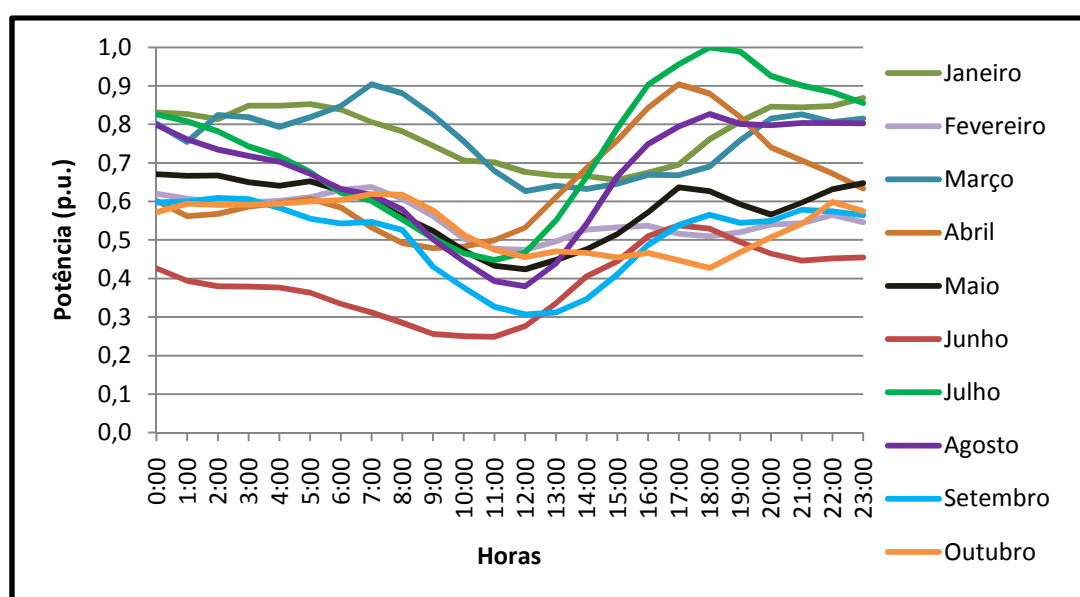


Figura 4.14 - Normalização dos diagramas diários representativos de cada mês da amostra da PRE em MT de 2009.

Com o objectivo de tornar mais compreensível e evidente o comportamento da produção eólica, são apresentados de seguida três gráficos representativos a três meses distintos que analisam os diagramas de produção de energia ao longo dos registos de 2007, 2008 e 2009. Esta análise tem como objectivo constatar se a produção eólica, afinal, apresenta ou não grande variabilidade e comportamentos sazonais bastante típicos ao longo dos anos.

Em primeiro lugar, são analisados os diagramas de produção de electricidade de Janeiro dos últimos três anos, como se pode observar na figura 4.15.

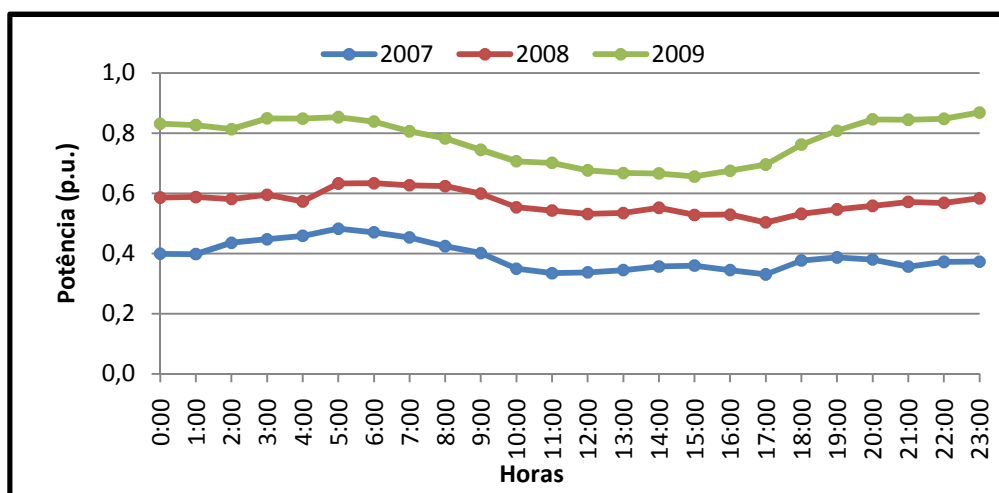


Figura 4.15 - Diagramas diários da produção de electricidade em Janeiro das amostras da PRE.

Analisando a figura 4.15, conclui-se que o comportamento da produção em Janeiro ao longo dos três anos é semelhante, apesar das amplitudes obtidas serem diferentes de ano para ano, ou seja, em 2009 houve maior produção de energia eléctrica do que em 2008 e 2007. Esta análise permite concluir que para Janeiro, a produção eólica apresenta um comportamento sazonal típico, apesar das variações das velocidades nos últimos três anos.

Na figura 4.16 apresentam-se os diagramas de produção de electricidade de Abril dos últimos três anos. Pode-se verificar que através da análise de registos ao longo dos três anos, para o mês de Abril, a produção de energia eólica apresenta alguma variabilidade tanto em forma como em amplitude.

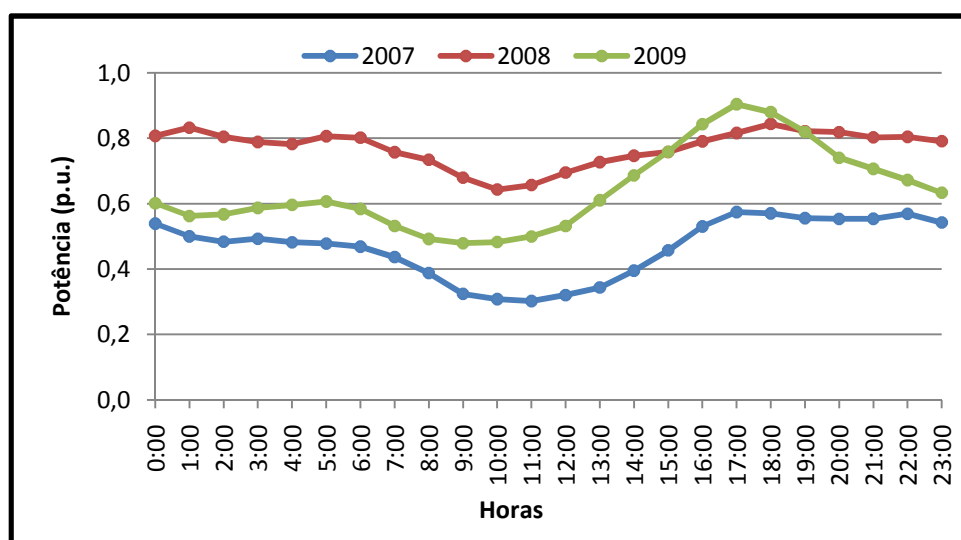


Figura 4.16 - Diagramas diários da produção de electricidade em Abril das amostras da PRE.

Em Agosto, conclui-se que o comportamento do vento é bastante típico e regular ao longo dos anos, assim como a produção de energia eléctrica a partir de unidades de produção de origem eólica, como se pode observar na figura 4.17. De realçar, que Agosto é um dos meses em que ocorre maior produção de electricidade de origem eólica, visto se tratar do mês que apresenta maiores velocidades do vento, em especial entre as 16:00 e as 20:00 horas, principalmente no Litoral de Portugal. De referir que as manhãs do mês de Agosto correspondem aos períodos do dia que se verifica menor produção.

Os gráficos correspondentes aos restantes meses encontram-se no Anexo B nas figuras B.1 a B.9.

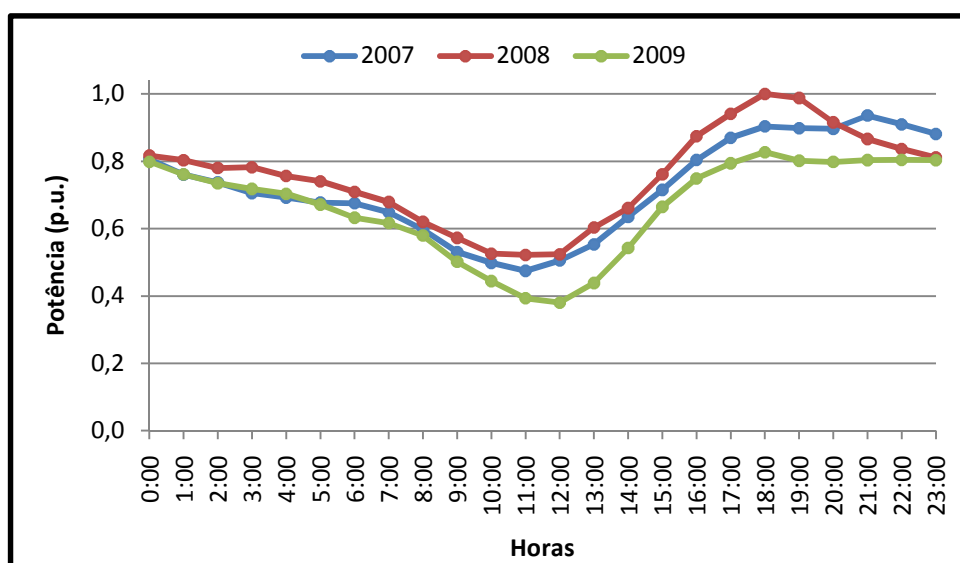


Figura 4.17 - Diagramas diários da produção de electricidade em Agosto das amostras da PRE.

Analisando as figuras de todos os meses, conclui-se que a produção eólica apresenta comportamentos sazonais bastante regulares principalmente em Agosto e Setembro, embora noutros meses (Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro, Novembro e Dezembro) seja bastante menos regular, como se constata na análise ao longo de três anos de registos. Para Janeiro, Junho e Julho observa-se que a produção eólica apresenta um comportamento semelhante nos últimos três anos, embora varie em amplitude.

Os meses que apresentam comportamentos de produção regulares e sazonais bastante típicos, constatados na análise dos dados ao longo dos três anos de registos (2007, 2008 e 2009), facilitarão o planeamento e a previsão da produção eólica.

