

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

.....

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

RAMO OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA QUÍMICA



Estudo da Variabilidade Inter-anual de Diferentes Regimes de Vento

Luciana Carina Castro Gonçalves

Julho de 2010

Orientação: Doutora Rosa Maria Pilão e Engenheiro Paulo Ferreira Pinto

Agradecimentos:

A elaboração de um trabalho deste tipo passa necessariamente por uma série de apoios que se irão reflectir de uma forma determinante no resultado final. Assim, começo por agradecer à minha orientadora, Eng.^a Rosa Pilão, toda a orientação, disponibilidade e paciência que teve comigo ao longo de todo este tempo.

Agradeço ao Eng.º Paulo Pinto, a oportunidade de desenvolver o estágio na MEGAJOULE, toda a ajuda demonstrada e o acompanhamento.

Agradeço também a todos os colegas da MEGAJOULE, que foram simplesmente fantásticos no que diz respeito ao esclarecimento de dúvidas e disponibilidade constante e ainda ao Eng.º Ricardo Guedes e ao Eng.º Miguel Ferreira pela simpatia e oportunidade de estágio.

Obrigado à minha mãe e a todos os meus amigos por todo o apoio dado, mas em especial à minha amiga Patrícia que nunca me deixou desistir e esteve sempre comigo nos bons e nos maus momentos.

A todos, um sincero obrigado por terem tornado este trabalho concebível.

Resumo

O trabalho proposto consiste na caracterização da variabilidade da velocidade média inter-anual do regime de ventos do território da Polónia, Roménia e Portugal continental com o objectivo de determinar o período mínimo de medições de vento locais necessárias à sua caracterização. Para isso, foram analisados e tratados estatisticamente um conjunto de dados de medições de vento obtidos em estações anemométricas, instaladas em diferentes zonas do território dos Países em estudo, durante os últimos anos. Numa segunda fase foram utilizados dados de Reanalysis do NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) com o objectivo de verificar se existe uma tradução do comportamento da variabilidade de longo termo.

Os dados das medições locais de vento indicaram que o desvio máximo da velocidade média diminui à medida que se incrementam o número de anos usados na sua determinação. Mostraram também que, em Portugal, foi registada uma menor variabilidade inter-anual do regime de ventos que nos territórios em estudo na Polónia e Roménia e que foi na Polónia que se registou maior variabilidade inter-anual.

A utilização dos dados de reanálise correspondentes ao período das medições efectuadas nos diferentes territórios em estudo mostrou que os dados do NCEP/NCAR traduziram de forma aceitável a variabilidade inter-anual do regime de ventos medida nos locais.

Os resultados do estudo da variabilidade inter-anual de longo termo feita, utilizando os dados de Reanalysis (30 anos de dados do NCEP/NCAR) mostraram que para Portugal e para o território da Polónia a utilização de dois anos consecutivos é suficiente para caracterizar o regime de ventos do local tendo-se obtido um desvio máximo da velocidade média de cerca de 6%. Este desvio pode ser reduzido pelo incremento do número de anos de dados. Relativamente à Roménia a utilização de dois anos de dados consecutivos resultou em desvios máximos da velocidade média superiores, na casa dos 8%. Os resultados indicam que o território em estudo está sujeito a um regime de ventos com um ciclo de vários anos pelo que, estimativas de produção de parques eólicos feitas exclusivamente com base em campanhas de medição locais por períodos usualmente utilizados, 2 a 3 anos, comportam uma maior incerteza, apenas ultrapassável se for possível correlacionar os dados locais com estações de medição ou bases de dados (NCEP/NCAR, por exemplo) com períodos de registos suficientemente longos para obtenção do regime de ventos do longo termo.

Palavras-chave: Variabilidade inter-anual, longo termo, NCEP/NCAR.

Abstract

The proposed work aims to characterize the variability of inter-annual average speed of the wind from the territory of Poland, Romania and Portuguese mainland in order to determine the minimum local wind measurements for its characterization. In order to achieve this, a set of data obtained from wind measurements at met stations in operation over the past years and installed in different areas of the countries and were analyzed and statistically treated. In a second stage data from the Reanalysis NCEP / NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) was used with the target of ascertaining whether there is a translation of the behaviour of long-term variability.

Data from local wind measurements indicated that the maximum deviation of the average speed decreases when increasing the number of years used in their determination. The results showed a higher inter-annual variability of the wind in the regions studied in Poland and Romania than in Portugal. In addition the obtained results demonstrated the highest inter-annual variability in Poland.

The use of reanalysis data for the period of the measurements made in the different territories showed that data from the NCEP / NCAR represent in an acceptable way the inter-annual variability of the wind measurement sites.

The results of the study for the long term inter-annual variability using Reanalysis data (30 years of data from the NCEP / NCAR) show that two consecutive years are enough to characterize the local wind regime in Portugal and Poland and obtain a result of the maximum deviation of the average speed of about 6%. This gap can be reduced by increasing the time of years of measurements. With regard to Romania the use of two consecutive years resulted in around 8%, a higher maximum deviation of the average speed than in Portugal and Poland. The results show that the studied area is subject to a wind regime with a course of several years so, for that reason the production estimates for a given wind farm made using exclusively local measurement campaigns for usual periods, 2 to 3 years, have a greater uncertainty only surpassed if possible to correlate the local data with met stations or data bases (NCEP/NCAR, for example) with large enough record periods for the characterization of the long term wind regime.

Keywords: Inter-annual variability, long term, NCEP / NCAR.

ÍNDICE

Agradecimentos:.....	I
Resumo	II
Abstract	III
Listas de Abreviaturas	X
Siglas.....	X

CAPÍTULO I

1.1. Declaração de estágio.....	2
1.2. Fundamentação do estudo.....	2
1.3. Estrutura do relatório.....	3

CAPÍTULO II

2.1. Enquadramento Legal	6
2.2. Estratégia Nacional para a Energia – ENE2020	8
2.3. Evolução da Energia Eólica a nível Mundial	9
2.3.1. Mercado Actual	10
2.3.2. Perspectivas de futuro em todo o mundo	12
2.4. Evolução da energia Eólica em Portugal	12

CAPÍTULO III

3.1. A origem do Vento.....	16
3.2. Parâmetros condicionantes do aproveitamento do potencial eólico.....	18
3.2.1. Velocidade e direcção do vento.....	10
3.2.2. Orografia	20
3.2.3. Rugosidades e Obstáculos.....	23
3.3. Variabilidade do Vento	28
3.3.1. Variabilidade Espacial e Temporal	28
3.4. Distribuição de Weibull	32

CAPÍTULO IV

4.1. Energia do Vento.....	36
4.2. Lei de Betz	37
4.3. Energia Produzida.....	38

CAPÍTULO V

5.1. Modelo de Reanalysis I (NCEP/NCAR).....	42
--	----

CAPÍTULO VI

6.1. Metodologia.....	46
6.2. Variabilidade inter-anual do regime de vento.....	49
6.3. Análise do NCEP/NCAR para o período simultâneo.....	59
6.4. Análise do NCEP/NCAR para longo termo.....	68

CAPÍTULO VII

7.1. Conclusões.....	80
7.2. Sugestões para trabalhos futuros.....	81
Bibliografia.....	82
Anexos.....	85
Anexo A.....	86
Anexo B.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1 – Ranking mundial relativo à potência eólica instalada nos anos de 2008 e 2009.....	11
Figura 2.2 – Potência instalada por ano nos diferentes continentes entre 2003 e 2009.....	11
Figura 2.3 – Evolução da energia eólica a nível mundial e previsão estatística até 2020.....	12
Figura 2.4 – Evolução da potência instalada em energia eólica em Portugal Continental.....	13
Figura 2.5 – Distribuição das horas de produção equivalentes de Dezembro 2008 a Dezembro de 2009.....	14
Figura 2.6 – Produção de energia eléctrica a partir de energia eólica em Portugal....	14

CAPITULO III

Figura 3.1 – Brisa marítima e brisa terrestre	17
Figura 3.2 – Brisa do vale e brisa da montanha	17
Figura 3.3 – Rosa-dos-ventos ilustrativa da distribuição por sectores da frequência da ocorrência da velocidade do vento (lado esquerdo) e velocidade média por sector (lado direito)	18
Figura 3.4 – Rosa-dos-ventos energética.....	19
Figura 3.5 – Duração de uma campanha experimental vs precisão nas estimativas ..	19
Figura 3.6 – Aceleração do vento sobre uma elevação.....	20
Figura 3.7 – Orientações possíveis de linhas de cumeada.....	21
Figura 3.8 – Formas dos montes por ordem de preferência	22
Figura 3.9 – Zonas de recirculação em falésias e escarpas	22
Figura 3.10 – Alteração do perfil de velocidade provocado pela alteração da rugosidade do terreno	24
Figura 3.11 – Escoamento em torno de um edifício	26
Figura 3.12 – Escoamento perturbado pela presença de um edifício	26
Figura 3.13 – Escoamento a jusante de uma barreira vegetal.....	27
Figura 3.14 – Vista aérea dos Himalaias.....	29
Figura 3.15 – Variação inter-anual do regime de ventos num dado local	30
Figura 3.16 – Padrão mensal do regime de ventos num dado local	31
Figura 3.17 – Histograma de velocidades	32
Figura 3.18 – Comportamento da função de distribuição de densidade de Weibull para diversos valores de k e para A=1	33
Figura 3.19 – Comportamento da função de distribuição de Weibull para diversos valores de A e para o valor de K=2	34

CAPITULO IV

Figura 4.1 – Curva do coeficiente de potência de um aerogerador	38
Figura 4.2 – Frequência relativa de ocorrência da velocidade média do vento.....	39
Figura 4.3 – Curva de potência de um aerogerador com controlo <i>pitch</i>	39
Figura 4.4 – Energia produzida com base na velocidade média do vento e na curva de potência do aerogerador	40

CAPITULO V

Figura 5.1 - Grelha e pontos dos dados NCEP/NCAR para a Península Ibérica	43
--	----

CAPITULO VI

Figura 6.1 – Mapa de Portugal com localização das estações	47
Figura 6.2 – Mapa da Polónia com localização das estações	48
Figura 6.3 – Mapa da Roménia com localização das estações	48
Figura 6.4 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P1	49
Figura 6.5 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P2	50
Figura 6.6 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P3	50
Figura 6.7 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P4	51
Figura 6.8 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P5	51
Figura 6.9 – Desvio da velocidade média anual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Portugal).....	52
Figura 6.10 – Desvio da velocidade média bianual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Portugal).....	53
Figura 6.11 - Desvio da velocidade média trianual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Portugal).....	53
Figura 6.12 – Desvio da velocidade média anual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Polónia).....	54
Figura 6.13 – Desvio da velocidade média bianual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Polónia).....	55
Figura 6.14 – Desvio da velocidade média trianual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Polónia).....	55
Figura 6.15 – Desvio da velocidade média anual relativamente à média do período completo de dados (Roménia).	56
Figura 6.16 – Desvio da velocidade média bianual relativamente à média do período completo de dados (Roménia).	57
Figura 6.17 – Desvio da velocidade média trianual relativamente média do período completo de dados (Roménia).	57
Figura 6.18 – Amplitude do desvio máximo.....	58
Figura 6.19 – Mapa de Portugal com os pontos do NCEP/NCAR	60
Figura 6.20 – Mapa da Polónia com os pontos do NCEP/NCAR.....	60
Figura 6.21 – Mapa da Roménia com os pontos do NCEP/NCAR	61
Figura 6.22 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 42,5N;7,5W do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Portugal).....	62
Figura 6.23 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 40N;7,5W do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Portugal).....	63

Figura 6.24 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 37,5N;7,5W do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Portugal).....	63
Figura 6.25 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 50N;22,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Polónia).....	64
Figura 6.26 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 50N;22,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Polónia).....	64
Figura 6.27 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 52,5N;17,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Polónia).....	65
Figura 6.28 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 45N;30E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Roménia).....	66
Figura 6.29 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 45N;27,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Roménia).....	66
Figura 6.30 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 45N;27,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Roménia).....	67
Figura 6.31 - Desvio da velocidade média anual para os diferentes pontos NCEP/NCAR em Portugal.....	69
Figura 6.32 - Desvio da velocidade média bianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR em Portugal.....	70
Figura 6.33 - Desvio da velocidade média trianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR em Portugal.....	70
Figura 6.34 - Desvio da velocidade média anual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Polónia.....	71
Figura 6.35 - Desvio da velocidade média bianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Polónia.....	71
Figura 6.36 - Desvio da velocidade média trianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Polónia.....	72
Figura 6.37 - Desvio da velocidade média anual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Roménia.....	73
Figura 6.38 - Desvio da velocidade média bianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Roménia.....	73

Figura 6.39 - Desvio da velocidade média trianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Roménia.....	74
Figura 6.40 – Evolução do desvio máximo da velocidade média com o número de anos para os pontos do NCEP/NCAR em estudo em Portugal.....	76
Figura 6.41 – Evolução do desvio máximo da velocidade média com o número de anos para os pontos do NCEP/NCAR em estudo na Polónia.....	76
Figura 6.42 - Evolução do desvio máximo da velocidade média com o número de anos para os pontos do NCEP/NCAR em estudo na Roménia.	77

ANEXOS

Figura A.1 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação PL1.....	86
Figura A.2 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação PL2.....	86
Figura A.3 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação PL3.....	87
Figura A.4 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação PL4.....	87
Figura A.5 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO1.....	88
Figura A.6 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO2.....	88
Figura A.7 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO3.....	89
Figura A.8 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO4.....	89
Figura A.9 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO5.....	90
Figura A.10 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO6.....	90
Figura A.11 – Comparação entre os dados do NCEP/NCAR e os dados das medições para os desvios máximos da média obtidos	91

ÍNDICE DE TABELAS

CAPITULO III

Tabela 3.1 – Tipos de superfície e comprimento de rugosidades correspondentes....	24
Tabela 3.2 – Coeficiente de porosidade atribuídos aos obstáculos	28
Tabela 3.3 – Escalas de espaço e tempo	31

CAPITULO VI

Tabela 6.1 – Estações vs período de análise	46
Tabela 6.2 – Amplitudes dos intervalos dos Desvios Máximos para a análise de longo termo.....	75

Listas de Abreviaturas

Abreviatura	Designação
CELE	Comércio Europeu de Ciências de Emissão
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
EWEA	European Wind Energy Association
GEE	Gases Efeito Estufa
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NCAR	National Center for Atmospheric Research
PNAC	Plano Nacional Alterações Climáticas
PNALE	Plano Nacional de Atribuição de Licença de Atribuição
UE	União Europeia
WWEA	World Wind Energy Association

Siglas

Sigla	Designação	Unidades
A	Factor de Escala	m/s
A'	Área varrida pelas pás	m ²
Cp	Coefficiente de Potência	-
Cp _{máx}	Coefficiente de Potência Máximo	-
f(u)	Função Densidade de Probabilidade	%
h _a	Horas a plena carga	h
k	Factor de Forma	-
P _e	Potência à saída da turbina	W
P _{disp}	Potência Disponível no Vento	W
u	Velocidade do Vento	m/s
V	Velocidade do Vento Incidente	m/s
ρ	Massa Volúmica do Ar	Kg/m ³

Capítulo I

Introdução

1.1. Declaração de estágio

O trabalho desenvolvido neste estágio foi realizado na empresa MEGAJOULE, no âmbito da disciplina de Dissertação/Estágio do Mestrado em Engenharia Química do DEQ/ISEP, com início em Janeiro de 2010 e duração de seis meses.

O objectivo deste trabalho consistiu no estudo da variabilidade da velocidade média inter-anual de diferentes regimes de ventos em diferentes locais, no sentido de aferir qual o período mínimo de medição suficiente para que o regime de ventos de cada local seja devidamente caracterizado.

Depois de uma fase de estudo e sistematização de conhecimentos dos principais conceitos envolvidos na área da energia eólica, a fase seguinte do estágio consistiu na selecção criteriosa de locais monitorizados por estação de medição operadas pela MEGAJOULE. Particularmente relevante aqui foi a escolha de pontos de medição com períodos de registos de dados de vento o mais extensos possível e em diferentes zonas geográficas de actuação da empresa, nomeadamente em Portugal, Polónia e Roménia. Seleccionados os pontos procedeu-se à análise e validação dos dados de vento provenientes dessas campanhas de medição.

Do processo anterior foi possível aceder às velocidades médias mensais de todos os pontos sobre os quais incidiu parte da análise de variabilidade do regime de ventos, principal objectivo deste trabalho.

Na parte final deste trabalho, e uma vez que necessariamente os períodos de medição disponibilizados seriam expectavelmente curtos para uma validação do regime de ventos no longo termo, recorrem-se aos dados de Reanalysis do NCEP/NCAR de forma a avaliar tendências de variabilidade da velocidade média ao longo de trinta anos.