De realçar, também, que nos últimos três anos, verificou-se uma maior produção de electricidade durante o dia. Importa salientar novamente, que para Novembro e Dezembro apenas são conhecidos os valores de 2007 e 2008, porque na amostra de 2009 não são disponibilizados valores de produção eólica para esses meses, dado o limite de obtenção de registos.

4.2.2 - Atribuição dos Pesos

Com os dados de todas as amostras já normalizados, passa-se à atribuição dos pesos a cada componente (μP , PRE 2007, PRE 2008, PRE 2009), através da aplicação da equação (3.14). Como já foi referido, nos meses onde há falta de informação sobre valores de potência, o peso correspondente é menor que nas situações onde existe mais informação. Deve-se salientar que em todos os meses, a soma dos pesos das diferentes amostras tem que ser igual. No âmbito desta dissertação, optou-se que esse valor deve ser igual a 1, de modo a não introduzir distorções na energia mensal produzida. Na tabela 4.10 apresentam-se os pesos de cada mês nas amostras respectivas à μP e à PRE.

Tabela 4.10 - Pesos para cada componente.

Mês	Amostra de microprodutores	Amostra de PRE 2007	Amostra de PRE 2008	Amostra de PRE 2009	Total
Janeiro	0,1	0,2	0,3	0,4	1
Fevereiro	0,3	0,2	0,2	0,3	1
Março	0,3	0,15	0,25	0,3	1
Abril	0,3	0,15	0,25	0,3	1
Maior	0,3	0,15	0,25	0,3	1
Junho	0,3	0,1	0,3	0,3	1
Julho	0,3	0,1	0,3	0,3	1
Agosto	0,3	0,1	0,3	0,3	1
Setembro	0,3	0,1	0,3	0,3	1
Outubro	0,3	0,1	0,3	0,3	1
Novembro	0	0,4	0,6	0	1
Dezembro	0	0,4	0,6	0	1

Os pesos são atribuídos conforme a utilidade e a influência que cada registo possui para a determinação dos perfis de μP eólica. A atribuição é realizada tendo em conta os seguintes critérios:

- Proporcionalidade relativamente ao número de dados da amostra no mês;
- Os registos mais antigos são afectados com um peso menor ou igual que os registos mais recentes.

Atribuídos os pesos para cada componente, são corrigidos, para cada hora de cada mês, os valores dos diagramas representativos de μP de origem eólica através da equação (3.15).

4.2.3 - Determinação dos Perfis Típicos de Microprodução Eólica

Para finalizar, realiza-se a determinação e construção dos perfis típicos de μP eólica para todo o ano de 2010. O perfil global é determinado em função dos dados da μP , da PRE em MT de 2007, de 2008 e de 2009, como já foi salientado previamente. Para cada hora de cada

mês, o valor do perfil global diário será determinado a partir da equação (3.16). Dada a dimensão em causa, optou-se por apresentar no Anexo B na tabela B.1 os resultados obtidos desta operação, e os diagramas médios diários de μP de origem eólica apresentam-se na figura 4.18.

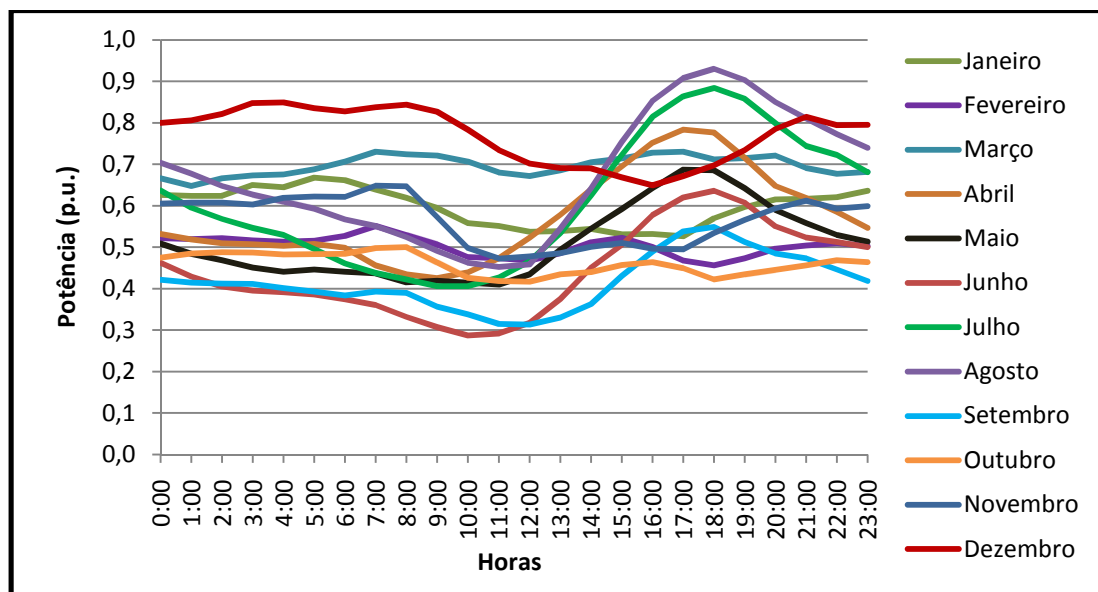


Figura 4.18 - Perfil diário de μP de origem eólica.

Analisando a figura 4.18, conclui-se que as curvas p.u. para os meses de Julho, Agosto e Dezembro são as mais elevadas. Constata-se que os meses correspondentes a cada estação do ano (Inverno, Primavera, Verão e Outono) apresentam comportamentos típicos de μP bastante semelhantes.

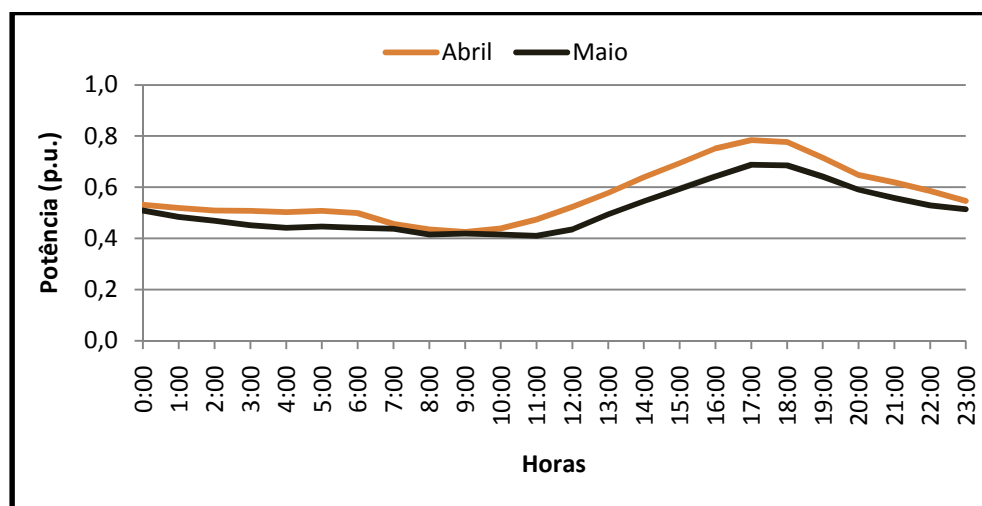


Figura 4.19 - Perfil diário de μP de origem eólica para Abril e Maio.

Relativamente aos meses da Primavera (Abril e Maio) verifica-se que o comportamento típico da μP é bastante semelhante, como pode ser constatado na figura 4.19.

Comparando o perfil da μP de Julho com o de Agosto, conclui-se que, também, apresentam comportamentos típicos regulares. Comparando os comportamentos de Julho e Agosto com os de Junho e Setembro, constata-se alguma semelhança, todavia é de realçar as variações das produções eólicas devido às diferentes velocidades de vento existentes em cada mês. Para todos estes meses atrás referidos, conclui-se que ocorre maior produção de energia eléctrica durante o dia que à noite, principalmente entre as 16:00 e as 20:00 horas.

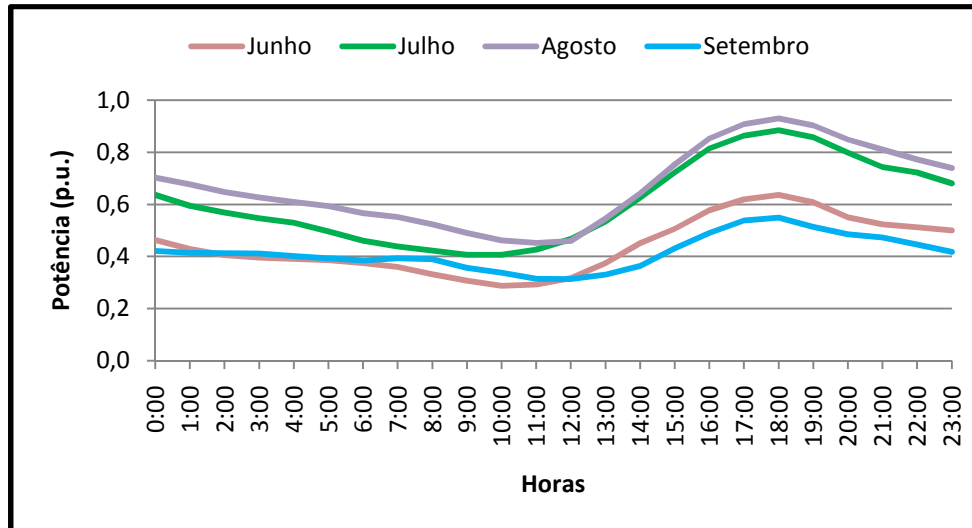


Figura 4.20 - Perfil diário de μP de origem eólica para Junho, Julho, Agosto e Setembro.

Para Janeiro, Fevereiro e Março, verifica-se na figura 4.21 que os comportamentos típicos de μP eólica são semelhantes, contudo observa-se grande variabilidade na amplitude dos perfis.

Junho é o mês que apresenta menor amplitude de produção eólica. Nota-se também que em Dezembro é o mês com maior produção eólica, principalmente durante a noite.

Em Outubro e Novembro, igualmente, são observados comportamentos semelhantes, apesar das diferenças em amplitude. Entre as 8:00 e as 14:00 horas é de realçar o decréscimo de produção de energia eléctrica.

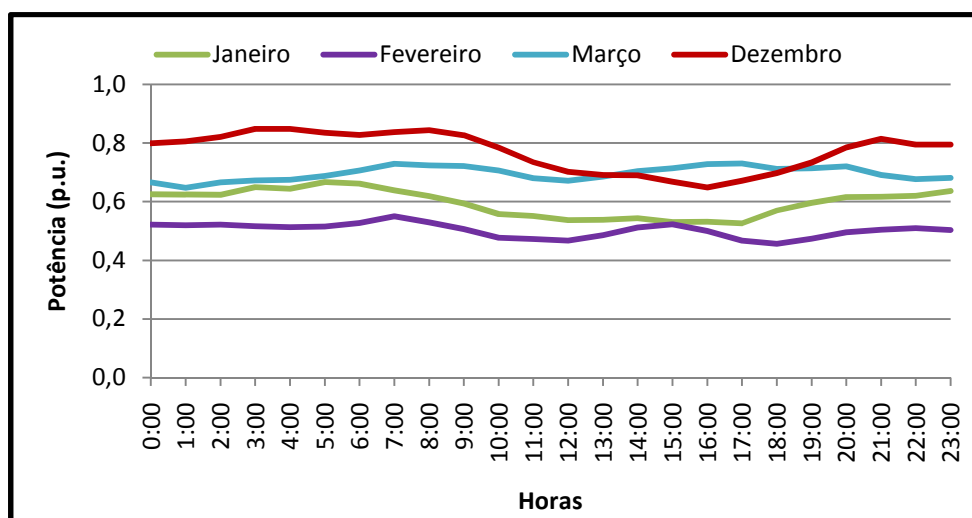


Figura 4.21 - Perfil diário de μP de origem eólica para Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro.

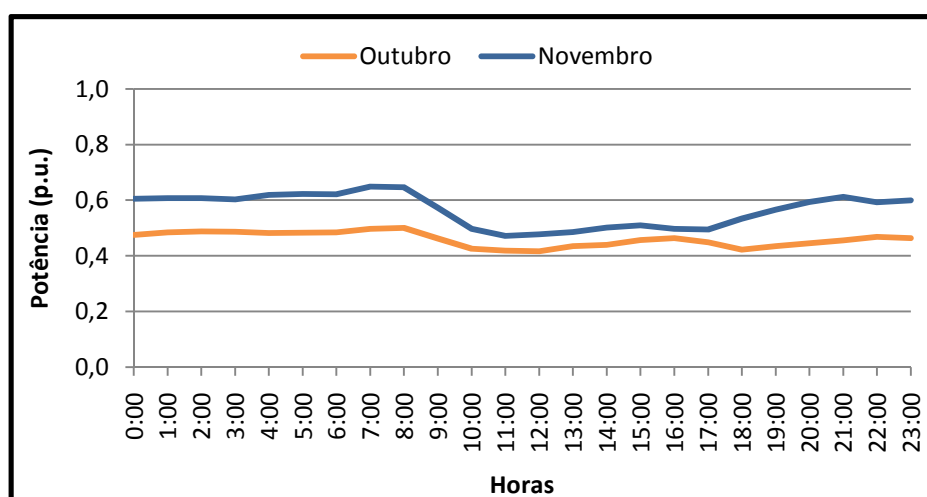


Figura 4.22 - Perfil diário de μP de origem eólica para Outubro e Novembro.

Para a construção do perfil típico anual de μP eólica deve-se seguir os passos descritos no capítulo anterior, e ter em consideração os dias de mudança de hora e outras particularidades do ano específico em consideração. Tendo em conta a dimensão do perfil anual de μP de origem eólica, optou-se por apresentá-lo no Anexo B na figura B.10.

Como foi referido do capítulo anterior, é realizada, também, a divisão da amostra de dados em função da zona geográfica, efectuando-se a separação entre os microprodutores localizados no Litoral e no Interior, com o objectivo de quantificar a relação entre produções nestas regiões. Esta divisão permite, ainda, conhecer o estado actual da μP de origem eólica em Portugal.

Importa salientar que, para se efectuar este estudo, apenas é utilizada a amostra correspondente à μP , simplesmente porque nesta amostra se disponibilizam as Potências de Ligação das unidades de μP de origem eólica. Nas amostras correspondentes à PRE em MT, tais valores não foram disponibilizados. O conhecimento do valor da Potência de Ligação é indispensável para que seja possível, posteriormente, analisar a produção de energia eléctrica em termos de horas equivalentes. Nesta amostra eólica, todas as unidades de μP têm a mesma Potência de Ligação, que é 3,68 kW.

Inicialmente são calculadas as energias médias diárias produzidas representativas de cada mês e determinadas as energias médias mensais a partir dos registos da amostra. Os resultados obtidos apresentam-se nas tabelas 4.11 e 4.12, bem como as diferenças entre Litoral e Interior.

Tabela 4.11 - Energia média diária em cada mês (kWh) em função da zona geográfica para a μP eólica.

Energia média diária (kWh)			
Mês	Litoral	Interior	Diferença
Janeiro	4,35	3,12	1,23
Fevereiro	2,07	2,75	-0,68
Março	5,44	3,92	1,53
Abril	4,55	3,08	1,47
Maio	4,77	3,32	1,45
Junho	3,55	2,73	0,82
Julho	6,45	3,81	2,64
Agosto	7,00	4,44	2,55
Setembro	4,08	2,85	1,23
Outubro	2,58	2,45	0,13
Novembro	0,11	0,70	-0,58
Dezembro	0,00	1,61	-1,61
TOTAL	44,95	34,79	10,17

Tabela 4.12 - Energia média mensal (kWh) em função da zona geográfica para a μP eólica.

Energia média mensal (kWh)			
Mês	Litoral	Interior	Diferença
Janeiro	134,81	96,79	38,01
Fevereiro	57,92	77,07	-19,15
Março	168,78	121,47	47,31
Abril	136,52	92,39	44,13
Maio	147,84	103,02	44,82
Junho	106,40	81,80	24,59
Julho	200,05	118,23	81,82
Agosto	216,92	137,73	79,20
Setembro	122,35	85,55	36,80
Outubro	79,99	75,87	4,12
Novembro	3,45	20,96	-17,51
Dezembro	0,00	49,87	-49,87
TOTAL	1375,02	1060,77	314,26

Analisando as tabelas 4.11 e 4.12 e as figuras 4.23 e 4.24, conclui-se que, em média, durante um dia representativo de cada mês e durante o mês, a produção de energia eléctrica é superior no Litoral em relação ao Interior, excepto para os meses de Fevereiro, Novembro e Dezembro que apresentam maior produção de energia no Interior. Em Fevereiro, tal deve acontecer, porque possivelmente o Interior deve apresentar, em média, maiores velocidades de vento que o Litoral.

Os resultados obtidos para os meses de Novembro e Dezembro não são muito satisfatórios, porque apresentam baixos níveis de produção, chegando mesmo a apresentar produção nula em Dezembro no Litoral. Isto deve-se ao facto nestes meses haver falta de registos, principalmente na amostra correspondente ao Litoral. Desta forma, os resultados adquiridos para estes meses não servem para caracterizar de forma robusta o comportamento típico diário e mensal de produção de energia através de unidades de μP de origem eólica.

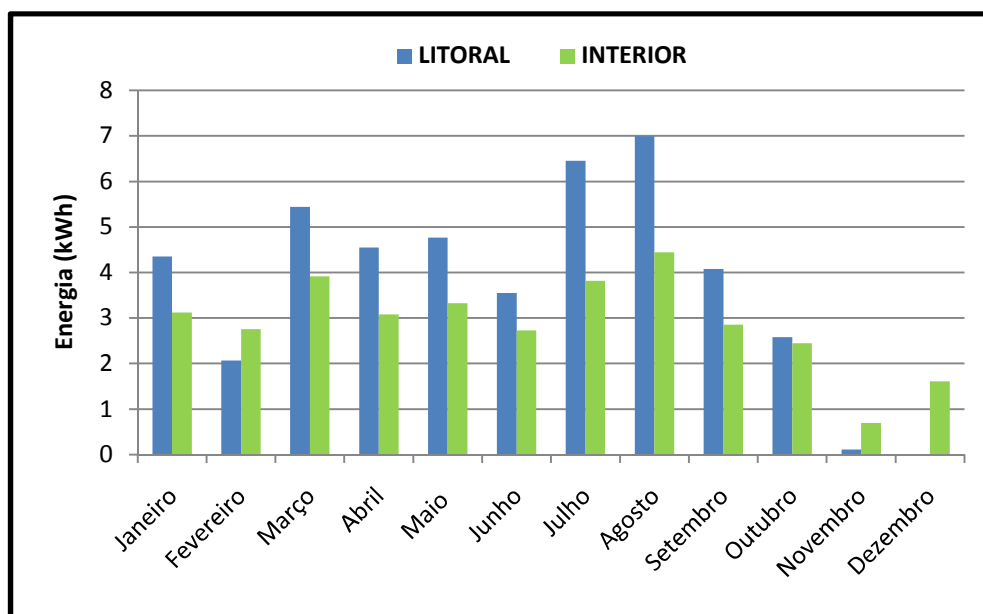


Figura 4.23 - Energia média diária em cada mês (kWh) em função da zona geográfica para a μP eólica.

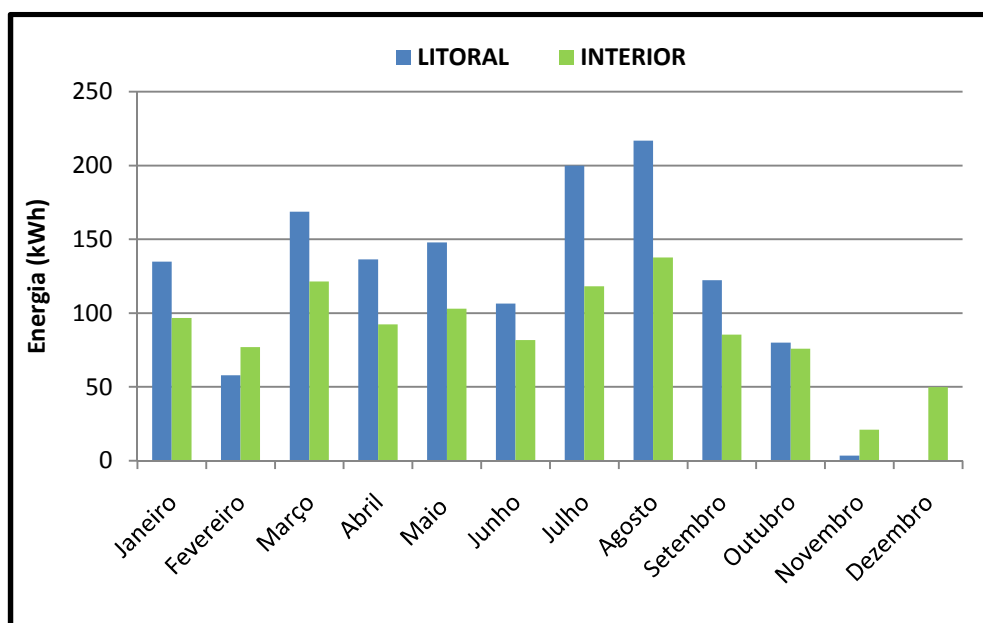


Figura 4.24 - Energia média mensal (kWh) em função da zona geográfica para a μP eólica.