1.2. Fundamentação do estudo

Sendo a MEGAJOULE, uma empresa internacional de consultoria em energias renováveis com foco na avaliação do recurso eólico é de extrema importância o passo no caminho da expansão global. Expansão essa que abrange, para além de Portugal,

os países, no caso em estudo, Polónia e Roménia cuja variabilidade inter-anual irá ser estudada.

A MEGALOULE Polska representa o grupo no mercado da Europa Central e de Leste, estando sediada em Varsóvia, Polónia. É um mercado que representa cerca de 25% da actividade da MEGALOULE, no qual tem estado bastante activa desde 2006, operando dezenas de estações de medição das características do vento para clientes, na Polónia, Eslováquia, Roménia e Bulgária. Em particular na Polónia e Roménia, a MEGAJOULE vem conduzindo estudos de avaliação do potencial eólico para centenas de MW em fase de desenvolvimento.

Para a correcta quantificação do potencial eólico de um dado local o regime de ventos terá de ser devidamente caracterizado, recorrendo a um conjunto de medições locais por um período de tempo suficientemente representativo.

Estudos realizados por Troen e Petersen em 1989 e apresentados no Atlas Europeu do Vento mostram que em Portugal, num conjunto de 10 anos, as médias da velocidade de quaisquer dois anos consecutivos, não se afastam mais do que 5% da média global. Tem sido, pois, geralmente aceite, que a medição de dois anos num local, conduz a resultados aceitáveis para o fim de caracterizar o regime de ventos para fins energéticos.

Relativamente à Polónia e Roménia ainda não existem estudos sistemáticos que permitam quantificar o número de anos consecutivos necessários à completa caracterização do regime de ventos do longo termo. É de extrema importância para a MEGAJOULE o conhecimento desta informação pois só assim, poderá garantir uma margem de erro aceitável na avaliação do recurso eólico dos trabalhos que vem desenvolvendo nestes territórios.

1.3. Estrutura do relatório

O relatório de estudo realizado no âmbito do estágio desenvolve-se ao longo de 7 capítulos.

No primeiro capítulo, a Introdução, pode-se encontrar fundamentada a justificação do interesse por este tema assim como a declaração de estágio.

No capítulo II é efectuada uma introdução à temática da energia eólica, iniciando com uma breve referência ao enquadramento histórico e o estado actual (a nível mundial, europeu e nacional) da energia eólica, assim como os novos desafios propostos para a energia eólica.

O capítulo III é uma abordagem à Natureza do recurso eólico, parâmetros que condicionam o escoamento atmosférico de um dado local, a variabilidade espacial e temporal do vento e conceitos estatísticos aplicados à análise de dados de vento.

No capítulo IV descreve-se o princípio de funcionamento do aproveitamento do recurso eólico e os conceitos energéticos intrínsecos ao funcionamento dos aerogeradores e ao cálculo da energia produzida.

O capítulo V descreve o modelo de Reanalysis (NCEP/NCAR).

No capítulo VI é feita uma apresentação geral do caso em estudo indicando a metodologia seguida e as estações de medição local, operadas pela MEGAJOULE, seleccionadas em cada um dos países em estudo, bem como o número de anos em operação. É feita uma análise da variabilidade inter-anual do regime de ventos, onde se avalia o desvio da velocidade relativamente à velocidade média. Neste capítulo são ainda apresentados os resultados da análise do NCEP/NCAR para o período simultâneo de dados e os resultados do NCEP/NCAR para longo termo.

O capítulo VII expõe as principais conclusões deste trabalho, assim como, sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo II

***Enquadramento
Geral da energia
eólica***

2.1. Enquadramento Legal

O Parlamento europeu aprovou a Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE, continuando, no entanto, a ser o seu principal objectivo o aumento da electricidade produzida a partir de fontes renováveis na União Europeia e que desta forma a dependência energética exterior diminua, assim como a emissão de gases com efeito de estufa (GEE).

O protocolo de Quioto foi discutido em 1997, em Kyoto, no Japão, e foi aberto para assinaturas a 16 de Março de 1998, tendo sido ratificado em 15 de Março de 1999. Portugal ratificou o Protocolo de Quioto em 31 de Maio de 2002. Oficialmente, o Protocolo entrou em vigor em 16 de Fevereiro de 2005. O Protocolo de Quioto é um tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases com efeito de estufa (GEE), considerados como a principal causa do aquecimento global.

É no Protocolo de Quioto que se estabelece um calendário pelo qual, os países desenvolvidos têm a obrigação de reduzir a quantidade de gases poluentes em, pelo menos, 5,2% até 2012, em relação aos níveis de 1990, sendo esta percentagem variável entre os países signatários, de acordo com o princípio da responsabilidade comum, mas diferenciada.

A União Europeia acordou numa redução global de 8% (definindo, ao abrigo do compromisso comunitário de partilha de responsabilidades, metas distintas para cada um dos seus Estados – Membros), ambicionando abater as emissões de GEE, em mais de 1% ao ano, desde 2012 a 2020.

O Protocolo estimula os países signatários a cooperarem entre si, de modo a cumprir estas metas, através de algumas acções:

- ❖ Reformar os sectores de energia e transportes;
- ❖ Promover o uso de fontes energéticas renováveis;
- ❖ Eliminar mecanismos financeiros e de mercado que coloquem entraves aos objectivos do Protocolo;

- ❖ Limitar as emissões de metano no tratamento de resíduos e dos sistemas energéticos;
- ❖ Proteger as florestas^[1].

No âmbito dos compromissos internacionais, nomeadamente do Protocolo de Quioto, Portugal assumiu o objectivo de limitar o aumento das suas emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em 27%, no período de 2008-2012, relativamente aos valores de 1990. Para cumprir este objectivo, constituem instrumentos fundamentais:

- O Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), foi aprovado através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho. Em 2006, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de Agosto, o Governo aprovou o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2006), elaborado na sequência do processo de revisão do PNAC 2004 e sob a égide da Comissão para as Alterações Climáticas (CAC).

Já em 2007, o Governo resolveu rever em alta algumas das metas do PNAC 2006, referentes a políticas e medidas dos sectores da oferta de energia e dos transportes, as quais foram aprovadas através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2008, de 4 de Janeiro, procedendo a uma revisão do PNAC 2006, com a aprovação das designadas "novas metas 2007"^[2];

- O Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE), aprovado pela RCM n.º 53/2005 de 3 Março que aprova PNALE I relativo ao período 2005-2007 e pela RCM n.º 1/2008, de 4 de Janeiro para o período de 2008-2012 que é aplicável a um conjunto de instalações fortemente emissoras de GEE, e como tal incluídas no Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE)^[2];

- O Fundo Português de Carbono, criado pelo Decreto-Lei n.º 71/2006, de 24 de Março, que visa o desenvolvimento de actividades para a obtenção de créditos de emissão de GEE, designadamente através do investimento em mecanismos de flexibilidade do Protocolo de Quioto^[2].

Sendo o principal instrumento utilizado, que promove a redução dos GEE, o Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), constitui suporte à análise do compromisso de Portugal face ao primeiro período de cumprimento do Protocolo e sistematiza e apresenta estimativas de emissão de GEE para o ano de 2010. O PNAC 2006 (Resolução Conselho Ministros (RCM) 104/2006) apresenta ainda um conjunto de Políticas e Medidas Adicionais com vista a aproximar a situação nacional dos compromissos internacionais.

Os sectores que mais contribuem para o balanço nacional de emissão de GEE são os sectores dos transportes, oferta de energia e indústria, pelo que são alvo de maior atenção no PNAC 2006. Nele estão contempladas algumas medidas de promoção de produção de electricidade a partir de fontes de energia renováveis, como a eólica.

2.2. Estratégia Nacional para a Energia – ENE2020

Dando sequência às políticas desenvolvidas com sucesso pelo XVII Governo Constitucional, o Programa do XVIII Governo Constitucional coloca as políticas de Energia nas suas diversas vertentes, como centrais para, num cenário internacional turbulento e em mudança acelerada, reverter e modernizar a economia portuguesa, promover o crescimento territorialmente equilibrado e criar emprego.

O Governo definiu as grandes linhas estratégicas para o sector da energia, estabelecendo a Estratégia Nacional para a Energia, (aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril de 2010, que substitui a anterior Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro.)

As opções de política energética assumidas na ENE 2020 assumem-se como um factor de crescimento de economia, de promoção da concorrência nos mercados da energia, de criação de valor e de emprego qualificado em sectores com elevada incorporação tecnológica. Pretende-se manter Portugal na fronteira tecnológica das energias alternativas, potenciando a produção e exportação de soluções com elevado valor acrescentado, que permitam ainda diminuir a dependência energética do exterior e reduzir as emissões de gases com efeito de estufa.

A Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) assenta sobre cinco eixos principais que nela se desenvolvem e detalham, traduzindo uma visão, um conjunto focado de prioridades e um enunciado de medidas que as permitem concretizar^[3].

Eixos Principais:

- Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira;
- Aposta nas energias renováveis;
- Promoção da eficiência energética;
- Garantia da segurança de abastecimento;
- Sustentabilidade económica e ambiental^[3].

Metas:

- 1- Reduzir a dependência energética do País face ao exterior para **74% em 2020**, atingindo o objectivo de **31% da energia final**, contribuindo para os objectivos comunitários;
- 2- Cumprir os compromissos assumidos por Portugal no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas, permitindo que em 2020, **60% de electricidade** produzida tenha origem em fontes renováveis e o consumo de energia final seja reduzido em **20%**;
- 3- **Reduzir em 25%** o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas gerando uma redução de importações **2.000 milhões de euros anuais no horizonte de 2020**;
- 4- Consolidar o cluster das energias renováveis em Portugal, assegurando em 2020 um **Valor Acrescentado Bruto de 3.800 Milhões €** e criando mais **100.000 postos de trabalho** a acrescer aos 35.000 já existentes;
- 5- Continuar a desenvolver o cluster industrial associado à promoção da eficiência energética assegurando a **criação de 21.000 postos de trabalhos**, gerando um **investimento previsível de 13.000 M€ até 2020** e proporcionando exportações adicionais de 400M;
- 6- **Promover o desenvolvimento sustentável** criando condições para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas por Portugal no quadro europeu^[4].

2.3. Evolução da Energia Eólica a nível Mundial

Existe actualmente uma preocupação crescente por parte de praticamente toda a sociedade relativamente às fontes energéticas e seu custo futuro. Por outro lado, há cada vez mais preocupação com as questões ambientais e consciência que as tradicionais fontes energéticas (de origem fóssil) originam graves problemas de poluição e assim, boas perspectivas para evolução na área da produção energética a partir de fontes renováveis que são consideradas energias limpas.

Na actualidade os combustíveis fósseis permanecem mais baratos que a maior parte das fontes renováveis, mas tal não será o caso daqui a uma década, como o atestam os sucessivos e cada vez mais frequentes “choques petrolíferos” que depois de terminados fazem com que o preço do crude se fixe num valor cada vez mais elevado. Para além disto, existe uma cada vez maior procura de energia a nível mundial. Existe

uma necessidade premente já manifestada através de várias políticas governativas estratégicas para o sector da energia de aposta nas fontes endógenas que são fundamentalmente as renováveis. Esta aposta tem ainda o condão de ajudar a equilibrar a balança comercial externa através da redução da importação de energia. Com a alta taxa de exploração da hídrica, as atenções viram-se agora para o sol e para o vento.

2.3.1. Mercado Actual

Mais uma vez o ano de 2009 trouxe novos recordes para a utilização da energia eólica em todo o mundo. Apesar da crise e da economia global, o investimento em novas turbinas eólicas ultrapassou de longe todos os anos anteriores. A capacidade mundial atingiu 159 213 MW, após 120 903 MW em 2008, 93 930 MW em 2007, 74 123 MW em 2006 e 59 012 MW em 2005. Mais uma vez, pode ser visto que a capacidade de instalação eólica é mais do que o dobro de três em três anos.

O mercado de novas turbinas eólicas mostrou um aumento de 42,1% e atingiu uma dimensão global de 38 312 MW, após 26 969 MW em 2008, 19 808 MW em 2007 e 15 111MW no ano 2006. Dez anos atrás, o mercado de novas turbinas eólicas teve apenas um tamanho de 4 GW, apenas um décimo do tamanho de 2009^[5].

A nível mundial os EUA assumiram a liderança, seguindo-se a China e a Alemanha. Portugal é hoje um país de referência na produção de energia eólica ocupando assim o 9º lugar depois do Reino Unido e à frente da Dinamarca, país que no ano anterior estava à frente de Portugal no ranking mundial, como ilustra a Figura 2.1^[5].



Figura 2.1 – Ranking mundial relativo à potência eólica instalada nos anos de 2008 e 2009^[5]

O crescimento da energia eólica desde 2003 até 2009 na Europa e a nível mundial é visível na Figura 2.2, sendo o mercado eólico liderado pela Europa, América do Norte e pela Ásia, com mais de 14 000 MW de potência instalada.

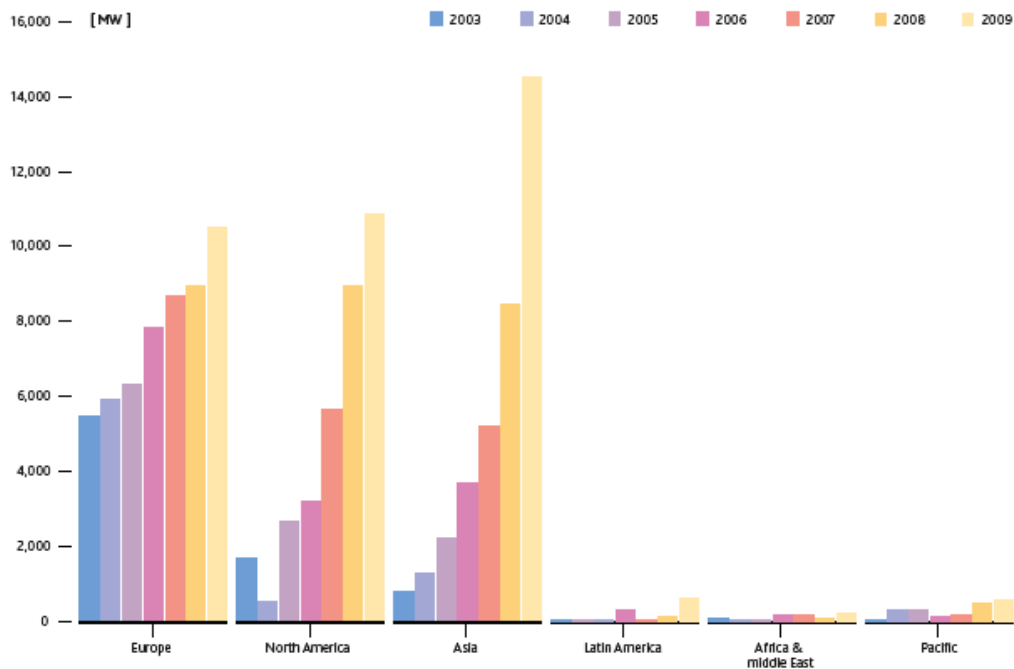


Figura 2.2 – Potência instalada por ano nos diferentes continentes entre 2003 e 2009^[6]

2.3.2. Perspectivas de futuro em todo o mundo

Uma meta vinculativa de 20% de energias renováveis tem sido definida para a UE a atingir até 2020, o que significa cerca de 35% da electricidade vindo de fontes renováveis até então acima de 16% em 2006^[7].

Com base na experiência e no crescimento verificado dos últimos anos, a WWEA prevê que a energia eólica continuará o seu desenvolvimento dinâmico nos próximos anos. Apesar da actual crise financeira, prevê-se a médio prazo que o investimento neste tipo de energia renovável aumente, uma vez que a energia eólica assenta sobre o desenvolvimento sustentável e é um recurso abundante.

A Figura 2.3 apresenta a evolução da potência instalada no mundo até 2009 assim como a previsão por parte da WWEA até 2020.

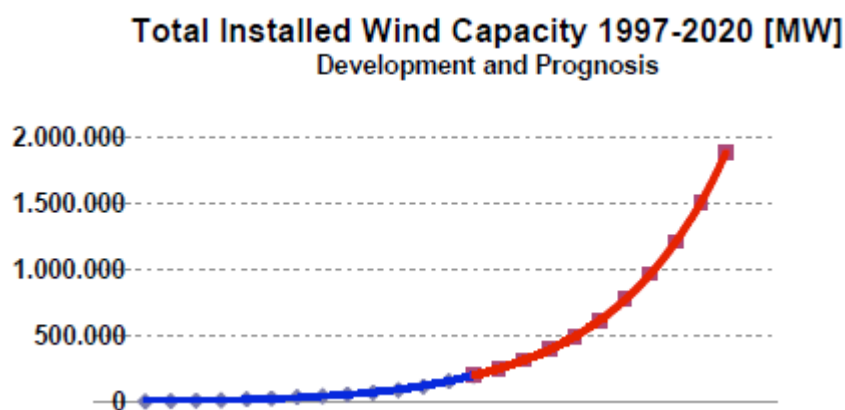


Figura 2.3 – Evolução da energia eólica a nível mundial e previsão estatística até 2020^[5]

2.4. Evolução da energia Eólica em Portugal

A energia eólica, nos últimos anos, tem registado uma evolução verdadeiramente assinalável, sendo uma fonte de energia renovável abundante, limpa e disponível. Neste momento a energia eólica é uma das grandes apostas de Portugal, como se pode observar na Figura 2.4 onde se apresenta o acentuado crescimento da potência instalada, desde de Janeiro de 2002 até Novembro de 2009^[8].

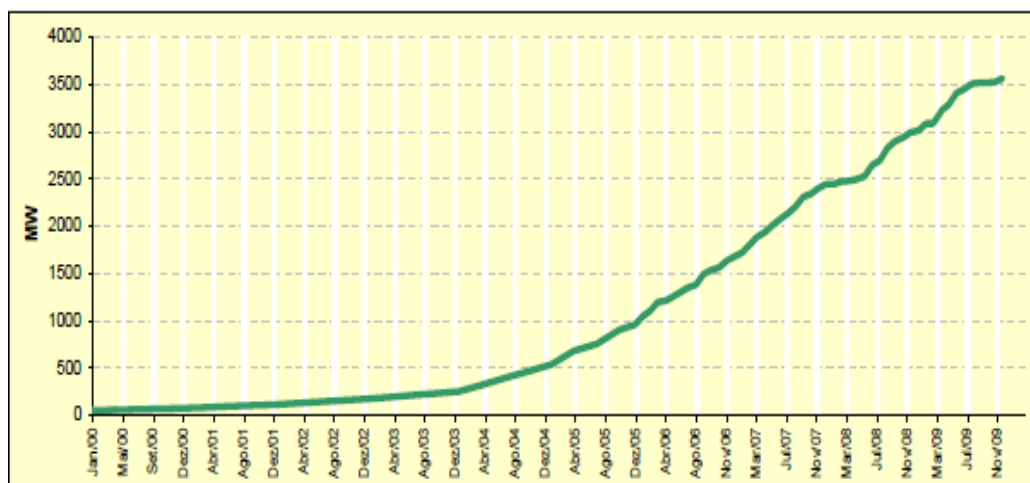


Figura 2.4 – Evolução da potência instalada em energia eólica em Portugal Continental^[8]

Segundo dados revelados pela DGE (Direcção Geral de Energia e Geologia), a potência eólica instalada no final de Dezembro de 2009 situava-se em 3 566 MW, distribuída por 195 parques, com um total de 1 879 aerogeradores ao longo de todo o território Continental. 37% da potência instalada situa-se em parques com potência igual ou inferior a 25 MW. A produção, em 2009, situou-se nas 2 231 horas equivalentes por MW, com 72% da energia gerada em instalações com mais de 2 000 horas em 2009.

Os distritos com maior potência instalada, em Dezembro de 2009, são Viseu, Castelo Branco, Coimbra, Viana do Castelo, Lisboa, Vila Real, Leiria, Santarém, Braga e Guarda (624, 470, 465, 351, 287, 272, 231, 157, 151 e 150 MW). Os distritos com maior recurso vento, em 2009, foram Santarém, Guarda, Lisboa, Aveiro, Bragança, Guarda, Coimbra, V. Real e Castelo Branco (2840, 2655, 2497, 2377, 2370, 2312, 2300, 2251 e 2207 horas equivalentes), como mostra a seguinte figura.

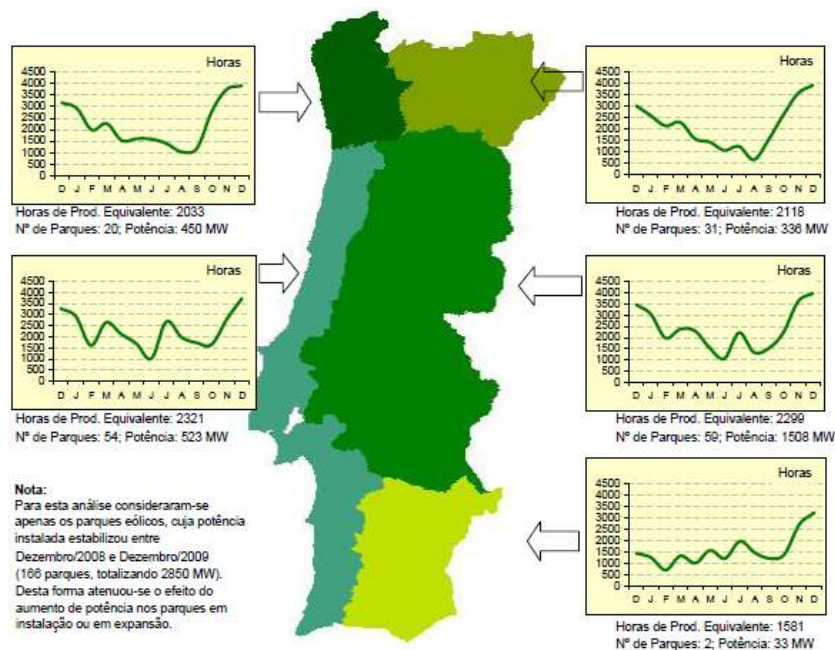


Figura 2.5 – Distribuição das horas de produção equivalentes de Dezembro 2008 a Dezembro de 2009^[8]

Na figura que se segue está representada a evolução da produção de energia eléctrica a partir de energia eólica em Portugal Continental entre Janeiro de 2004 e Julho de 2009, como se pode ver, o crescimento é acentuado.

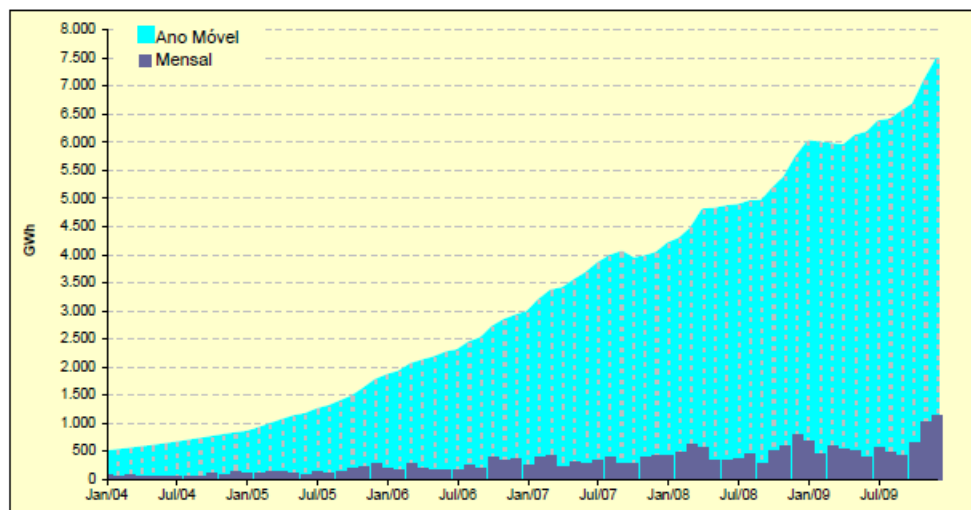


Figura 2.6 – Produção de energia eléctrica a partir de energia eólica em Portugal

Capítulo III

Recurso Eólico

3.1. A origem do Vento

Os ventos são massas de ar atmosférico em movimento, estes sopram das áreas de alta pressão (anticidonais) para as áreas de baixa pressão (ciclônicas) originadas pela diferenças de aquecimento solar ao longo da Terra e sendo influenciados pelos efeitos locais, como a orografia e rugosidade do solo. Os ventos podem ser classificados em dois grupos, os planetários e os periódicos. Os ventos planetários (sopram do Pólos e dos Trópicos) são assim denominados pois sopram numa determinada área da Terra e regularmente no mesmo sentido. Os ventos periódicos mudam de sentido e de direcção face à mudança dos factores de temperatura^[9].

Os ventos planetários podem ser classificados em Alísios e Polares:

- Alísios, sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes. Contra-Alísios: ventos que sopram do Equador para os pólos, em altas altitudes. Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os pólos;
- Polares, são ventos frios que sopram dos pólos para as zonas temperadas.

Tendo em vista que o eixo da Terra está inclinado de 23,5° em relação ao plano de órbita em torno do Sol, variações sazonais na distribuição de radiação recebida na superfície da Terra resultam em variações sazonais na intensidade e duração dos ventos, em qualquer local da superfície terrestre.

Como resultado surgem os ventos continentais ou periódicos e compreendem as monções e as brisas. As monções são ventos periódicos que mudam de direcção a cada seis meses aproximadamente. Em geral, as monções sopram em determinada direcção numa estação do ano e em sentido contrário noutra estação. Em função das diferentes capacidades de reflectir, absorver e emitir o calor recebido do Sol inerentes a cada tipo de superfície (tais como mares e continentes) surgem as brisas que se caracterizam por serem ventos periódicos que sopram do mar para o continente e vice-versa^[9].

No período diurno, devido à maior capacidade da terra de reflectir os raios solares, a temperatura do ar aumenta e, como consequência, forma-se uma corrente de ar que sopra do mar para a terra (brisa marítima). À noite, a temperatura da terra cai mais rapidamente do que a temperatura da água e, assim, ocorre a brisa terrestre que sopra da terra para o mar. Normalmente, a intensidade da brisa terrestre é menor do

que a da brisa marítima devido à menor diferença de temperatura que ocorre no período nocturno. A Figura 3.1. demonstra esses fenómenos.

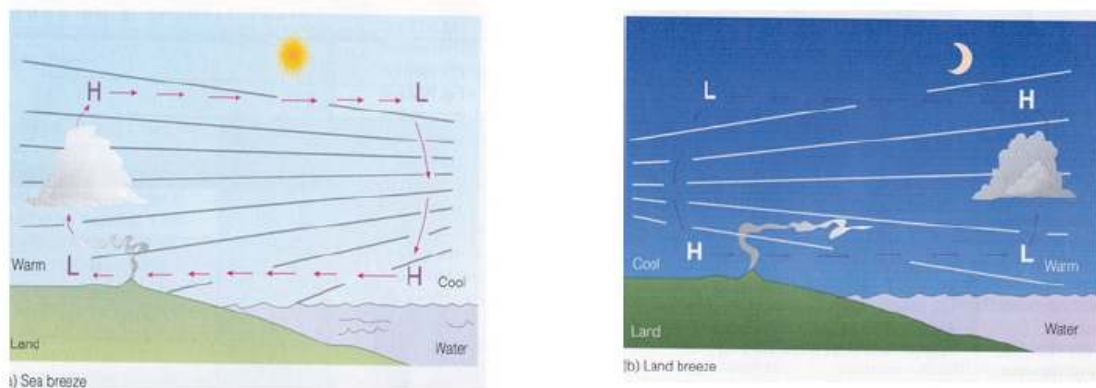


Figura 3.1 – Brisa marítima e brisa terrestre^[9]

Sobreposto ao sistema de geração dos ventos descrito acima encontram-se os ventos locais, que são originados por outros mecanismos mais específicos. São ventos que sopram em determinadas regiões e são resultantes das condições locais, que os tornam bastante individualizados.

A mais conhecida manifestação local dos ventos é observada nos vales e montanhas. Durante o dia, o ar quente nas encostas da montanha eleva-se e o ar mais frio desce sobre o vale para substituir o ar que subiu. No período nocturno, a direcção em que sopram os ventos é novamente revertida e o ar frio das montanhas desce e acumula-se nos vales^[9]. A figura 3.2 elucida o fenómeno brisa vale/montanha.

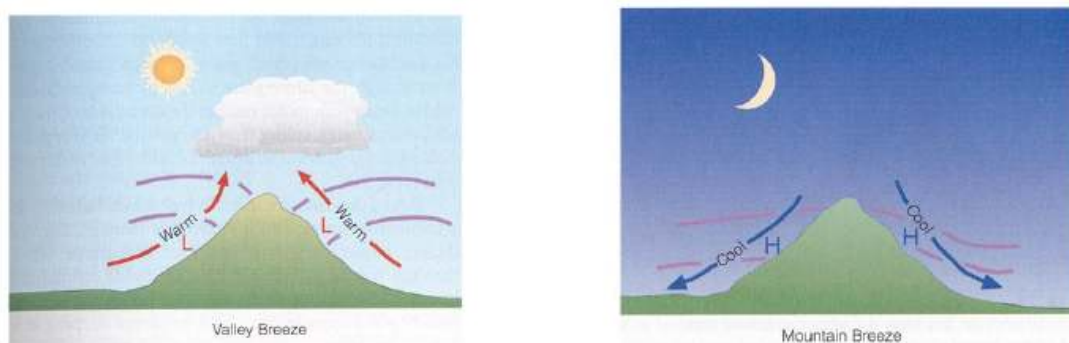


Figura 3.2 – Brisa do vale e brisa da montanha^[9]

3.2. Parâmetros condicionantes do aproveitamento do potencial eólico

A caracterização do recurso eólico num dado local, depende de diversos parâmetros que condicionam de forma, mais ou menos determinante, o escoamento atmosférico de um dado local ou de uma dada região^[10], sendo os seguintes os mais relevantes neste tipo de estudo:

- ❖ Velocidade e direcção do vento;
- ❖ Orografia local;
- ❖ Obstáculos e rugosidade – vegetação e uso do solo.

Nos parágrafos que se seguem apresenta-se uma breve descrição dos pontos considerados.

3.2.1. Velocidade e direcção do vento

A correcta caracterização do escoamento atmosférico num dado local, passa necessariamente, pela medição da velocidade do vento e direcção do vento durante um período representativo, representadas sob a forma de rosa-dos-ventos, como ilustra a Figura 3.3.

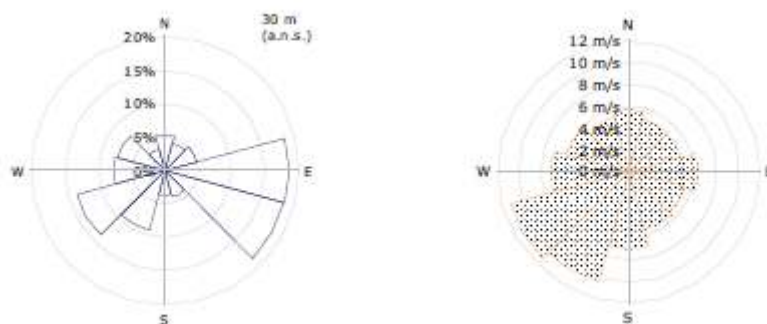


Figura 3.3 – Rosa-dos-ventos ilustrativa da distribuição por sectores da frequência da ocorrência da velocidade do vento (lado esquerdo) e velocidade média por sector (lado direito)^[11]

A indicação do número de vezes que foi registado o vento em cada sector juntamente com a informação da velocidade média por sector, permite obter a Figura 3.4 designada rosa-dos-ventos energética. Esta representa a contribuição energética de cada sector.

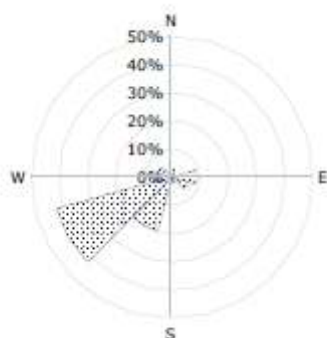


Figura 3.4 – Rosa-dos-ventos energética^[11]

As campanhas experimentais de medida, são normalmente realizadas nos locais onde se pretende instalar os parques eólicos durante, pelo menos, doze meses consecutivos, embora sempre que possível, esta deva ser prolongada por períodos superiores de forma a reduzir as incertezas associadas à variabilidade inter-anual do escoamento atmosférico. A Figura 3.5 ilustra a variação da precisão na estimativa do recurso de um local ao longo do tempo de campanha de medição.

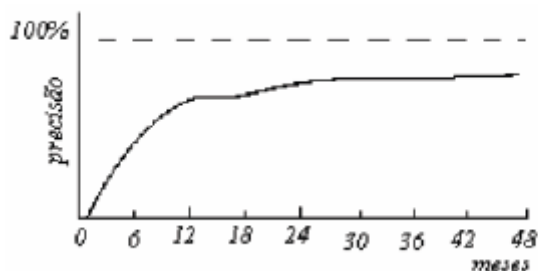


Figura 3.5 – Duração de uma campanha experimental vs precisão nas estimativas^[10]

3.2.2. Orografia

A orografia constitui um dos elementos mais importantes na caracterização do escoamento atmosférico de um dado local, dada a sua elevada dependência da complexidade do terreno em análise (terreno plano, elevações de declive suave ou terreno montanhoso).