Posteriormente, é determinada a energia total produzida durante o ano para cada zona geográfica a partir da base de dados inicial, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 4.13 - Energia total produzida (MWh) na amostra em função da zona geográfica para a μP eólica.

	Energia produzida (MWh)	%
Litoral	9,58	58 %
Interior	6,94	42 %
Global	16,53	100 %

Em função dos registos da base de dados, conclui-se que no Litoral se produz mais 2,64 MWh de energia, ou seja, mais 16 % que Interior. Isto seria de esperar, visto as velocidades de vento no Litoral de Portugal Continental serem superiores às do Interior, como já foi ilustrado na figura 1.5.

Tal como a μP de origem solar, também para a μP de origem eólica é interessante uma análise relativamente ao número médio de horas equivalentes à produção de energia eléctrica durante um ano. Aplicando a equação (4.1), obtêm-se os seguintes resultados:

Tabela 4.14 - Horas equivalentes (h) em função da zona geográfica para a μP eólica.

	Horas equivalentes (h)
Litoral	373,65
Interior	288,25

Analisando a tabela 4.14, constata-se que o Litoral produz, em média, electricidade em mais horas durante um ano. Tal resultado é esperado devido aos diversos factores já referidos.

Deste modo, qualquer consumidor de BT que deseje instalar uma unidade de μP de origem eólica, por exemplo, com uma Potência de Ligação de 3,68 kW, produzirá em média aproximadamente 1,38 MWh de energia eléctrica durante o ano admitindo que esteja situado no Litoral, e aproximadamente 1,06 MWh supondo que o microprodutor esteja localizado no Interior de Portugal Continental.

Capítulo 5

Conclusões

Neste último capítulo apresentam-se as principais conclusões retiradas ao longo da realização da dissertação. Começa-se por expor as principais conclusões relacionadas com o objectivo primordial da dissertação e, em seguida, apresentam-se as diversas conclusões relacionadas com os restantes objectivos, nomeadamente a caracterização actual da μP de origem solar e eólica em Portugal.

Para finalizar o capítulo são apresentadas algumas sugestões de trabalhos futuros, que poderão ser interessantes para aperfeiçoar a determinação dos perfis típicos de μP dos próximos anos.

5.1 - Conclusões Finais

O trabalho realizado tem como objectivo principal conhecer melhor a situação actual da μP em Portugal através da determinação dos perfis típicos, com base em valores de produção de energia eléctrica registados por microprodutores.

Foram desenvolvidas duas metodologias, uma para a determinação dos perfis típicos de μP de origem solar e outra para μP de origem eólica. Com estes desenvolvimentos, pretendeu-se organizar de uma forma estruturada, os principais passos, procedimentos, métodos e técnicas a aplicar nestes processos.

Relativamente ao tratamento inicial dos dados, foi possível concluir, que este foi eficaz, porque permitiu evitar que os problemas inerentes aos dados das amostras iniciais afectassem os resultados obtidos.

Em relação à μP solar, concluiu-se que os perfis solares apresentam grande regularidade, pois a radiação solar tem um comportamento bastante previsível. Os perfis de Julho e Agosto apresentam maiores níveis de produção solar, devida à melhor combinação dos seguintes factores: maior radiação solar, maior número de horas de Sol e menor ocorrência de fenómenos de nebulosidade comparativamente com os restantes meses do ano. Constatou-se, como de certo modo seria de esperar, que o perfil típico de μP de Abril é inferior ao de Março, pois Abril apresenta usualmente menores níveis de radiação solar (“Em Abril Águas

Mil”). Ou seja, apesar de o calor começar a aparecer neste mês, verifica-se o aparecimento da chuva, bem como a nebulosidade associada.

É de realçar, também, o nível inferior do perfil correspondente a Junho em comparação com Maio. Embora, o PVGIS determine que o nível de radiação solar em Junho seja superior a Maio, verificou-se que em Junho a μP de origem solar é inferior a Maio. Isto deve-se ao facto de em Junho de 2009 ter existido possivelmente maior nebulosidade do que em Maio. Será conveniente analisar esta situação nos próximos anos para se verificar se este ano foi um caso excepcional ou se de facto é regra de todos os anos.

Verificou-se que os valores reais de produção se encontram próximos dos valores determinados através das ferramentas disponibilizadas pelo programa PVGIS. As ferramentas disponibilizadas pelo PVGIS apresentam uma enorme utilidade e interesse para a realização de trabalhos científicos relacionados com a produção solar, porque permitem o acesso interactivo a dados associados à radiação solar e à energia produzida, a mapas e outras ferramentas para investigação. No âmbito desta dissertação, o PVGIS também foi utilizado na resolução de alguns problemas, nomeadamente no combate à quantidade de informação insuficiente em alguns meses, através do cálculo de factores de reajuste.

A divisão da base de dados inicial por zona geográfica permitiu concluir como esperado que, em média, durante um dia representativo de cada mês e durante um mês, a produção solar é superior no Sul em relação ao Norte, assim como as horas equivalentes à produção.

Relativamente à μP eólica, conclui-se que a produção eólica apresenta comportamentos sazonais bastante típicos e praticamente regulares, principalmente em Agosto e Setembro, apesar da sua menor regularidade noutros meses (Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro, Novembro e Dezembro), como se constata na análise nos últimos três anos de registos. Em Janeiro, Junho e Julho averigua-se que a produção eólica apresenta um comportamento semelhante nos últimos três anos em termos de forma do diagrama. Contudo, notam-se algumas diferenças em amplitude.

Os meses que apresentam comportamentos de produção eólica regulares e bastante típicos, tal como Agosto e Setembro, permitem caracterizar com maior certeza a produção eólica.

A divisão da base de dados inicial por zona geográfica possibilitou concluir que, em média, durante um dia representativo de cada mês e durante um mês, a produção eólica é superior no Litoral em relação ao Interior, bem como as horas equivalentes à produção.

Tendo em consideração os objectivos definidos do primeiro capítulo desta dissertação, pode-se concluir que o trabalho desenvolvido e apresentado cumpriu esses objectivos, determinando-se perfis típicos de μP , importantes para a gestão do sistema eléctrico, nomeadamente no que diz respeito ao funcionamento do mercado de electricidade.

Conclui-se que foi criado um método de trabalho, que poderá ser útil para projectos futuros de investigação relacionados com a construção e determinação dos perfis típicos de μP de energia eléctrica para os próximos anos, independentemente do tipo e volume de dados disponíveis.

5.2 - Trabalhos Futuros

Os trabalhos futuros sugeridos são os seguintes:

- Um dos principais trabalhos futuros a desenvolver, consiste na redução dos dados anómalos e de dados em falta existentes nas amostras reais disponibilizadas para a determinação dos perfis típicos de μP . Os dados anómalos e ausência de dados têm origem nos sistemas de medição e devem-se a problemas de comunicações ou à ocorrência de contingências. Os aparelhos de telecontagem (contadores) deverão ser, no futuro, mais sofisticados para que situações como estas fossem evitadas. Quanto menos problemas forem verificados, com melhor qualidade terá a base de dados da amostra;
- No futuro, não se espera que um maior volume de dados relativamente à μP de origem solar fortaleça as variações sazonais. Porém, em relação à μP de origem eólica, quanto mais registos forem efectuados, mais completas e menos limitadas serão as amostras disponibilizadas, permitindo desta forma fortalecer os comportamentos sazonais da μP , e caracterizar com melhor qualidade os perfis eólicos, visto o vento apresentar um comportamento muito variável, ao contrário da radiação solar;
- Nos próximos anos será conveniente investigar se a produção solar em Junho é inferior a Maio, embora a radiação solar determinada pelo PVGIS seja superior em Junho. O objectivo desta investigação consiste em verificar se este ano se trata de uma situação excepcional ou se de facto é normal isto acontecer todos os anos;
- Actualmente as tecnologias de μP instaladas em Portugal são a fotovoltaica, a eólica, a hídrica e as combinadas. No entanto, hoje em dia, a hídrica e as combinadas não tem grande expressão no mercado de electricidade. Desta forma, não é interessante determinar perfis associados a estes tipos de tecnologias. Contudo, é possível que no futuro estas ou outras tecnologias possam aparecer e começar a ter grande expressão no mercado. Caso isto se verifique, poderá ser interessante efectuar uma análise da necessidade de considerar perfis associados a estes tipos de tecnologias de μP .

Referências

- [1] “Energias Renováveis em Portugal”, in *Ministério da Economia e da Inovação*, Outubro de 2007. Disponível em http://www.min-economia.pt/document/Energias_Renov_PT.pdf. Acesso a 25/Fevereiro/2010.
- [2] Rita Joana da Cruz Alves, “Mudança do Paradigma Energético: Microgeração em Portugal”, Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais, 2008.
- [3] Energy for a changing World. European Commission Energy . Disponível em http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/index_en.htm. Acesso a 21/Fevereiro/2010.
- [4] Castro, Rui M. G, “INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA”, Edição 4, Energias Renováveis e Produção Descentralizada, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa Lisboa, Março 2009.
- [5] Filipe Pereira, “Dimensionamento de um sistema de venda de energia eléctrica à rede”, in Publindústria, Lda, 2010, Renováveis Magazine, Vol. nº 1, pp. 54-57.
- [6] Bruno Pires e Nuno Pincante, “MICROGERAÇÃO” , Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Novembro de 2007.
- [7] Diário da República, Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro, 2007. Disponível em <http://www.dre.pt/pdf1sdip/2007/11/21100/0797807984.PDF>. Acesso a 19/Fevereiro/2010.
- [8] Tânia Nascimento, “Microgeração”, pp. 77-83, Setembro de 2008. Disponível em http://www.abbc.pt/xms/files/77-83_Extra.pdf. Acesso a 4/Março/2010.
- [9] Nuno Melo, Ricardo Prata, Rui Gonçalves and Francisco Mira, “Microgeneration in Portugal - EDP Experience and Future Perspectives”, in *Electricity Distribution - Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition on*, pp. 1-4, Prague, 8-11 Junho de 2009.
- [10] Roque Filipe Mesquita Brandão, “Centrais Fotovoltaicas para a Microprodução”, in *Neutro À Terra - Revista Técnico-Científica |Nº4| Outubro de 2009*, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2º semestre de 2009, ano 2, pp. 33-39, ISSN 1647-5496. Disponível em http://ave.dee.isep.ipp.pt/~nt/NeutroATerra_N4_Out2009.pdf. Acesso a 12/Abril/2010.

- [11] European Commission, Joint Research Centre. PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System. Disponível em <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>. Acesso a 5/Março/2010.
- [12] “Energia solar em Portugal e na Europa”, in *Energias Renováveis*. Disponível em <http://energiabarata.blogspot.com/2009/08/energia-solar-em-portugal-e-na-europa.html>. Acesso a 21/Fevereiro/2010.
- [13] ALUMNI, UPORTO, “Uma luz que se acende”, INESC PORTO, [Online] Março 2009. Disponível em <http://www2.inescporto.pt/use/noticias-eventos/nos-na-imprensa/uma-luz-que-se-acende/>. Acesso a 22/Maio/2010.
- [14] The World of Wind Atlases - Wind Atlases of the World, Wind Energy Division. Disponível em <http://www.windatlas.dk/Europe/Index.htm>. Acesso a 20/Abril/2010.
- [15] 1º Relatório Bienal de Execução da Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015). Disponível em http://desenvolvimentosustentavel.apambiente.pt/EstrategiaNacional/RelatoriosAvaliacao/Documents/IRELBIENAL_11_02_10_ENDS.pdf. Acesso a 16/maio/2010.
- [16] Virgílio Azevedo, Democracia Energética - INESC Porto. Disponível em <http://www2.inescporto.pt/noticias-eventos/nos-na-imprensa/democracia-energetica>. Acesso a 25/Fevereiro/2010.
- [17] Microprodução, EDP distribuição. Disponível em <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/produtor/microgeracao/Pages/microgeracao.aspx>. Acesso a 20/Fevereiro/2010.
- [18] Carlos Moreira, “Microgeração e Micro-Redes”, 2010.
- [19] “Microprodução Renovável na Hora - Renováveis na Hora”, in *Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento*, Setembro 2007.
- [20] Renováveis na Hora. Disponível em <http://www.renovaveisnaha.pt/inicio>. Acesso a 18/Fevereiro/2010.
- [21] Camus, Cristina and Eusébio, Eduardo, “Micro-generation Evaluation of the Zero Emissions Technologies in the Portuguese Market”, in *Electricity Market, EEM 2008, 5th International Conference on European*, pp. 1-6, Maio 2008.
- [22] “Guia para a certificação de uma unidade de microprodução”, Versão 10, Fevereiro 2010, Renováveis na Hora. Disponível em http://www.renovaveisnaha.pt/c/document_library/get_file?folderId=15654&name=DLFE-4403.pdf. Acesso a 4/Março/2010.
- [23] João A. Peças Lopes, António M. Aires Messias, Rui M. P. Gonçalves, “CASO DE ESTUDO- Redes de energia inteligentes como contributo da engenharia portuguesa para o desenvolvimento sustentável”, in *INGENIUM*, Ingenium Edições, Lda., II SÉRIE, N.º 112, pp. 44-47, Julho/Agosto 2009.
- [24] Carlos C. L. Moreira, “Identification and Development of Microgrids Emergency Control Procedures”, Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Julho de 2008.
- [25] Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, “Energia Solar - Princípios e Aplicações”.
- [26] Energlobo - energias renováveis. Disponível em <http://www.energlobo.pt/microproducao.html>. Acesso a 25/Fevereiro/2010.

- [27] Laboratório de Ambiente Marinho e Tecnologia, “Funcionamento de um painel fotovoltaico”. Disponível em <http://www.lamtec-id.com/energias/paineis.php>. Acesso a 1/Março/2010.
- [28] Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente (CEEETA), “5 - Micro-Turbinas Eólicas”, “Tecnologia de Micro-geração e Sistemas Periféricos”, Dezembro de 2001. Disponível em <http://www.ceeeta.pt/downloads/pdf/MicroEolicas.pdf>. Acesso a 1/Março/2010.
- [29] Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente (CEEETA), “2 - Pilhas de Combustível”, “Tecnologia de Micro-geração e Sistemas Periféricos”, Dezembro de 2001. Disponível em <http://www.ceeeta.pt/downloads/pdf/Pilhas.pdf>. Acesso a 1/Março/2010.
- [30] Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente (CEEETA), “1 - Micro-Turbinas a gás”, “Tecnologia de Micro-geração e Sistemas Periféricos”, Dezembro de 2001. Disponível em <http://www.ceeeta.pt/downloads/pdf/MicroGas.pdf>. Acesso a 2/Março/2010.
- [31] Cláudio Monteiro, “Microturbinas”. Disponível em http://paginas.fe.up.pt/~fmb/PTE2/Apontamentos%20PTE2/PTE2_Microturbinas.pdf. Acesso a 3/Março/2010.
- [32] Mott MacDonald, “System Integration of Additional Micro-generation (SIAM)”, in *DTI's Distributed Generation Programme*, Setembro de 2004.
- [33] D.M. Cao, D. Pudjianto, G. Strbac, A. Martikainen, S. Kärkkäinen and J. Farin, “Costs and Benefits of DG Connections to Grid System - Studies on the UK and Finnish Systems”, in *Research Project supported by the European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, under the Energy Intelligent Europe (EIE)*, Dezembro de 2006.
- [34] Goran Strbac, Paulo Moisés, Manuel Matos and João Abel Peças Lopes, “Annex H2.D. Microgrid support to security of supply and generation adequacy”, in *MORE MICROGRIDS - WPH, Annex H2.D to Deliverable DH2*, Dezembro de 2009.
- [35] A. Monticelli, “Electric Power System State Estimation”, in *PROCEEDINGS OF THE IEEE*, February 2000, Vol. 88, NO.2, pp. 262-282.
- [36] Vera Figueiredo, Fátima Rodrigues, Zita Vale, and Joaquim Borges Gouveia, “An Electric Energy Consumer Characterization Framework Based on Data Mining Techniques”, in *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 20, NO. 2, May 2005.
- [37] Vera Figueiredo, Fátima Rodrigues, Ricardo Pinto and Zita Vale, “A Data Mining Decision Support Tool to Study Electricity Retail Contracts”, *GECAD - Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão*, Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto, Portugal.
- [38] Marcel Suri, Thomas A. Huld, Ewan D. Dunlop and Heinz A. Ossenbrink, “Potencial of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries”, *Solar Energy* 81 (2007), Vol. 81, pp. 1295-1305.
- [39] Jonathan J. Stickel, “Data smoothing and numerical differentiation by a regularization method”, in *Computers and Chemical Engineering* 34 (2010), Elsevier Ltd., Vol. 34, pp. 467-475. Disponível online 21 de Outubro de 2009.

- [40] W. Hardle and J. S. Marron, “Fast and simple scatterplot smoothing”, in *Computational Statistics & Data Analysis*, Elsevier Science B.V., Vol. 20, pp. 1-17, 1995.
- [41] Manuel António Matos, “Manual Operacional para a Regressão Linear”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1995.
- [42] D. Gerbec, S. Gasperic, I. Smon and F. Gubina, “An Approach to Customers Daily Load Profile Determination”, in Chicago, IL, USA : Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE, Vol. 1, pp. 587-591.
- [43] D. Gerbec, S. Gasperic, I. Smon and F. Gubina, “Allocation of the Load Profiles to Customers Using Probabilistic Neural Networks”, in *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 20, NO.2, May 2005.
- [44] D. Gerbec, S. Gasperic, I. Smon and F. Gubina, “Consumers' Load Profile Determination Based on Different Classification Methods”, in Lab. of Power Syst., Ljubljana Univ., Slovenia: Power Engineering Society General Meeting, IEEE 2003, Vol. 2, pp. 990-995, 2003.
- [45] João Nuno Monteiro da Silva e Sousa, “Previsão da Produção Eléctrica em Parques Eólicos”, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (Área de Especialização em Energias Renováveis), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Dezembro de 2007.

Anexo A - Perfis de Microprodução Solar

Tabela A.1 - Valores de μP solar obtidos após realização do reajuste dos meses com falta de informação.

Microprodução Global Solar (kW)												
Horas	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0:00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03
1:00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03
2:00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,03
3:00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03
4:00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,03
5:00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03
6:00	0,03	0,01	0,17	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03
7:00	0,02	3,96	61,59	0,46	4,10	7,61	3,16	2,67	0,05	5,43	3,52	0,07
8:00	29,10	158,82	357,79	30,39	93,52	104,23	85,24	51,12	28,08	63,69	160,69	49,75
9:00	220,02	501,02	765,94	231,61	365,85	327,81	345,90	290,19	216,72	223,22	482,88	311,69
10:00	495,76	835,16	1134,34	577,54	732,83	629,83	723,74	676,18	621,25	542,71	797,81	697,06
11:00	712,05	1056,32	1407,65	889,06	1058,72	910,07	1075,92	1055,59	1024,16	873,04	914,11	921,03
12:00	791,31	1152,94	1532,99	1133,32	1307,76	1131,87	1344,60	1354,91	1337,66	1114,80	921,39	989,46
13:00	748,94	1144,74	1535,12	1284,29	1479,57	1305,82	1553,43	1572,43	1521,49	1236,04	852,90	955,58
14:00	652,67	1025,16	1444,14	1357,85	1562,88	1400,66	1653,29	1664,14	1584,88	1254,65	711,68	797,17
15:00	450,68	817,08	1214,89	1381,89	1554,04	1406,64	1657,01	1647,63	1546,45	1159,24	492,75	565,23
16:00	201,82	524,14	883,36	1274,19	1455,87	1304,46	1568,95	1535,24	1393,06	931,67	178,72	176,88
17:00	20,85	183,20	464,64	1060,43	1259,68	1134,56	1366,15	1309,77	1113,65	669,95	6,46	2,85
18:00	0,02	5,69	132,28	783,33	955,75	883,68	1072,57	990,62	726,17	363,64	0,02	0,02
19:00	0,01	0,00	33,34	427,94	552,59	537,03	666,27	561,26	316,50	95,47	0,02	0,02
20:00	0,01	0,00	7,94	124,23	207,41	231,84	276,95	192,89	54,97	1,01	0,02	0,02
21:00	0,01	0,00	0,02	4,02	28,99	49,97	53,82	16,97	0,17	0,01	0,02	0,02
22:00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,31	0,28	0,00	0,01	0,00	0,03	0,02
23:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02

Tabela A.2 - Valores suavizados de μP solar.