As montanhas podem alterar as características do escoamento atmosférico de diferentes formas. O aquecimento das encostas das montanhas durante o dia e arrefecimento durante a noite fazem com que o ar adjacente à montanha aqueça ou arrefeça por condução ou mistura. A diferença de temperatura que se faz sentir entre o ar perto da montanha e o ambiente circulante vai dar origem a fenómenos de brisa. Quando a estabilidade estática é neutra, o escoamento sobre as montanhas cria gradientes de pressão na direcção do escoamento que juntamente com o atrito por fricção à superfície pode produzir separação do fluxo^[10]. Este fenómeno vai procurar turbilhões em esteira a montante ou a jusante da montanha podendo atingir distâncias de várias vezes a altura da montanha, consoante o declive da mesma.

Quando a separação ocorre a jusante da montanha, a esteira produzida pode ir até 10 ou 20 vezes a altura do cume da elevação, enquanto, quando ocorre a montante, os turbilhões produzidos “alinham-se” na base da mesma e são estrangidos pela sua presença. Neste caso, a esteira não vai além de duas alturas da montanha. Este fenómeno é quase inexistente em elevações de inclinação suave, e neste caso, existindo concentração das linhas de corrente, verifica-se um aumento da velocidade do vento e conseqüente aumento de energia que pode ir até 2 vezes o valor obtido sem a perturbação do terreno, (Figura 3.6),^[10].



Figura 3.6 – Aceleração do vento sobre uma elevação^[10]

Alguns critérios gerais para a selecção de locais em terreno montanhoso são^[10]:

- ❖ Cristas perpendiculares à direcção predominante do vento. As cristas são preferíveis às colinas com a mesma inclinação;
- ❖ Colinas de inclinação suave (entre 1:3 e 1:4) onde os cumes não são nem muitos planos, nem muito acentuados, nem de forma dentada;
- ❖ Colinas onde a vegetação seja rasteira.

A localização de um parque numa linha de cumeeada tem algumas vantagens, uma vez que esta actua como uma torre. Os efeitos de arrefecimento junto ao solo são parcialmente evitados e pode existir aceleração do vento aumentando desta forma a energia disponível no local. Neste tipo de terreno são vários os efeitos a ter em conta e o peso da componente térmica pode ser relevante devido aos ventos de vale e de montanha que, eventualmente, se formam^[10]. Na Figura 3.7 apresentam-se várias orientações possíveis e respectivas classificações.

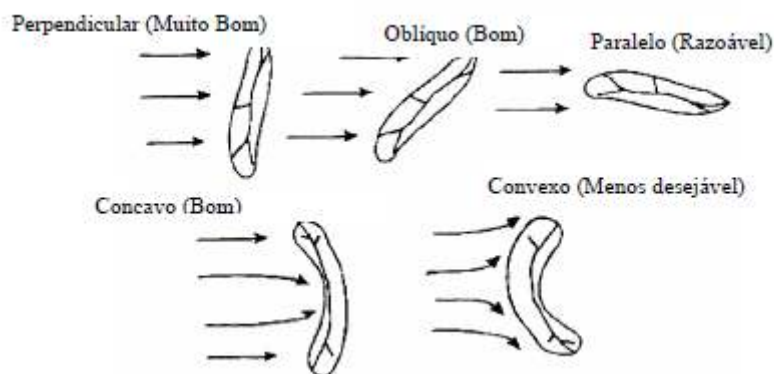


Figura 3.7 – Orientações possíveis de linhas de cumeeada^[10]

A orientação das linhas de cumeeada em relação à direcção predominante do vento é um factor importante na determinação da quantidade de aceleração do vento sobre a mesma. A forma dos montes condiciona o escoamento tornando-se num factor importante para a escolha do local (Figura 3.8).

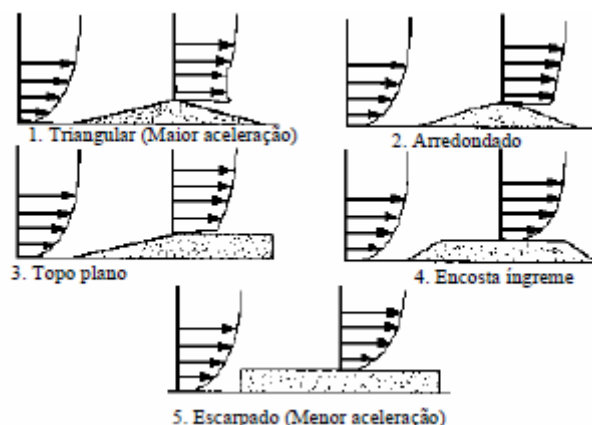


Figura 3.8 – Formas dos montes por ordem de preferência^[10]

A existência de escarpas e falésias introduz zonas de recirculação no escoamento as quais dificultam o posicionamento dos sistemas de medida e aproveitamento de energia do vento^[10]. No entanto se os eólicos forem criteriosamente posicionados podem aproveitar-se, fora destas zonas, locais onde o escoamento acelera e onde, conseqüentemente, existe um acréscimo da energia produzida (Figura 3.9).

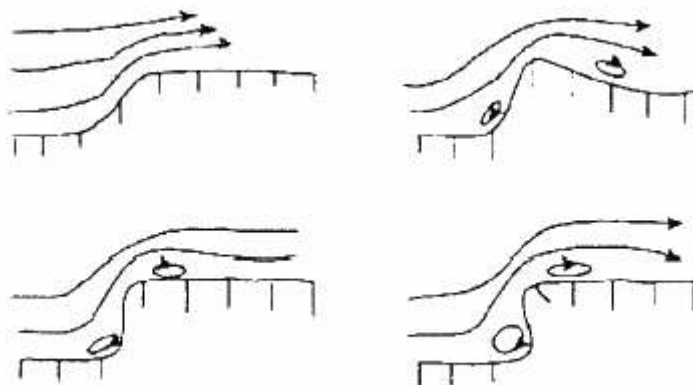


Figura 3.9 – Zonas de recirculação em falésias e escarpas^[10]

O escoamento em terreno montanhoso pode no entanto resumir-se de acordo com os seguintes parâmetros^[10] :

- ❖ O regime de vento na cumeada não é sujeito a grandes variações mas depende do local e da época do ano;
- ❖ A correlação entre a direcção do vento num terreno complexo e uma dada referência em campo aberto é válida apenas para um local;
- ❖ Em média o vento na cumeada é mais elevado no Inverno do que no Verão;
- ❖ Mesmo em dias globalmente calmos pode observar-se no cume vento com substancial velocidade.

Ainda dentro das orografias complexas há que referir o caso de depressões marcadas como os desfiladeiros ou os vales estreitos com orientação apropriada onde o escoamento pode ser acelerado se o vento for “canalizado” ao longo da depressão. As depressões estão em geral parcialmente rodeadas de terreno mais elevado, donde, é necessário que o local escolhido esteja na direcção predominante do vento^[10].

3.2.3. Rugosidades e Obstáculos

A rugosidade de um dado local é outro dos parâmetros de entrada considerados indispensáveis neste tipo de estudos, uma vez que influência de forma determinante o escoamento atmosférico junto ao solo e conseqüentemente a energia disponível num determinado local.

Por rugosidade entende-se no sentido mais geral do termo, o tipo de ocupação do solo característica de uma dada região ou local – vegetação, localidade, zonas de cultivo, etc. O local ideal é caracterizado por rugosidade homogénea e reduzida, sendo no entanto mais frequente encontrar locais onde se encontram vários tipos de rugosidade que se interpenetram^[10]. A Figura 3.10 mostra como o perfil vertical de velocidade do vento pode ser influenciado pela existência de vegetação, arborização e casa ou aglomerados populacionais.

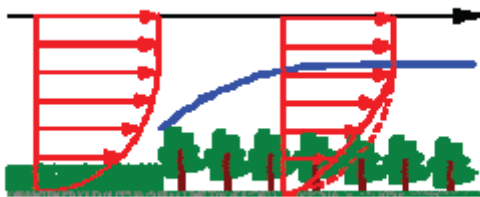


Figura 3.10 – Alteração do perfil de velocidade provocado pela alteração da rugosidade do terreno^[11]

A rugosidade de uma determinada área em estudo é normalmente representada na forma de mapa vectorial, embora o mesmo possa fazer-se através de ficheiros em formato tabular.

No caso de existir uma campanha experimental de medição do vento, o chamado “mapa de rugosidade” é normalmente construído após a recolha em campo da informação sobre o tipo de vegetação e outros elementos de rugosidade, que circundam o mastro anemómetro e respectiva classificação. Os dados são obtidos com base em visitas aos locais para uma identificação *in situ* das diferentes tipologias existentes e aferição das sua dimensões (Tabela 3.1)^[10].

Tabela 3.1 – Tipos de superfície e comprimento de rugosidades correspondentes

TIPOS DE SUPERFÍCIE	COMPRIMENTO DE RUGOSIDADE Z_0 (cm)
Água	~0.001
Areia	0.01 – 0.1
Neve	0.1 – 0.6
Relva (~0.01m)	0.1 – 1
Erva baixa	1 – 4
Terreno lavrado	2 – 3
Erva alta	4 – 10
Pinhal	90 – 100
Árvores e algumas casas	20 – 40
Cidade ou grandes aglomerados de casas	80 – 120
Centros de grandes cidades	200 – 300

O mapa inicial de rugosidade de cada área em estudo é construído no local através da identificação das manchas vegetais e dos elementos considerados como rugosidade. Dado que normalmente, o local onde se encontra instalado o mastro não permite uma visualização global de toda a área de interesse, o mapa é, posteriormente, melhorado e completado com recurso a fotografias tiradas nas imediações do mastro anemométrico, de forma a identificar todos os quadrantes visíveis do local e outros pontos vistos de locais distantes. Durante as visitas, procede-se também à confirmação de manchas de rugosidade existentes na cartografia disponível, de forma a apoiar a construção dos mapas finais. Na inexistência de campanhas experimentais, recorre-se a informação cartográfica e digital disponível.

No final as manchas identificadas são digitalizadas sobre mapas cartográficos georreferenciados e sobrepostas aos mapas de altimetria da região. O mapa final passa assim, a ser um “compósito” da informação de orografia e rugosidade e é utilizado na estimativa das diversas grandezas envolvidas, bem como na geração de mapas de distribuição espacial das mesmas.

É frequente existirem perto do mastro anemométrico, elementos sombra que não podem ser classificados como rugosidade. Neste caso, denominam-se obstáculos e é necessário proceder à sua correcta identificação e caracterização da sua influência na desenvolvimento do escoamento. Os obstáculos podem ser de várias naturezas; casa, depósitos de água, postos de vigia florestais, aglomerados de árvores ou mesmo grandes estruturas de pedra^[10]. Em seguida apresenta-se uma breve descrição do escoamento quando sujeito aos variados tipos de obstáculo.

Edifícios

Muito embora não seja comum instalar aerogeradores nas proximidades de edifícios, este posicionamento pode ocorrer, por exemplo, em quintas ou na proximidade de estruturas urbanísticas. Para além disso, é frequente a instalação de mastros anemométricos em terrenos com obstáculos deste tipo durante as campanhas experimentais de caracterização geral do vento. As perturbações produzidas pelos edifícios aumentam em altitude a jusante. O escoamento é obstruído pelo edifício formando uma esteira ainda a montante do mesmo. Após a passagem pelo obstáculo forma-se uma esteira em forma de ferradura que se estende ainda a alguma distância para jusante^[10], como se pode ver na Figura 3.11.



Figura 3.11 – Escoamento em torno de um edifício^[10]

Algumas precauções a tomar para evitar a influência de edifícios são posicionar os sistemas eólicos^[10]:

- ❖ A uma distância a montante de mais do que duas vezes a altura do edifício;
- ❖ A uma distância mínima a jusante de dez ou mesmo vinte vezes a altura do edifício;
- ❖ Pelo menos 3 a 5 vezes a direcção transversal do edifício se o sistema eólico está colocado transversalmente ao edifício relativamente ao escoamento.

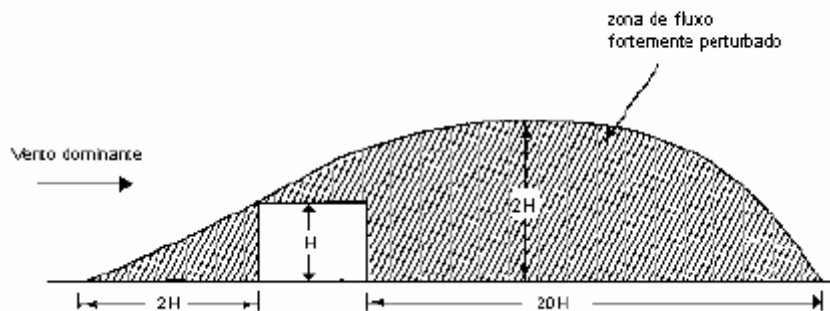


Figura 3.12 – Escoamento perturbado pela presença de um edifício^[10]

Barreiras vegetais

Em regra as barreiras vegetais são construídas por filas de árvores posicionadas oblíqua ou perpendicularmente ao local que pretendem proteger. Existem no entanto algumas formas de minimizar a influência das barreiras vegetais, tais como, a escolha de um local afastado (para jusante) ou para os lados da barreira ou, em última análise, a utilização de uma torre suficientemente alta para minimizar a perturbação do escoamento.

O grau de perturbação do escoamento depende da altura, profundidade e porosidade da barreira vegetal. Como porosidade entende-se a percentagem de área aberta que se pode ver quando se olha através da barreira vegetal. Quanto mais alta é a barreira, maior distância atinge o escoamento perturbado a jusante do obstáculo (Figura 3.13), e conseqüentemente maior distância é necessária para que o escoamento recupere a sua energia inicial^[10].



Figura 3.13 – Escoamento a jusante de uma barreira vegetal^[10]

Árvores posicionadas aleatoriamente

A existência de árvores posicionadas de forma aleatória num local que à primeira vista demonstre algum interesse do ponto de vista energético, pode constituir um problema. A esteira produzida por este tipo de obstáculo, embora seja de intensidade mais fraca do que a produzida pelos obstáculos referidos anteriormente, prolonga-se por maiores distâncias. A perda de velocidade pode variar entre 3% e 20%, e a perda de energia produzida pode variar entre 9% e 40%, dependendo estes valores do tipo de folhagem e da distância ao ponto de interesse^[10].

No caso de se escolher um local onde exista este tipo de obstáculo, deve considerar-se a hipótese de instalação de torres anemométricas de alturas elevadas de forma a minimizar a influência da barreira.

A representação dos obstáculos é feita no local através da medição das distâncias do mastro aos dois cantos mais próximos do obstáculo e respectivos ângulos, altura e profundidade. É também atribuído, posteriormente, um coeficiente de porosidade a cada obstáculo (tabela 3.2)^[10].

Tabela 3.2 – Coeficiente de porosidade atribuídos aos obstáculos

APARÊNCIA DA BARREIRA	POROSIDADE (P)
Sólida (parede)	0
Muito densa	<0.35
Densa	0.35 – 0.50
Aberta	>0.50

3.3. Variabilidade do Vento

A superfície terrestre exerce um importante papel no comportamento dos ventos. O perfil eólico de uma região é condicionado significativamente por fenómenos climáticos próximos da superfície. Desta forma, os fenómenos atmosféricos são governados por sistemas climáticos associados a diferentes escalas de tempo e espaço. Estas escalas dependem, fundamentalmente, das condições geográficas do local^[11].

3.3.1. Variabilidade Espacial e Temporal

A variabilidade geográfica do recurso eólico tem em consideração o efeito provocado por alterações da latitude, da orografia e da ocupação do solo na disponibilidade do recurso eólico. A influência que cada um destes factores tem é assim diferenciada numa escala subdividida em variações de Grande, Média e Pequena escala. Os Himalaias são um exemplo da variabilidade geográfica de média escala (relevo regional). Consistem na mais alta cadeia montanhosa no mundo, espalham-se de Oeste para Leste, formando um arco de cerca de 2 500 km de extensão e com uma largura variando de 400 km no Oeste a 150 km no Leste^[12]. A Figura 3.14 mostra as cadeias montanhosas dos Himalaias.



Figura 3.14 – Vista aérea dos Himalaias^[12]

Medições climatológicas em qualquer parte do mundo revelam que os ventos variam de forma temporal tanto na sua intensidade (velocidade) como na sua orientação (direcção). Do ponto de vista do aproveitamento da energia eólica é importante distinguir os vários tipos de variação temporais da velocidade dos ventos, que se podem subclassificar em Grande, Média, Pequena e Microescala consoante o período de tempo envolvido na variação seja da ordem de vários anos, anual (sazonal), diária (dia/noite) ou da ordem de minutos/segundos^[11].

O El Niño/La Niña e a Oscilação do Atlântico Norte são exemplos de fenómenos climáticos da variabilidade temporal pertencentes à Grande Escala.