Microprodução Global Solar (kW)												
Horas	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0:00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
1:00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03
2:00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,03
3:00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,03
4:00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,03
5:00	0,03	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03
6:00	0,03	1,33	20,59	0,16	1,37	2,55	1,06	0,90	0,02	1,82	1,20	0,04
7:00	9,72	54,26	139,85	10,28	32,54	37,29	29,47	17,93	9,38	23,05	54,75	16,62
8:00	83,05	221,27	395,11	87,48	154,49	146,55	144,77	114,66	81,62	97,45	215,69	120,50
9:00	248,29	498,33	752,69	279,85	397,40	353,96	384,96	339,16	288,68	276,54	480,46	352,83
10:00	475,94	797,50	1102,64	566,07	719,13	622,57	715,19	673,99	620,71	546,33	731,60	643,26
11:00	666,37	1014,81	1358,32	866,64	1033,10	890,59	1048,09	1028,89	994,36	843,52	877,77	869,18
12:00	750,77	1118,00	1491,92	1102,22	1282,02	1115,92	1324,65	1327,64	1294,44	1074,63	896,13	955,36
13:00	730,97	1107,61	1504,08	1258,49	1450,07	1279,45	1517,10	1530,49	1481,34	1201,83	828,66	914,07
14:00	617,43	995,66	1398,05	1341,34	1532,16	1371,04	1621,24	1628,07	1550,94	1216,65	685,78	772,66
15:00	435,06	788,79	1180,80	1337,98	1524,26	1370,59	1626,41	1615,67	1508,13	1115,19	461,05	513,09
16:00	224,45	508,14	854,30	1238,84	1423,20	1281,89	1530,70	1497,55	1351,05	920,29	225,97	248,32
17:00	74,23	237,68	493,43	1039,32	1223,77	1107,57	1335,89	1278,55	1077,63	655,09	61,73	59,92
18:00	6,96	62,96	210,09	757,24	922,68	851,76	1035,00	953,88	718,77	376,35	2,17	0,96
19:00	0,01	1,90	57,85	445,17	571,92	550,85	671,93	581,59	365,88	153,37	0,02	0,02
20:00	0,01	0,00	13,77	185,40	263,00	272,95	332,35	257,04	123,88	32,16	0,02	0,02
21:00	0,01	0,00	2,65	42,75	78,81	94,04	110,35	69,95	18,38	0,34	0,02	0,02
22:00	0,01	0,00	0,01	1,34	9,67	16,76	18,03	5,66	0,06	0,01	0,02	0,02
23:00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,09	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01

Tabela A.3 - Valores do perfil diário de μP solar.

[illegible]

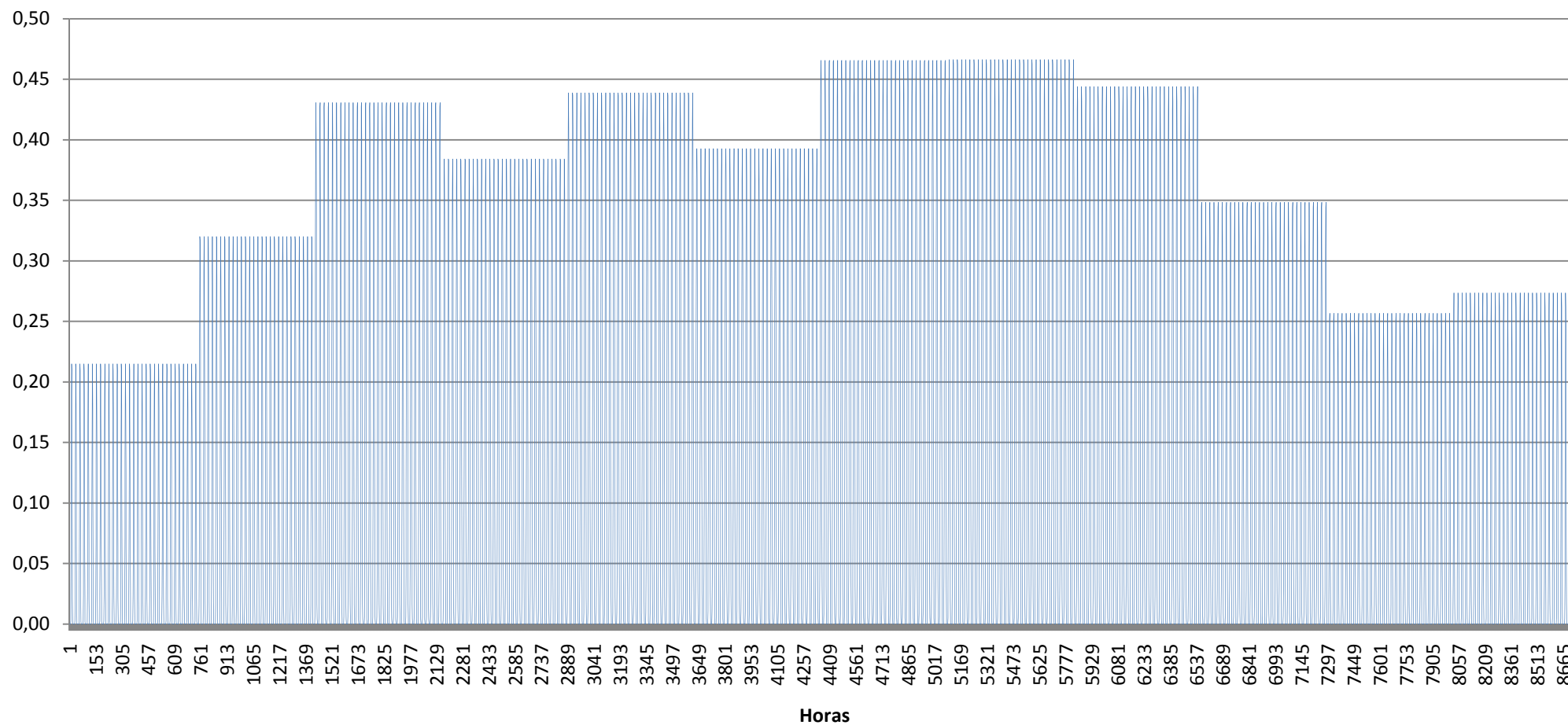


Figura A.1 - Perfil Anual de μP de origem solar.

Anexo B - Perfis de Microprodução Eólica

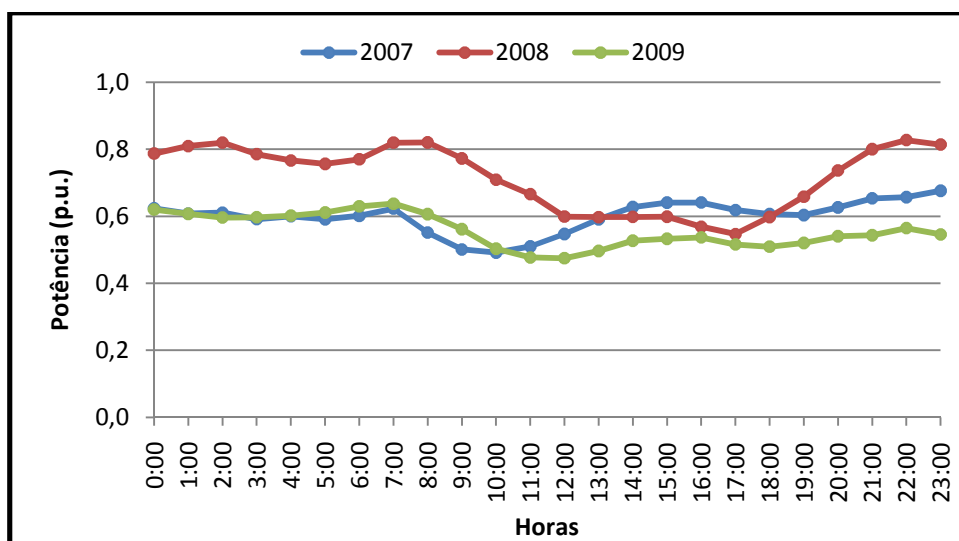


Figura B.1 - Diagramas diários da produção de electricidade de Fevereiro das amostras da PRE.

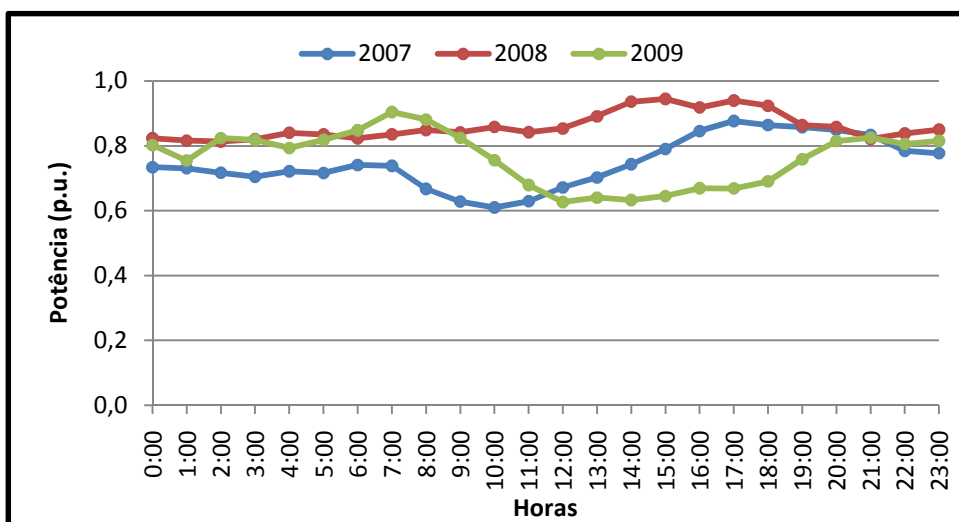


Figura B.2 - Diagramas diários da produção de electricidade de Março das amostras da PRE.

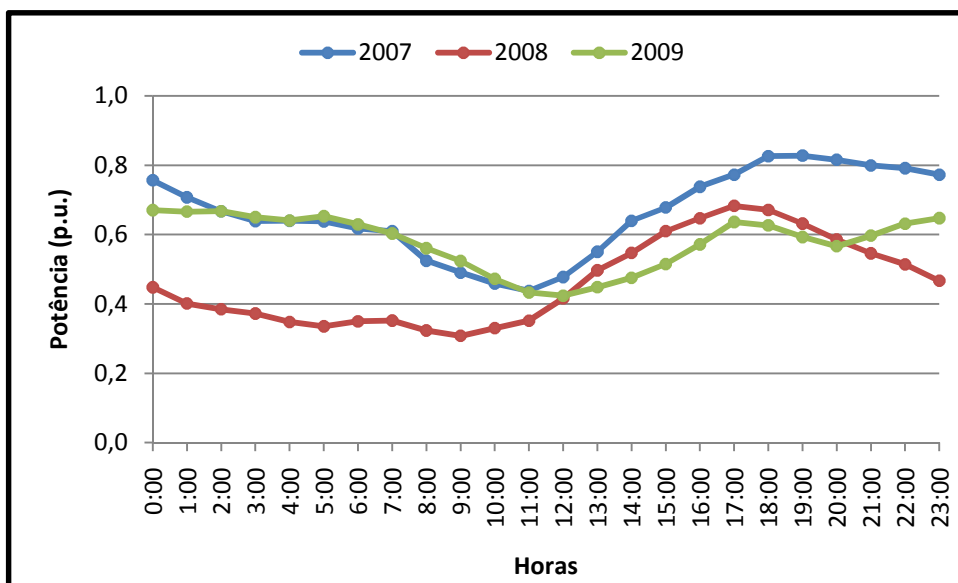


Figura B.3 - Diagramas diários da produção de electricidade de Maio das amostras da PRE.

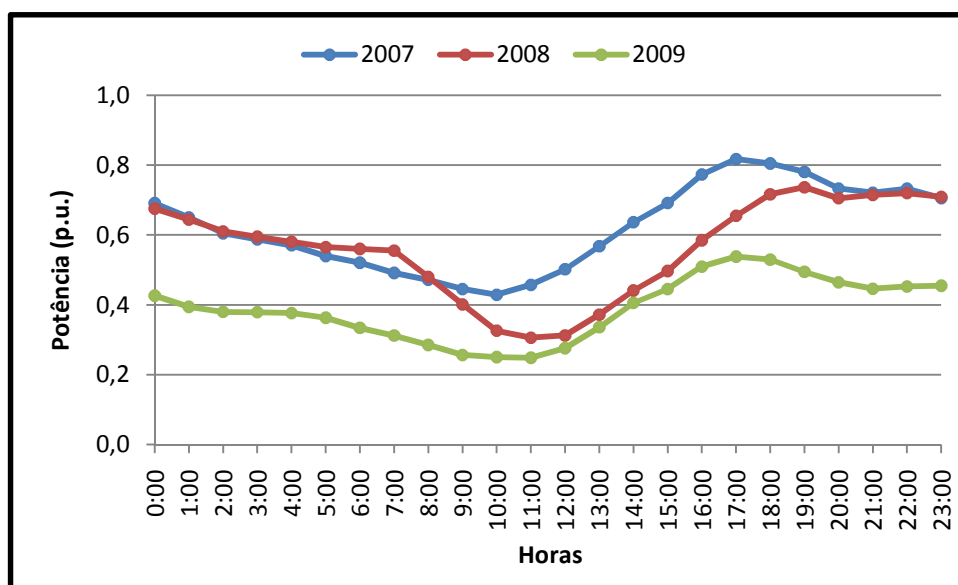


Figura B.4 - Diagramas diários da produção de electricidade de Junho das amostras da PRE.

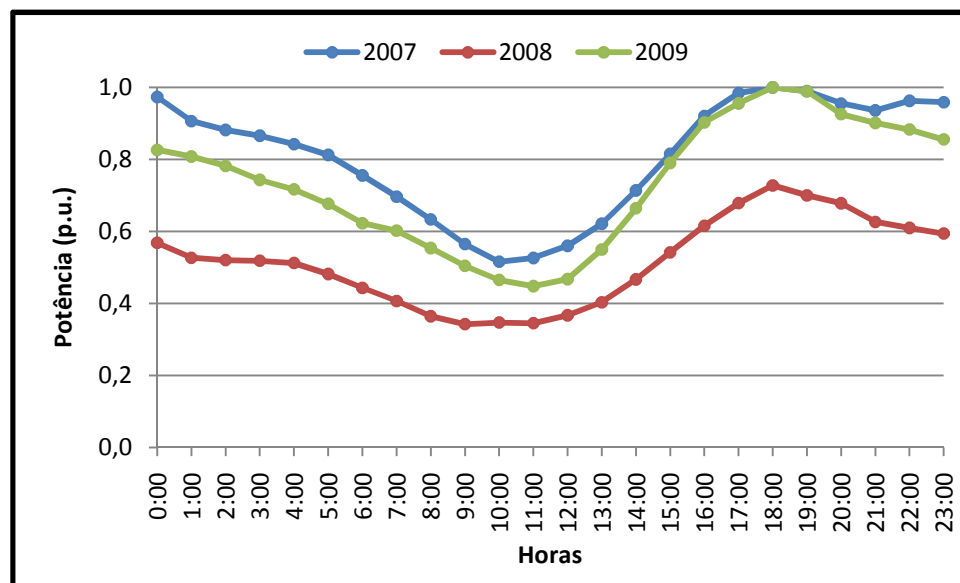


Figura B.5 - Diagramas diários da produção de electricidade de Julho das amostras da PRE.

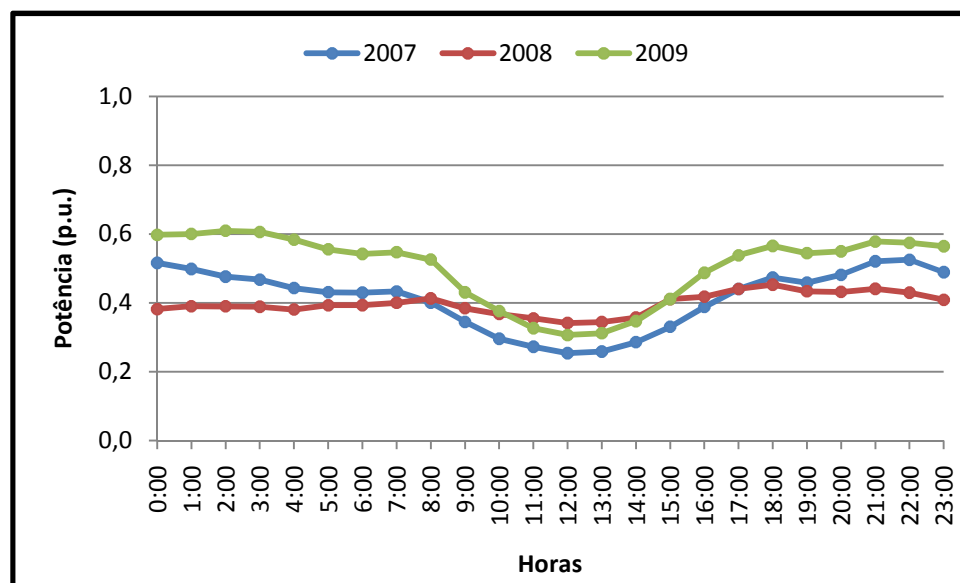


Figura B.6 - Diagramas diários da produção de electricidade de Setembro das amostras da PRE.

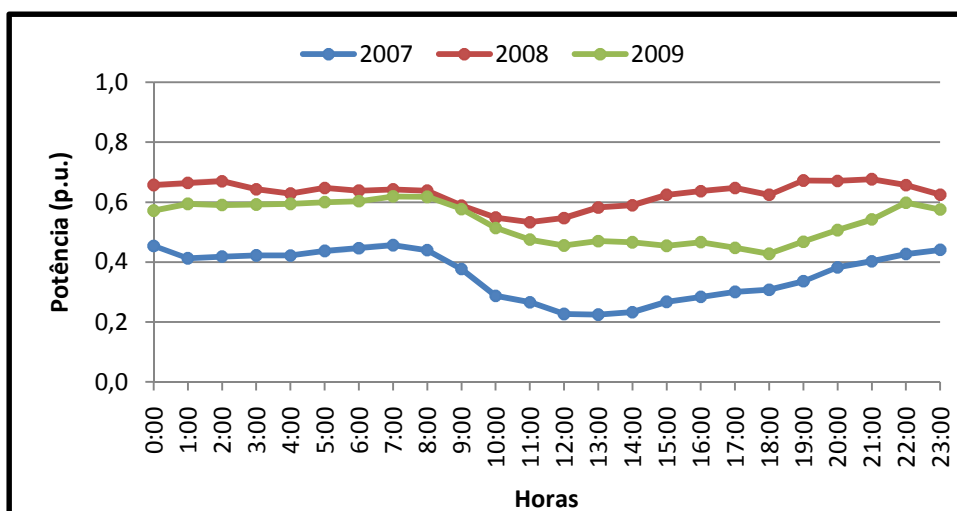


Figura B.7 - Diagramas diários da produção de electricidade de Outubro das amostras da PRE.