A título de exemplo, o El Niño é um fenómeno climático, de carácter atmosférico-oceânico, em que ocorre o aquecimento fora do normal das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. As causas deste fenómeno ainda não são bem conhecidas pelos especialistas em clima.

Este fenómeno costuma alterar vários factores climáticos regionais e globais como, por exemplo, índices pluviométricos (em regiões tropicais de latitudes médias), padrões de vento e deslocamento de massas de ar. O período de duração do El Niño varia entre 10 e 18 meses e ele acontece de forma irregular (em intervalos de 2 a 7 anos)^[13].

As características do vento num dado local não se repetem de ano para ano e variam sazonalmente, apresentando registos durante o inverno diferentes dos verificados no verão. A figura 3.15 pretende mostrar a variabilidade inter-anual de um determinado local bem como a variabilidade sazonal.

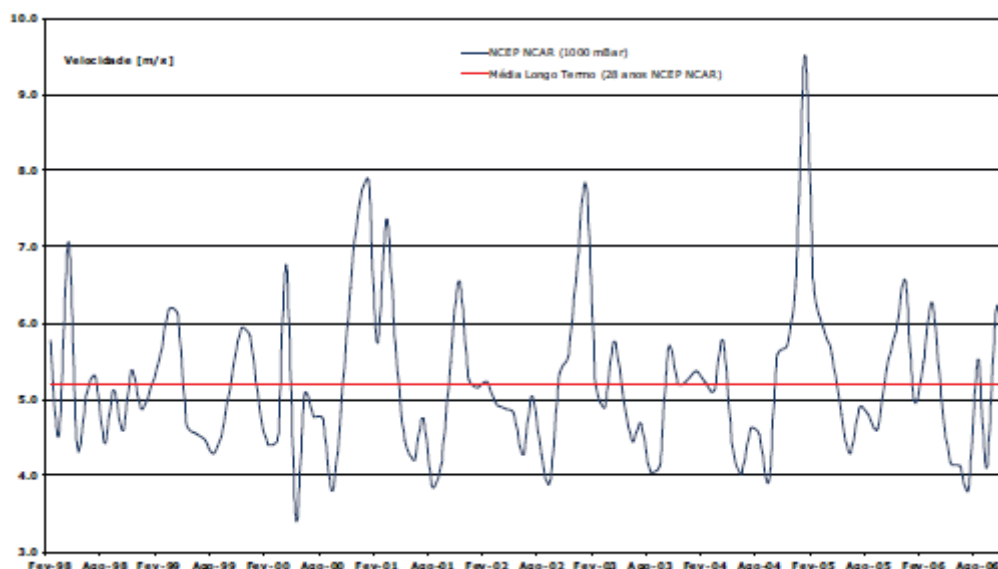


Figura 3.15 – Variação inter-anual do regime de ventos num dado local

Se passarmos para uma escala de tempo menor, os registos de 10 em 10 minutos do vento indicam uma forte variabilidade da velocidade, como se pretende mostrar na Figura 3.16.

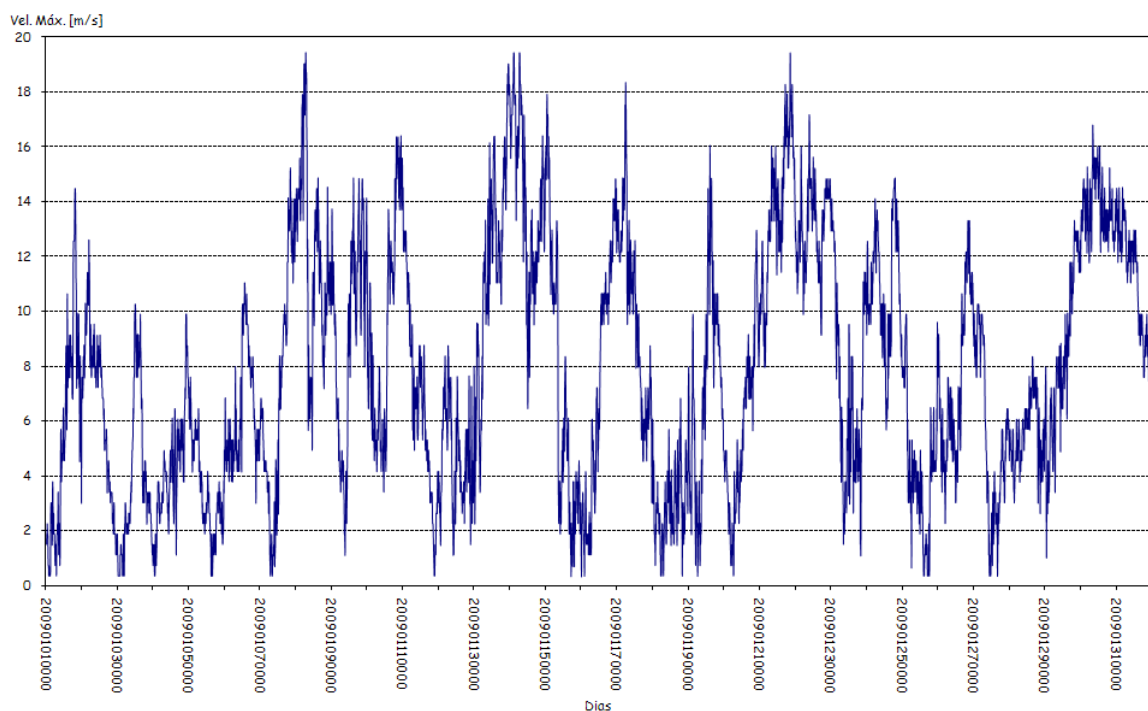


Figura 3.16 – Padrão mensal do regime de ventos num dado local

A Tabela 3.3 resume a informação relativa à classificação da variação do vento numa escala de espaço e tempo.

Tabela 3.3 – Escalas de espaço e tempo^[11]

Escala	Variabilidade Geográfica		Variabilidade Temporal	
	Causa mais comum	Espaço (km)	Variação	Tempo (horas)
Grande escala	Variação da altitude	> 100	Inter-anual	> 10000
Média Escala	Orografia: relevo regional	1 - 100	Sazonal (Verão; Inverno)	> 100
			Sinóptica (Semanas)	
Pequena Escala	Ocupação do solo;	< 1	Dia/Noite	1 - 100
	Orografia: relevo local			
Microescala			Minutos/Segundos	< 1

3.4. Distribuição de Weibull

Uma vez que a intensidade do vento ao longo do dia não é constante para se determinar a energia produzida durante um certo intervalo de tempo é necessário recorrer a um tratamento de dados de forma a agrupar as velocidades e as frequências em que eles ocorrem (histograma de velocidades). De forma mais simplificada, é necessário saber quantas vezes ocorreu um certo valor de velocidade de vento no intervalo em estudo.

A distribuição de Weibull é o método mais utilizado para se realizar o tratamento estatístico de histogramas relativos ao comportamento dos ventos, como se exemplifica na Figura 3.17, sendo também usado na maioria dos programas computacionais que estimam a produção anual de energia.

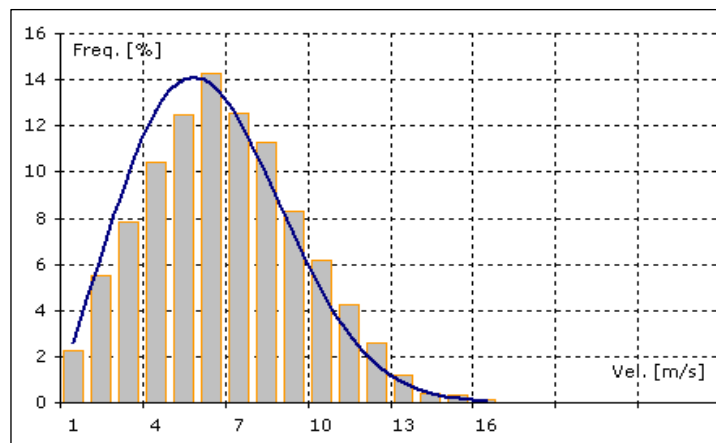


Figura 3.17 – Histograma de velocidades

A distribuição de Weibull é normalmente representada em função de “k” e “A”, onde:

- ❖ k = factor de forma da distribuição;
- ❖ A = factor de escala que depende da velocidade média dos ventos;

Em determinadas localidades e em certos períodos do ano a distribuição de Weibull ajusta-se bastante bem ao histograma de velocidades, apresentando melhores resultados do que aqueles fornecidos pela distribuição de Rayleigh ($k=2$). A função densidade de probabilidade é dada pela seguinte expressão:

$$f(u) = \frac{k}{A} \left(\frac{u}{A} \right)^{k-1} \exp \left(- \left(\frac{u}{A} \right)^k \right) \quad (3.1)$$

Onde:

$f(u)$ – Função densidade de probabilidade

u – Velocidade do vento [m/s]

Como descrito anteriormente, a distribuição de Weibull é uma distribuição de dois parâmetros: um parâmetro de escala (“A”), relacionado com o valor da velocidade média, e o parâmetro de forma (“k”), que é adimensional e fornece a indicação da uniformidade da distribuição e a forma da curva de Weibull. A figura seguinte mostra a influência do parâmetro de forma k na curva de distribuição de Weibull.

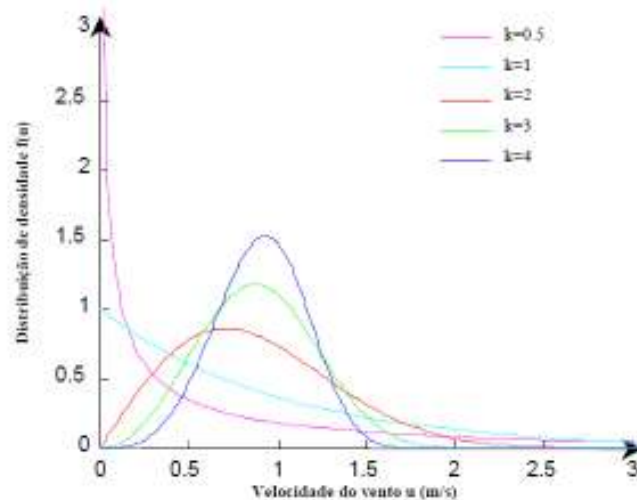


Figura 3.18 – Comportamento da função de distribuição de densidade de Weibull para diversos valores de k e para $A=1$ ^[14]

A análise das velocidades médias num determinado local deve ser feita tendo em atenção o factor de forma, pois é este que indica a prevalência dos resultados próximos da média. Assim, valores de k elevados (2,5 – 3) indicam que a variação à volta da média anual é baixa, enquanto que valores de k baixos (1,2 – 1,5) indicam grande variação à volta da média anual. Se eventualmente um local apresentasse velocidades médias próximas de 7,0 m/s e factor de forma igual a 1,0 podia-se concluir que embora o local tivesse um recurso eólico elevado, a variação à volta da velocidade é praticamente nula em torno do valor da velocidade média anual^[11].

No caso de ser o valor do factor de forma (k) constante, verifica-se que, à medida que o valor do factor de escala (A) aumenta, aumenta a dispersão dos dados em torno desse valor, como apresentado na Figura 3.19.

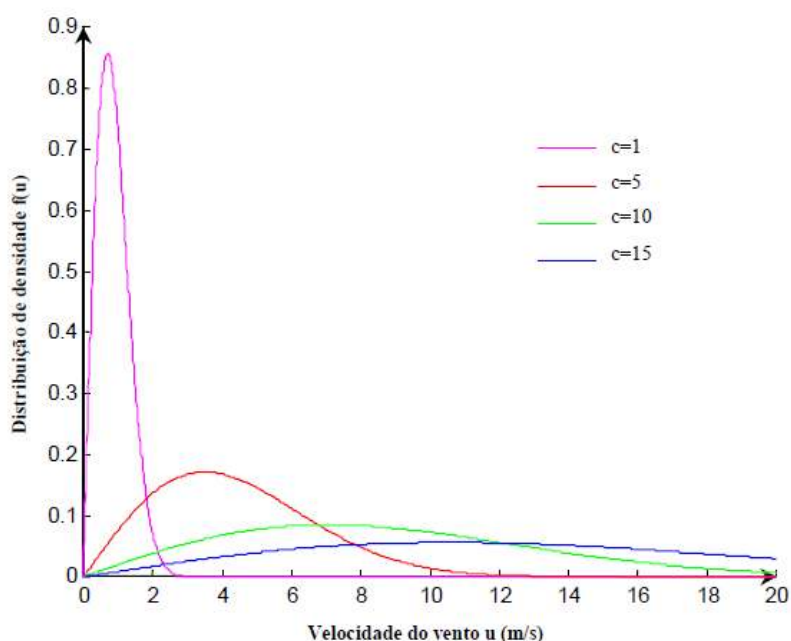


Figura 3.19 – Comportamento da função de distribuição de Weibull para diversos valores de A e para o valor de $K=2$ ^[14]

Analisando o comportamento geral da distribuição verifica-se que existe uma relação entre k e A , não sendo possível comparar regimes de vento analisando apenas o comportamento de um dos parâmetros^[11].

CapítuloIV

Produção de Energia

4.1. Energia do Vento

O princípio de funcionamento do aproveitamento do recurso eólico baseia-se no aproveitamento de parte da energia cinética associada a uma massa de ar em movimento (vento). A potência disponível no vento obtém-se multiplicando a energia disponível pela área de passagem e pela velocidade^[15], dada por:

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \rho A' V^3 \quad (4.1)$$

Onde:

P_{disp} – Potência disponível no vento [W]

ρ – Massa volúmica do ar [kg/m³]

A' – Área varrida pelas pás [m²]

V – Velocidade do vento incidente [m/s]

A partir da Expressão (4.1) constata-se importantes aspectos relacionados à potência do vento, listados a seguir^[15]:

- ❖ A potência do vento é directamente proporcional à massa específica do ar, ρ , ou seja, em diferentes altitudes e temperaturas teremos potenciais do vento, para uma mesma velocidade deste;
- ❖ A potência do vento é directamente proporcional à área da secção transversal que pode representar a área varrida pelas pás do rotor de uma eólica:
- ❖ A potência do vento é directamente proporcional ao cubo da velocidade do vento, ou seja, um vento com velocidade 10% superior representa mais 33% de potência.

Neste momento coloca-se a questão de saber se será possível converter em potência útil toda a energia cinética “transportada” pelo vento quando este passa através do rotor de um aerogerador. Se isso fosse possível o ar sairia com velocidade nula, ou seja, o ar não poderia abandonar a turbina. Neste caso, não seria possível extrair

energia, uma vez que também não entraria ar no rotor do aerogerador. No caso de o ar passar pelo aerogerador sem qualquer impedimento, também não será possível extrair energia a partir do vento.

Entre estes dois casos existe um valor para o qual é mais eficiente a conversão da energia do vento em energia mecânica, ou seja, o máximo de energia que pode ser retirada do vento através de um aerogerador correspondente a uma diminuição na velocidade do vento de 2/3 em relação à sua velocidade antes de atingir o aerogerador. Este valor é referente a uma formulação de 1919, realizada pelo físico Albert Betz, e conhecida como Lei de Betz^[11].

4.2. Lei de Betz

O rendimento teórico máximo, normalmente chamado coeficiente de potência máximo, $Cp_{máx}$, é a razão entre a potência útil máxima e a potência total disponível no vento^[11].

$$Cp_{máx} = \frac{P_e}{P_{disp}} \quad (4.2)$$

Onde:

P_e – Potência à saída da turbina[W]

P_{disp} – Potência disponível no vento[W]

A Lei de Betz considera que é possível converter no máximo cerca de 59% da energia cinética disponível no vento em energia mecânica^[11].

Os rotores que actualmente são utilizados para a produção comercial de electricidade apresentam coeficientes de potência compreendidos entre 0,35 e 0,4 (rendimentos de 60% a 70%). Na Figura 4.1 encontra-se representada a variação do Cp (coeficiente de potência) em função da velocidade do vento, para um aerogerador comercial recente.

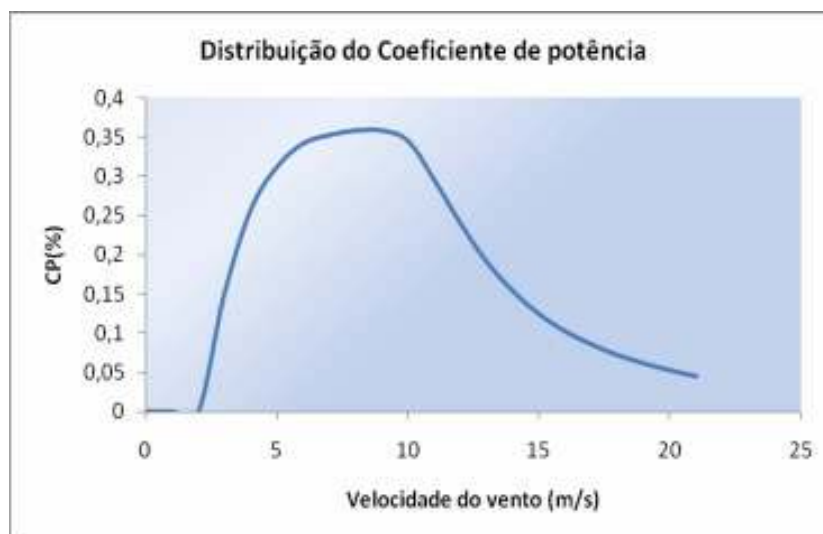


Figura 4.1 – Curva do coeficiente de potência de um aerogerador^[16]

4.3. Energia Produzida

A energia produzida por uma turbina eólica depende da velocidade do vento. Como se viu, a potência disponível do vento é proporcional ao cubo da sua velocidade. No entanto, as turbinas eólicas não têm uma potência de saída sempre proporcional ao cubo da velocidade do vento. As turbinas eólicas são projectadas para gerarem a máxima potência a uma determinada velocidade. Esta potência é a então designada potência nominal e a velocidade do vento para a qual ela é atingida de velocidade nominal. Para valores de velocidade do vento superiores à velocidade nominal, a potência de saída da turbina mantêm-se constante. Quando a velocidade nominal do vento é atingida e ultrapassada a turbina é regulada para funcionar a potência constante, provocando-se artificialmente uma diminuição no rendimento da conversão. Os modernos aerogeradores utilizam dois diferentes princípios de controlo aerodinâmico para limitar a extracção de potência à potência nominal do aerogerador. São chamados de controlo por deslocamento aerodinâmico (*stall*) e controlo de passo das pás (*pitch*)^[17]. Os fabricantes apresentam sempre a chamada **curva de potência do aerogerador**^[16].

Habitualmente, seleccionam-se geradores que atingem a potência nominal a velocidades entre os 12 e os 15 m/s. Assim, quando a velocidade do vento supera esses valores, é necessário limitar a potência, de forma a não danificar o gerador.

As Figuras 4.2 e 4.3 mostram a representação gráfica da frequência relativa de ocorrência da velocidade média do vento, num dado local, e da curva de potência do aerogerador considerado.

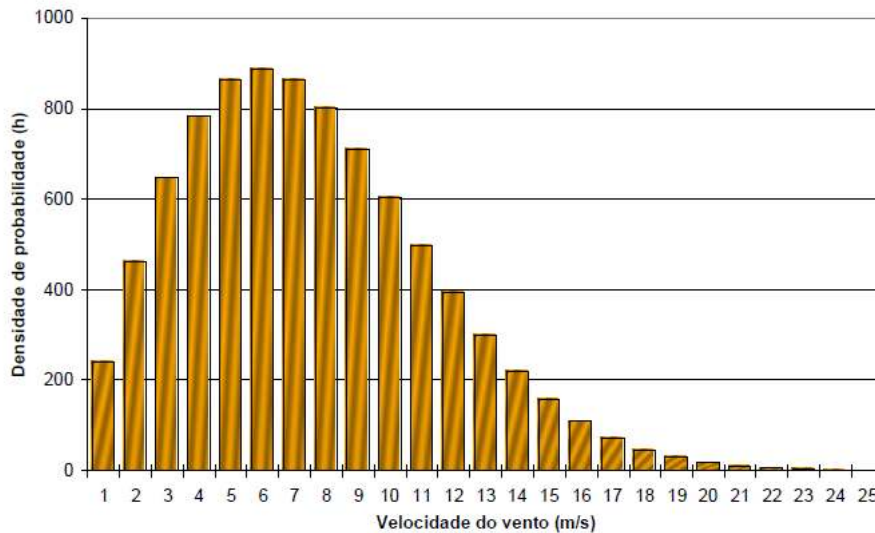


Figura 4.2 – Frequência relativa de ocorrência da velocidade média do vento^[18]

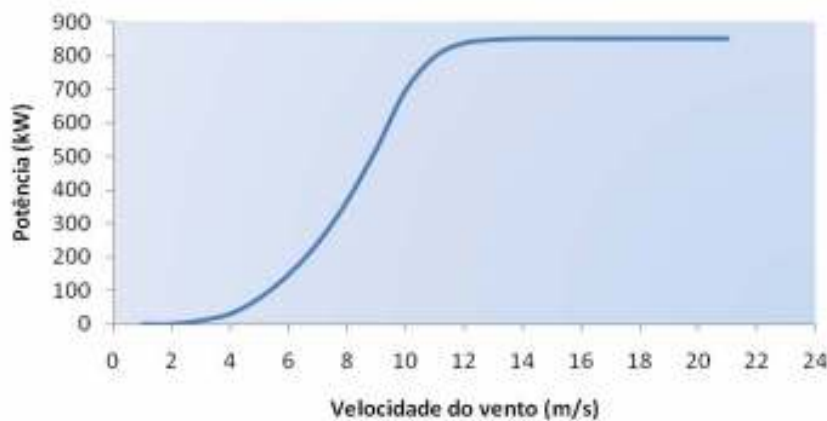


Figura 4.3 – Curva de potência de um aerogerador com controlo *pitch*^[16]

A multiplicação, para cada velocidade média do vento, das características representadas na Figura 4.2 e 4.3 origina o valor esperado para a energia produzida por velocidades média do vento, representado na Figura 4.4.

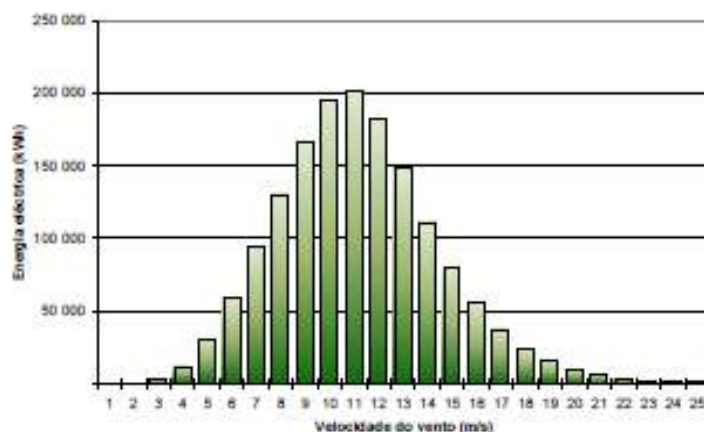


Figura 4.4 – Energia produzida com base na velocidade média do vento e na curva de potência do aerogerador^[18]

A soma, para todas as velocidades médias do vento, dá o valor esperado para a produção de energia anual, a partir do qual se calcula as horas a plena carga, h_a .

Assim:

$$h_a = \frac{\text{Energia anual}}{\text{Potência instalada}} \quad (4.4)$$

Dependendo das condições de vento do local, é comum para Portugal obter valores de utilização anual da ordem de 2 000 a 3 500 horas^[18].

Capítulo V

***Modelo de Reanalysis
(NCEP/NCAR)***

5.1. Modelo de Reanalysis I (NCEP/NCAR)

A variação anual do regime de ventos adiciona um certo grau de incerteza na avaliação de recursos eólicos analisados em várias fontes. As variabilidades são decisivas e essenciais (Determinantes dessa variabilidade são essenciais) para uma avaliação eficaz do potencial de um parque eólico para a duração prevista da sua vida útil.

Os Centros Nacionais de Previsão Ambiental (NCEP) e o Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica (NCAR) colaboraram no projecto "Reanalysis" para reproduzir efeitos retroactivos a 51 anos (1948-1998), recorde de análises globais dos campos atmosféricos de apoio às necessidades das comunidades de pesquisa e monitoramento do clima.

A Reanalysis^[19] é um projecto cooperativo entre o NCEP e o NCAR que assenta numa técnica de assimilação de dados para produzir um número relativamente elevado de variáveis climáticas e meteorológicas.

Numa primeira fase os dados de observação (temperatura, velocidade do vento, pressão, etc.) são analisados e interpolados para sistema de redes tridimensionais ou tetradimensionais com o auxílio de modelos de circulação geral, utilizados nas previsões do estado do tempo.

O modelo é colocado em curso com os dados de observação em que os outputs da simulação são variáveis climáticas (algumas não obtidas de forma directa), algumas interpoladas para zonas do globo onde existe a impossibilidade de recolher qualquer informação sobre o estado do tempo. Neste processo específico são produzidos e "reanalizados" dados a vários passos temporais, que vão desde uma frequência de quatro vezes por dia (de 6 em 6 horas) até aos resumos mensais (médias mensais), sem esquecer as médias diárias, tendo como base o Tempo Universal(UTC).

Os dados desta base de dados estão divididos nas seguintes categorias:

- 1.Pressure Level Data
- 2.Surface Data
- 3.Surface Flux Data
- 4.Other Flux Data
- 5.Tropopause Level Data
- 6.T62 Spectral Coefficients

Os dados estão dispostos numa grelha ou malha global de resolução de $2,5^{\circ}\text{Lat} \times 2,5^{\circ}\text{Long}$, excepto no caso dos dados de fluxos e coeficientes espectrais, nos quais a resolução é ligeiramente mais fina, não regular, mas gaussiana. A resolução de $2,5^{\circ}\text{Lat} \times 2,5^{\circ}\text{Long}$ pode ser considerada adequada até para estudos mais regionais de maior escala, como por exemplo a Península Ibérica.

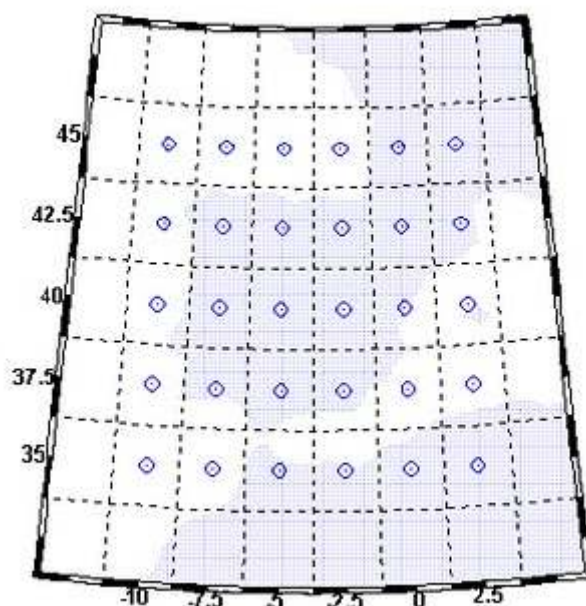


Figura 5.1 - Grelha e pontos dos dados NCEP/NCAR para a Península Ibérica^[19]

Tem uma boa resolução para escalas regionais e hemisféricas, permitindo um pormenor bastante razoável para toda a região do Atlântico Norte. De referir ainda que há dados a 17 níveis isobáricos: 1000hPa, 925hPa, 850hPa, 700hPa, 600hPa, 500hPa, 400hPa, etc, terminando aos 10hPa. Para todos estes níveis, há informação de diversos parâmetros climáticos e meteorológicos.

Uma segunda versão desta base de dados está agora disponível. Os dados estão disponíveis desde Janeiro de 1979 a Dezembro de 2008 e relativamente à primeira versão há várias vantagens, apesar da menor cobertura temporal:

- a) Há maior número de variáveis;
- b) A versão 2 é conhecida por ser mais fiável e com menos erros relativamente à primeira versão^[19].

Existem dados desde 1948 até ao presente, dados esses que se encontram disponíveis on-line com aproximadamente duas semanas de atraso, e portanto a actualização pode ser considerada como sendo tempo real. A grande vantagem desta base de dados reside no facto de disponibilizar um número elevado de parâmetros (à superfície e em altitude), todos eles relacionados com a dinâmica da atmosfera, formando um conjunto de informações bastante coerente, homogéneo e actualizado^[19].

Capítulo VI

***Apresentação do
caso em estudo***

O caso em estudo consiste na avaliação da variabilidade inter-anual do regime de ventos em diferentes locais de Portugal, da Polónia e da Roménia. Para este estudo foram utilizados dados de vento de estações de medição locais situadas nos territórios dos diferentes Países e a operar a alguns anos a esta parte.

6.1. Metodologia

A primeira fase do trabalho consistiu em seleccionar, de entre as estações de medição local operadas pela MEGAJOULE em cada um dos países em estudo, aquelas que serviriam de suporte ao estudo da variabilidade inter-anual do regime de ventos. Esta selecção teve por base o número de anos de existência da estação, que se pretende o maior possível, e a sua localização geográfica.

As Figuras 6.1 a 6.3 representam os mapas dos três Países em estudo nos quais foram assinaladas as localizações das várias estações locais de medição utilizadas. Assim, no caso de Portugal serão utilizados dados de vento de uma estação no norte, de duas estações no centro-norte e duas estações no sul. Já na Polónia serão utilizados dados de três estações localizadas a sudeste e uma a sudoeste. Quanto à Roménia todas as estações se situam a sudeste do território.



Figura 6.1 – Mapa de Portugal com localização das estações

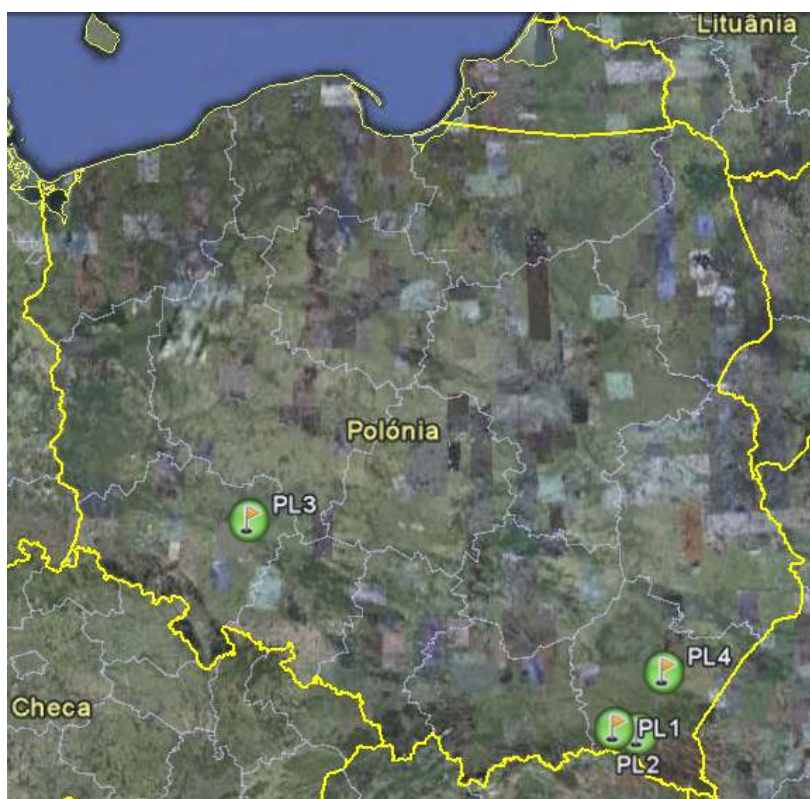


Figura 6.2 – Mapa da Polónia com localização das estações



Figura 6.3 – Mapa da Roménia com localização das estações

Na Tabela 6.1, a sombreado, encontram-se caracterizados os períodos de operação das estações de cada país.

Tabela 6.1 – Estações vs período de análise

	ESTAÇÕES	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
		2004	2005	2006	2007	2008	2009
Portugal	P1						
	P2						
	P3						
	P4						
	P5						
Polónia	PL1						
	PL2						
	PL3						
	PL4						
Roménia	RO1						
	RO2						
	RO3						
	RO4						
	RO5						
	RO6						

Portugal, é o País onde estão disponíveis estações a operar à mais tempo podendo dispor-se de estações com períodos de operação de 3 a 6 anos. Na Polónia e Roménia apenas se dispõe de estações a operar com períodos de 3 a 4 anos. Esta poderá ser uma limitação do estudo que se pretende efectuar já que o número de anos para os quais se dispõe de informação, para caracterizar a variabilidade inter-anual do regime de ventos, é reduzido podendo não ser representativo do comportamento médio de longo termo. No entanto, este estudo pretende contribuir para o esclarecimento das possíveis diferenças existente entre Portugal, Polónia e Roménia no que diz respeito a esta matéria.

Utilizando os registos mensais da velocidade média do vento foram calculadas as velocidades médias anuais para os anos de operação de cada uma das estações. Neste cálculo foram apenas consideradas as velocidades médias mensais cuja cobertura de dados foi superior a 70%, ou seja, as medições de velocidade feitas durante um mês devem preencher pelo menos 70% do mês para se considerar um mês válido para a análise em questão.