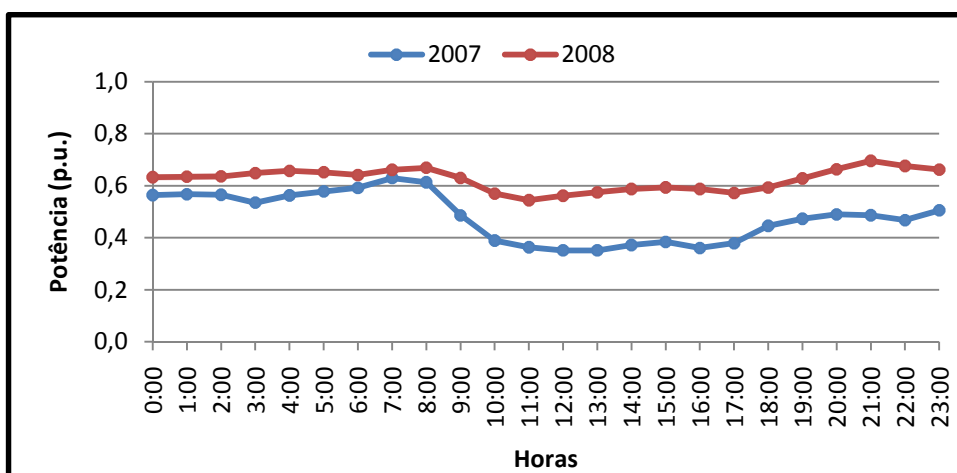


Figura B.8 - Diagramas diários da produção de electricidade de Novembro das amostras da PRE.

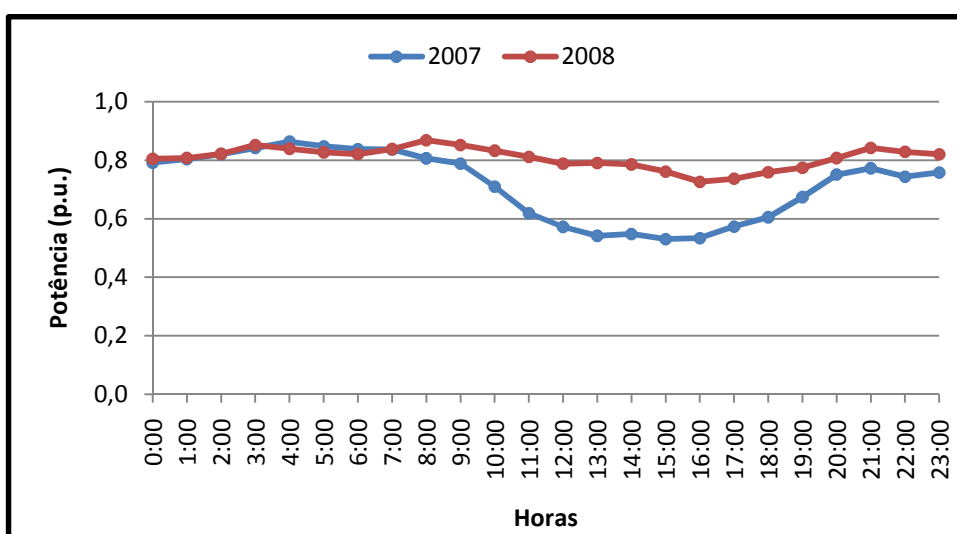


Figura B.9 - Diagramas diários da produção de electricidade de Dezembro das amostras da PRE.

Tabela B.1 - Valores do perfil diário de μP eólica.

Horas	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0:00	0,63	0,52	0,67	0,53	0,51	0,46	0,64	0,70	0,42	0,47	0,61	0,80
1:00	0,62	0,52	0,65	0,52	0,48	0,43	0,59	0,68	0,41	0,48	0,61	0,81
2:00	0,62	0,52	0,67	0,51	0,47	0,41	0,57	0,65	0,41	0,49	0,61	0,82
3:00	0,65	0,52	0,67	0,51	0,45	0,40	0,55	0,63	0,41	0,49	0,60	0,85
4:00	0,64	0,51	0,68	0,50	0,44	0,39	0,53	0,61	0,40	0,48	0,62	0,85
5:00	0,67	0,52	0,69	0,51	0,45	0,39	0,50	0,59	0,39	0,48	0,62	0,84
6:00	0,66	0,53	0,71	0,50	0,44	0,37	0,46	0,57	0,38	0,48	0,62	0,83
7:00	0,64	0,55	0,73	0,46	0,44	0,36	0,44	0,55	0,39	0,50	0,65	0,84
8:00	0,62	0,53	0,72	0,43	0,42	0,33	0,42	0,52	0,39	0,50	0,65	0,84
9:00	0,59	0,51	0,72	0,43	0,42	0,31	0,41	0,49	0,36	0,46	0,57	0,83
10:00	0,56	0,48	0,71	0,44	0,41	0,29	0,41	0,46	0,34	0,43	0,50	0,78
11:00	0,55	0,47	0,68	0,47	0,41	0,29	0,43	0,45	0,31	0,42	0,47	0,73
12:00	0,54	0,47	0,67	0,52	0,43	0,32	0,47	0,46	0,31	0,42	0,48	0,70
13:00	0,54	0,49	0,69	0,58	0,49	0,38	0,53	0,55	0,33	0,43	0,49	0,69
14:00	0,54	0,51	0,70	0,64	0,54	0,45	0,62	0,64	0,36	0,44	0,50	0,69
15:00	0,53	0,52	0,71	0,69	0,59	0,51	0,72	0,75	0,43	0,46	0,51	0,67
16:00	0,53	0,50	0,73	0,75	0,64	0,58	0,81	0,85	0,49	0,46	0,50	0,65
17:00	0,53	0,47	0,73	0,78	0,69	0,62	0,86	0,91	0,54	0,45	0,49	0,67
18:00	0,57	0,46	0,71	0,78	0,69	0,64	0,88	0,93	0,55	0,42	0,53	0,70
19:00	0,60	0,47	0,71	0,72	0,64	0,61	0,86	0,90	0,51	0,43	0,57	0,73
20:00	0,62	0,50	0,72	0,65	0,59	0,55	0,80	0,85	0,48	0,45	0,59	0,78
21:00	0,62	0,50	0,69	0,62	0,56	0,52	0,74	0,81	0,47	0,46	0,61	0,81
22:00	0,62	0,51	0,68	0,58	0,53	0,51	0,72	0,77	0,45	0,47	0,59	0,79
23:00	0,64	0,50	0,68	0,55	0,51	0,50	0,68	0,74	0,42	0,46	0,60	0,80

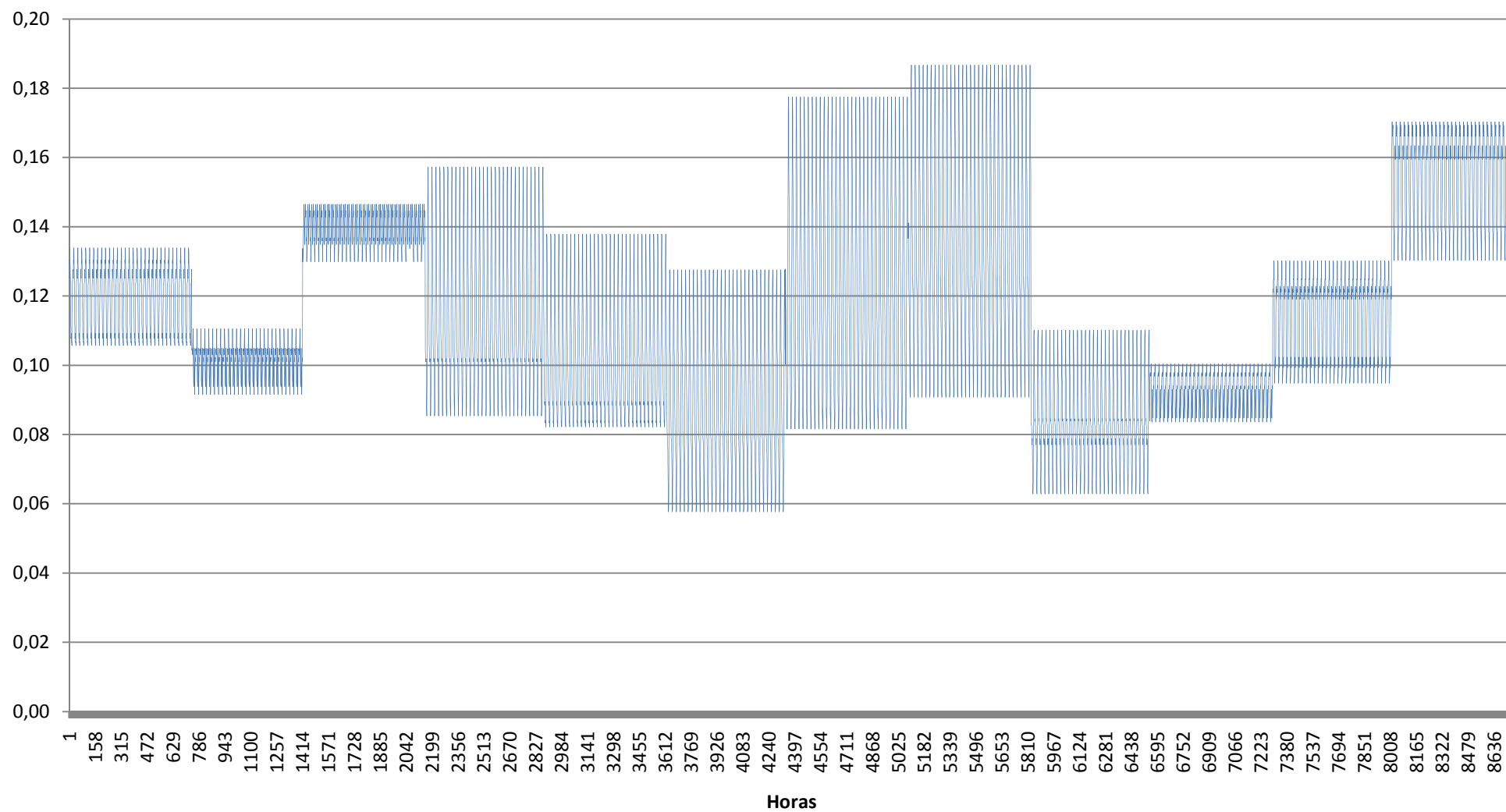


Figura B.10 - Perfil Anual de μP de origem eólica