As velocidades médias bianuais e trianuais foram calculadas a partir dos valores obtidos para as velocidade médias anuais, fazendo médias de dois em dois anos e de três em três anos consecutivos, durante o período de anos de operação de cada estação. Utilizando as velocidades médias anuais correspondentes ao período completo de operação foram calculadas as velocidades médias para cada estação. Daqui, resulta uma das limitações inultrapassáveis deste trabalho: quanto menor for o período de medições disponíveis mais afastada do longo termo estará a velocidade média anual do período completo calculado.

6.2. Variabilidade inter-anual do regime de vento

Os resultados obtidos para a distribuição da velocidade média anual nas estações de medição em análise para Portugal apresentam-se nas Figuras 6.4 a 6.8. Nestas figuras encontram-se, também, representadas as variações das velocidades médias bianuais e trianuais e, ainda, a tracejado, o valor da velocidade média do vento em cada estação.

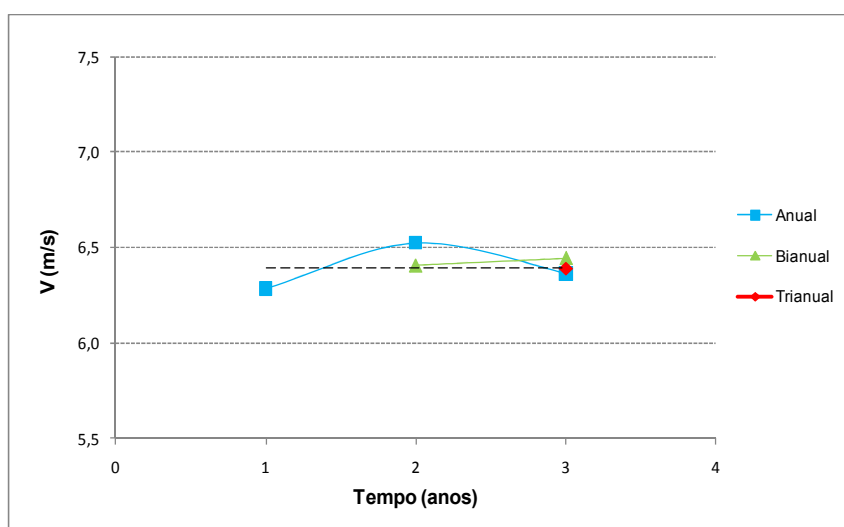


Figura 6.4 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P1

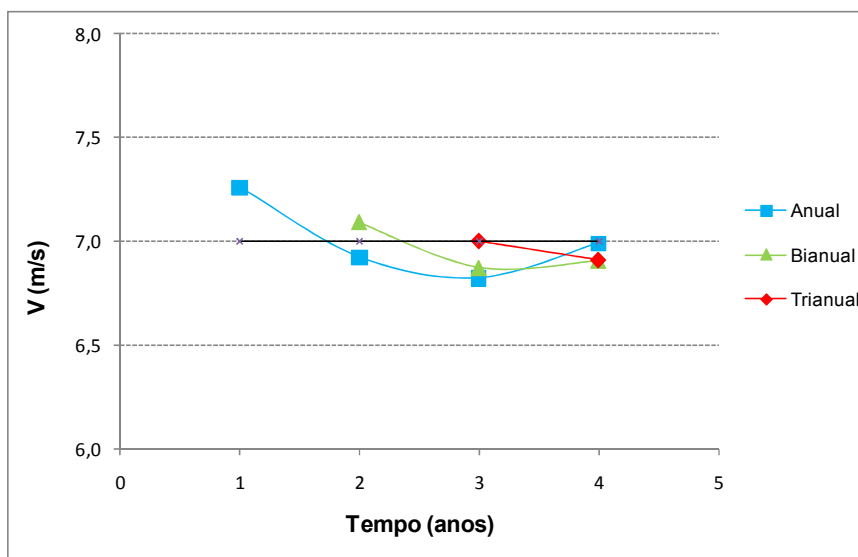


Figura 6.5 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P2

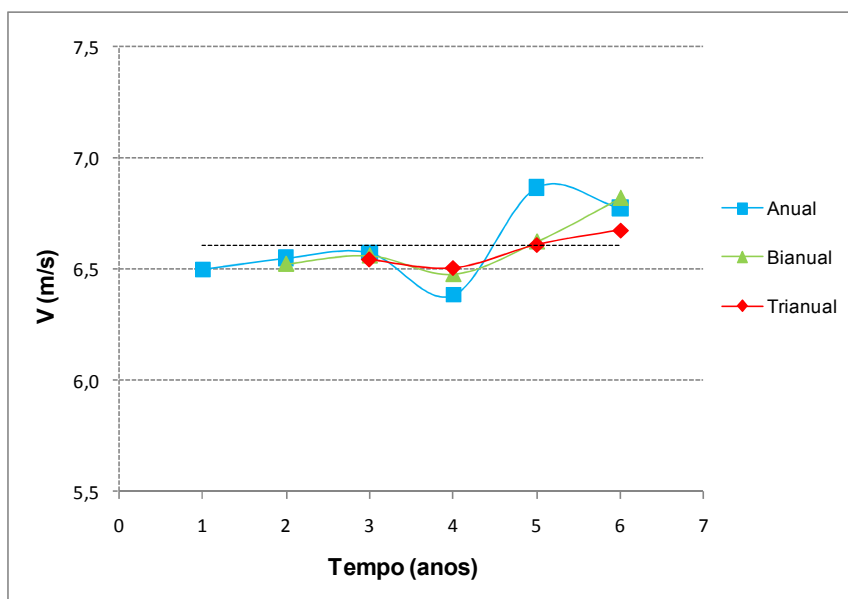


Figura 6.6 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P3

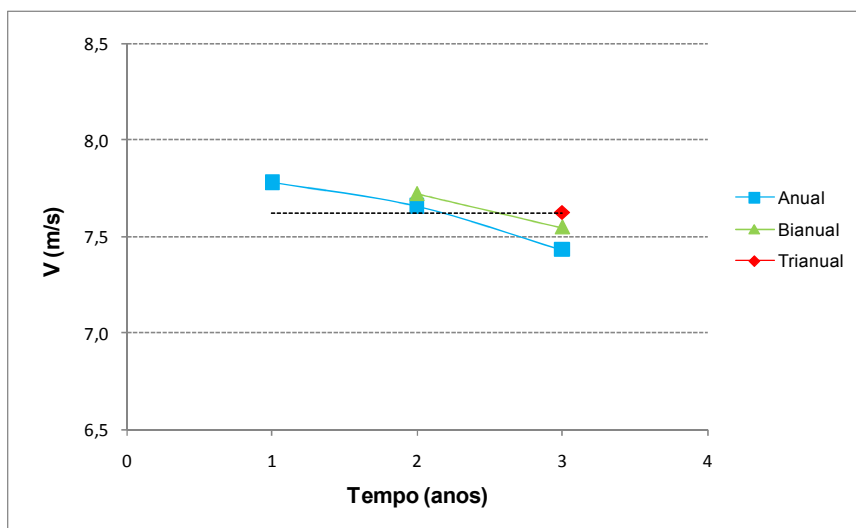


Figura 6.7 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P4

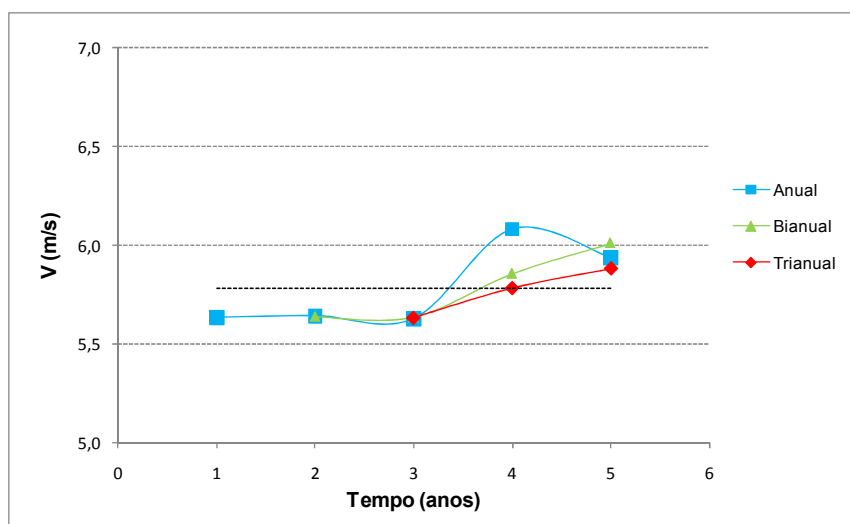


Figura 6.8 – Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação P5

Como seria de esperar, para todas as estações analisadas e, independentemente da sua localização geográfica ou magnitude do vento, verifica-se um amortecimento do desvio da velocidade média anual relativamente à velocidade média do período completo, quando o número de anos utilizado no seu cálculo aumenta.

Para sintetizar esta informação foram calculados, para cada ano, os desvios da velocidade média anual relativamente à velocidade média e os resultados apresentam-se na Figura 6.9. O mesmo procedimento foi efectuado para os desvios relativamente às médias bianuais e trianuais (Figuras 6.10 e 6.11). À medida que o período de dados

utilizado no cálculo da velocidade média aumenta e se passa de um ano para dois e para três, a variação é atenuada e o desvio tende para zero. Refira-se que, o número de estações diminui quando se passa da média anual para a bianual e por conseguinte para a trianual, uma vez que o número de anos de operação das estações não é o mesmo.

Para o conjunto de locais analisados em Portugal e salvaguardando sempre o facto de alguns deles terem sido até agora monitorizados por um período curto de tempo, para a análise que se pretende efectuar, a escolha de um qualquer período anual de medição para a caracterização do regime de ventos de um dado local poderia originar um desvio na velocidade média de cerca de + 5,5%, situação mais desfavorável do ano de 2008 no local P1.

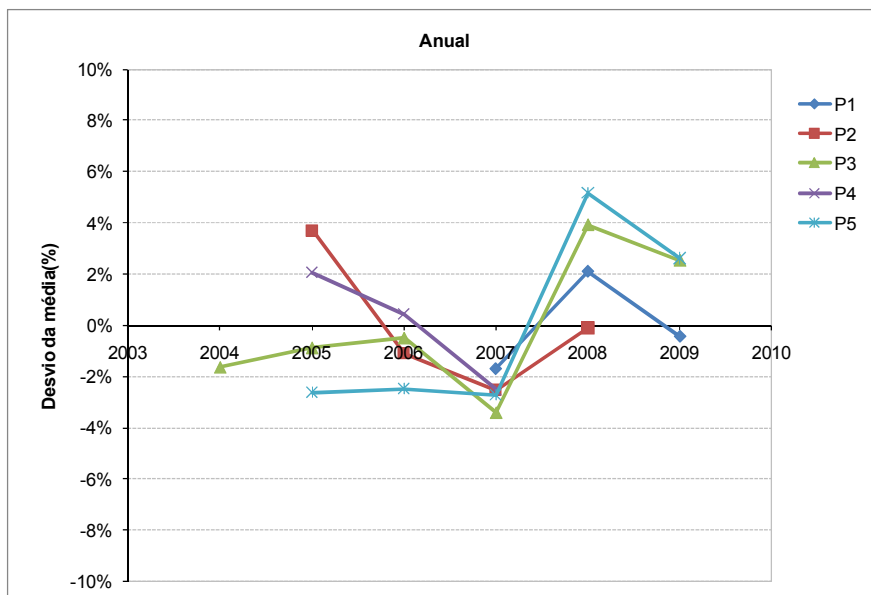


Figura 6.9 – Desvio da velocidade média anual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Portugal)

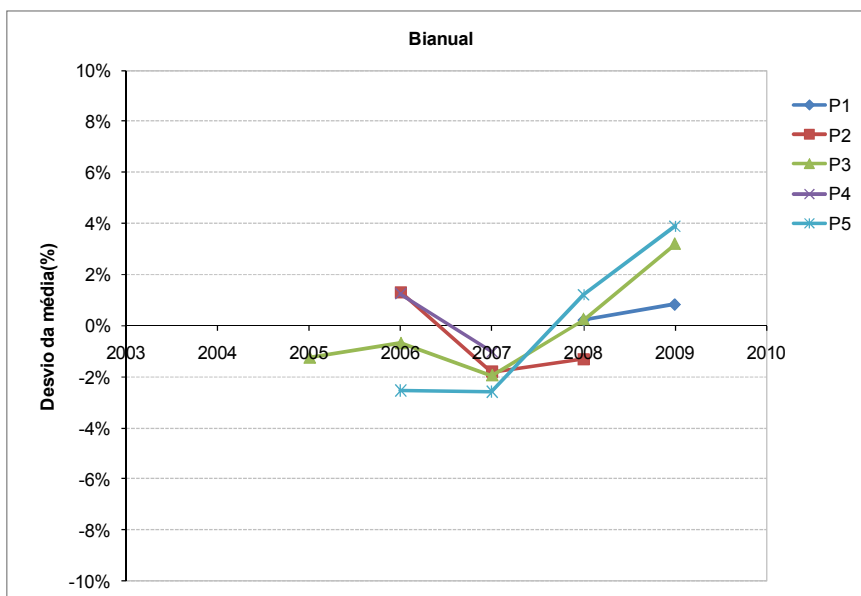


Figura 6.10 – Desvio da velocidade média bianual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Portugal)

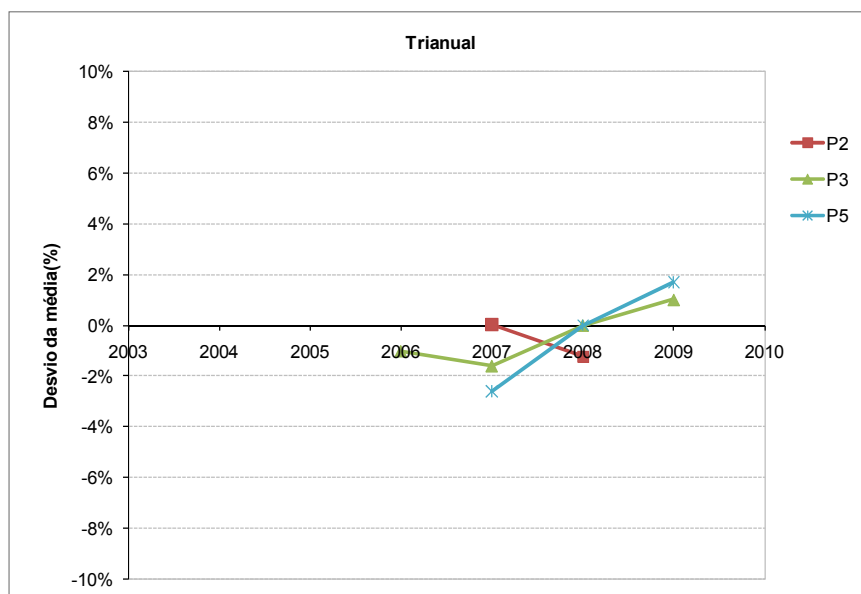


Figura 6.11 - Desvio da velocidade média triannual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Portugal)

Se, por outro lado, forem levadas a cabo medições locais em 2 anos consecutivos, o pior cenário aponta para um desvio da velocidade média registado relativamente ao período total de medições de cerca de 4%, também no local P1 e considerando o

período bianual de 2008/2009. Com 3 anos de medições ininterruptas, o maior desvio encontrado refere-se ao triénio 2005/2006/2007 do local P5, cerca de -2,5%

Um estudo semelhante ao efectuado para Portugal foi efectuado para a Polónia e para a Roménia utilizando a informação das estações locais de medição de vento seleccionadas em cada um destes Países. Também neste caso se verificou o mesmo comportamento que o obtido para Portugal no que diz respeito ao amortecimento do desvio da velocidade relativamente à média do período completo, quando o número de anos utilizado no seu cálculo aumenta. Assim, dispensar-se-á aqui a apresentação desses resultados, que se encontram em anexo, passando-se a analisar o seu comportamento relativamente aos desvios obtidos.

Os resultados obtidos para o desvio das velocidades médias anuais, bianuais e trianuais relativamente à velocidade média para as estações da Polónia encontram-se nas Figuras 6.12 a 6.14 e os resultados equivalentes relativamente à Roménia nas Figuras 6.15 a 6.17.

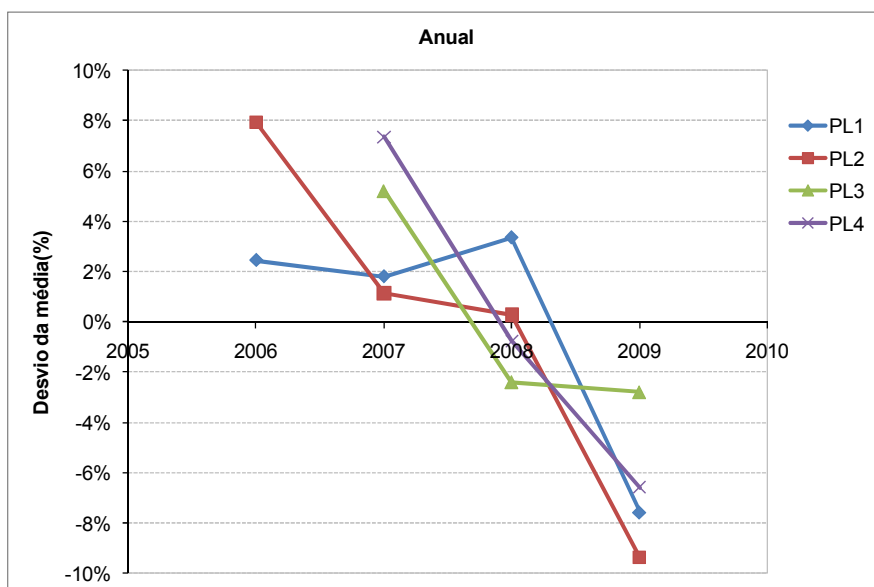


Figura 6.12 – Desvio da velocidade média anual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Polónia)

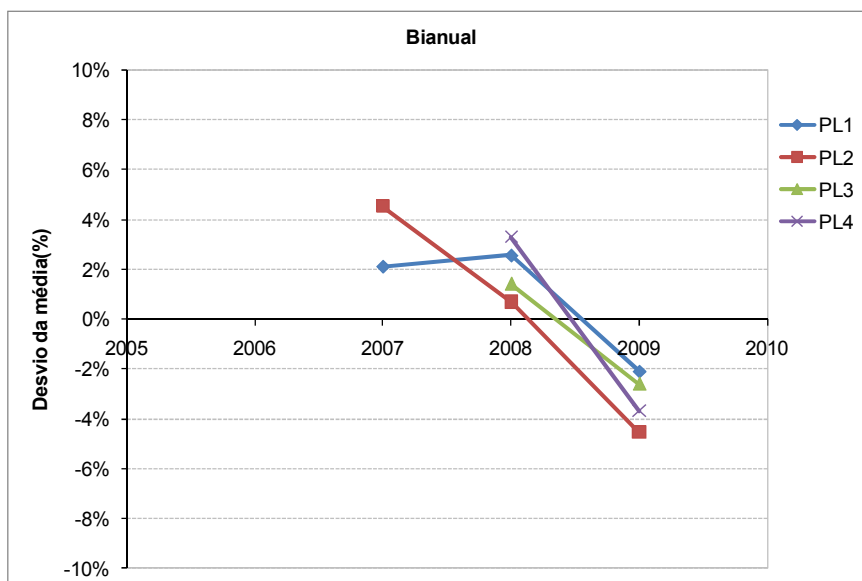


Figura 6.13 – Desvio da velocidade média bianual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Polónia)

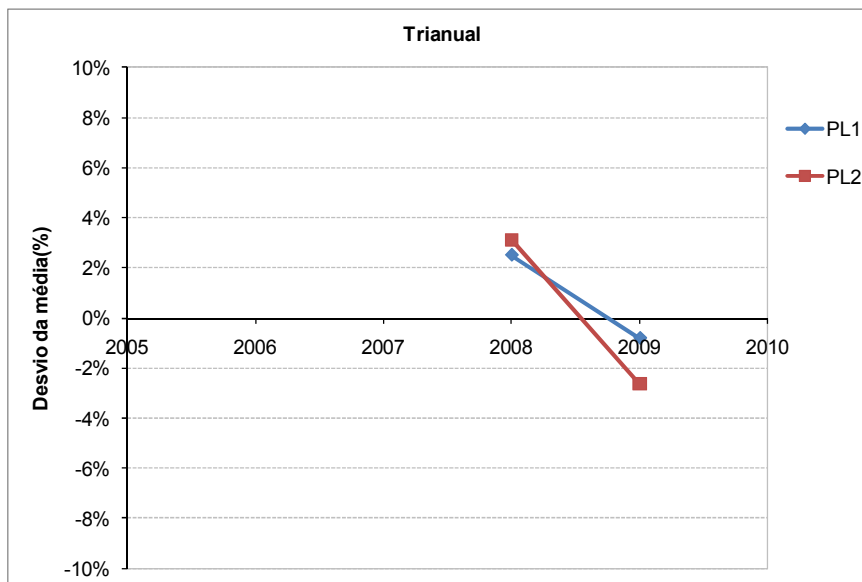


Figura 6.14 – Desvio da velocidade média triannual relativamente à velocidade média do período completo de dados (Polónia)

Nas figuras 6.12 a 6.14 pode observar-se a diminuição do valor do desvio máximo obtido em relação à velocidade média quando se passa da análise com um ano de dados para dois anos e seguidamente para três anos de dados. Estes valores são de cerca de -9,5%, diminuindo para cerca de +5% e +3,8%.

Uma diferença a registar na análise dos resultados obtidos para a Polónia face aos obtidos para Portugal, prende-se com a amplitude da variação do desvio máximo da média do período completo. Por exemplo, para o local PL2, medir a velocidade do vento no ano 2006 ou fazê-lo no ano 2009 origina uma diferença de cerca de 18% entre os dois valores. Note-se que este local não é uma excepção de uma regra mais animadora para um potencial promotor de um projecto eólico. De facto, a análise feita as 4 estações de medição consideradas neste trabalho indicam amplitudes para a variação do desvio máximo de cerca de 14%, 11% e 8%, respectivamente para os locais PL4, PL1 e PL3.

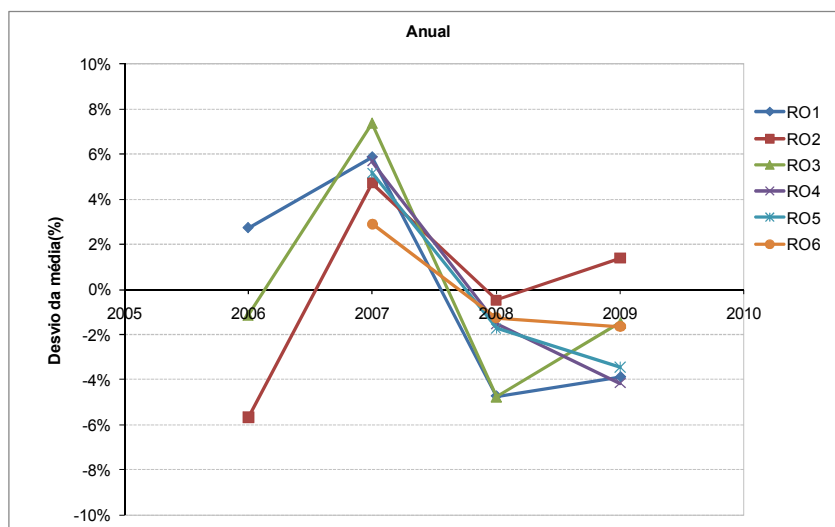


Figura 6.15 – Desvio da velocidade média anual relativamente à média do período completo de dados (Roménia)

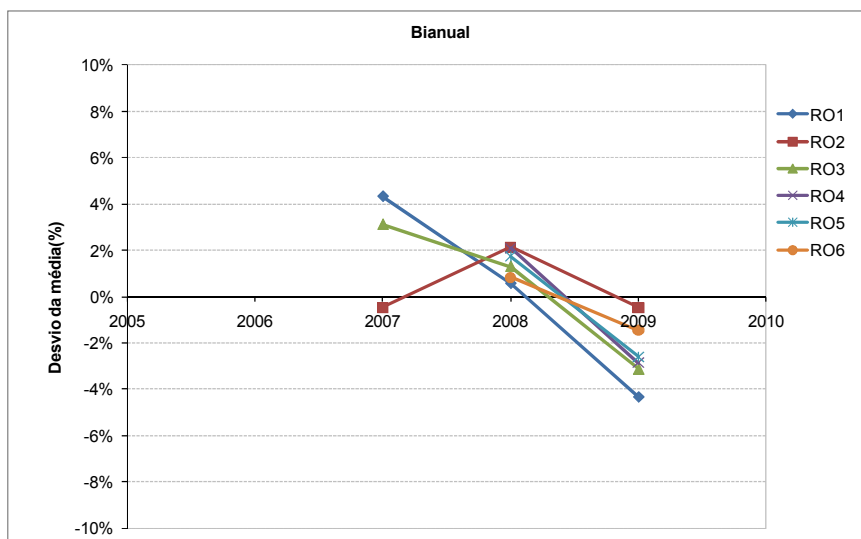


Figura 6.16 – Desvio da velocidade média bianual relativamente à média do período completo de dados (Roménia)

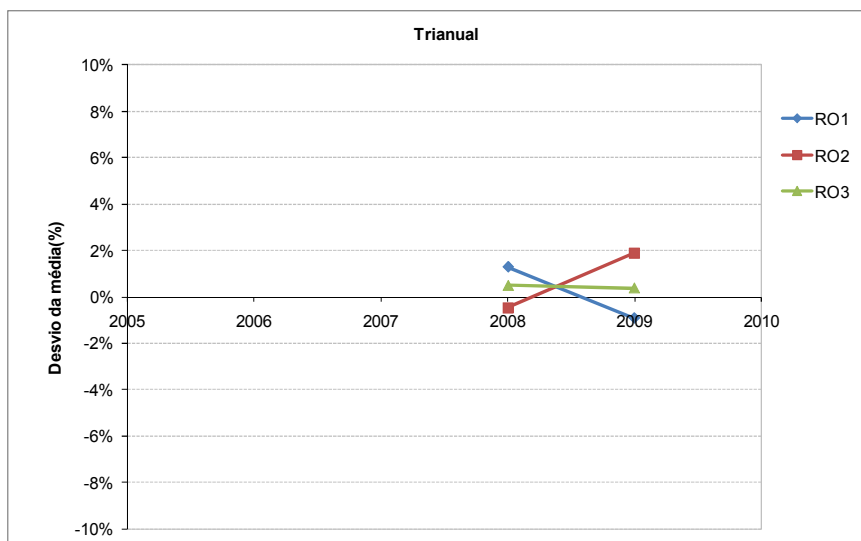


Figura 6.17 – Desvio da velocidade média triannual relativamente à média do período completo de dados (Roménia)

Relativamente às estações da Roménia (Figuras 6.15 a 6.17), observa-se o mesmo no que diz respeito à diminuição do valor do desvio máximo obtido em relação à velocidade média, quando o número de anos aumenta de um ano para dois e para três sendo os valores do desvio máximo de cerca de +7,8%, passando posteriormente para $\pm 4,3\%$ e no final para +2%.

Na Figura 6.18 encontra-se um resumo das amplitudes dos desvios máximos da velocidade média verificados quando se aumentou o número de anos de dados utilizados no seu cálculo. Para todos os territórios estudados foi registada uma diminuição do desvio máximo da velocidade média quando se passa de 1 para 2 e 3 anos de dados.

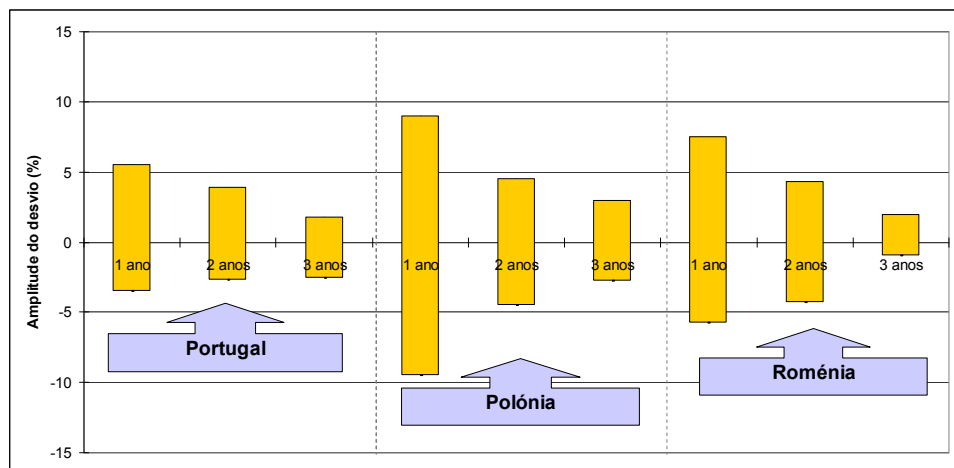


Figura 6.18 – Amplitude do desvio máximo

Os resultados das medições mostram que o território da Polónia em estudo, é o que apresenta maior variabilidade inter-anual sendo aquele onde se registaram as maiores amplitudes para os desvios máximos da média atingido o valor de -9,5% a 9% quando se utiliza apenas um ano de dados. Este valor diminui substancialmente quando se aumenta o volume de dados para 2 anos passando a ser de -4,5% a 4,5%.

Portugal, apresenta-se como o território com a menor variabilidade inter-anual registada, com variações do desvio máximo da média no intervalo de -3,5% a 5,5%. Os resultados obtidos mostraram que independentemente do sítio, se forem medidos 2 anos consecutivos poderemos esperar para o desvio máximo da média do período completo uma amplitude de -2,7% a 3,9%.

Para o território da Roménia em estudo, foram registadas desvios máximos da velocidade média no intervalo de -5,8% a 7,5% quando se utiliza 1 ano de dados diminuindo os valores para o intervalo de -4,3% a 4,3% quando o número de anos de dados utilizados no cálculo da velocidade média passou para 2.

6.3. Análise do NCEP/NCAR para o período simultâneo

Toda a análise precedente partiu do pressuposto que o período de longo termo caracterizador do regime de ventos de cada local estudado estaria bem representado pelo período total de dados disponível em cada estação. De facto, considerar como longo termo um período de medições consecutivas de 6 anos poderá não estar muito longe da realidade de longo termo, ao passo que 3 anos poderão ser um período muito curto para essa caracterização.

No sentido de colmatar esta limitação tentou-se verificar a adequabilidade da utilização dos dados do NCEP/NCAR para esta análise do período completo das medições. Para esta análise foi necessário recorrer a dados de Reanalysis do NCEP/NCAR cujos pontos seleccionados foram escolhidos de forma a que as estações em estudo fossem incluídas na área válida para cada ponto.

Assim foi extraída, para cada ponto, uma série de dados correspondente às velocidades horizontais médias mensais, para um nível de pressão de 1000hPa, para um período de análise correspondente a 30 anos - análise climática.

Nas Figuras 6.19 a 6.21 encontram-se representados os mapas dos países em estudo com os pontos referentes ao NCEP/NCAR (amarelo) juntamente com as coordenadas geográficas correspondentes a cada país. Nestas figuras encontram-se ainda zonas a cores distintas que delimitam a área abrangente de cada ponto do NCEP/NCAR em cada país em estudo e também, é possível identificar as estações (assinaladas com uma bandeira no interior de um círculo) em estudo que se encontram em cada uma destas áreas.

Nas figuras 6.20 e 6.21 existe a ilusão que algumas estações estão fora do limite da área de aplicação do NCEP/NCAR, mas tal facto deve-se apenas a um artefacto na representação gráfica, pois todas as estações se encontram dentro das áreas de abrangência dos pontos NCEP/NCAR analisados. Na Polónia a estação PL3 é aquela que se encontra no limite da fronteira, assim como na Roménia as estações RO1, RO3 e RO4.

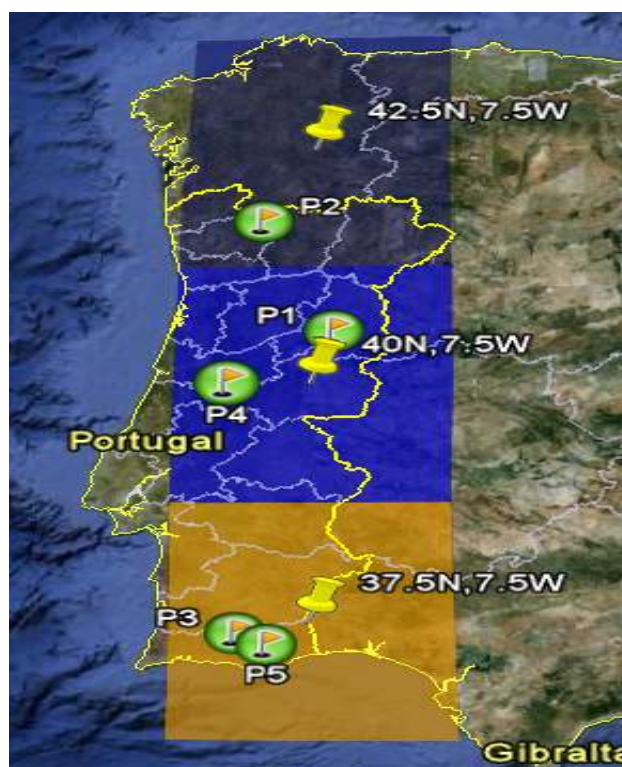


Figura 6.19 – Mapa de Portugal com os pontos do NCEP/NCAR

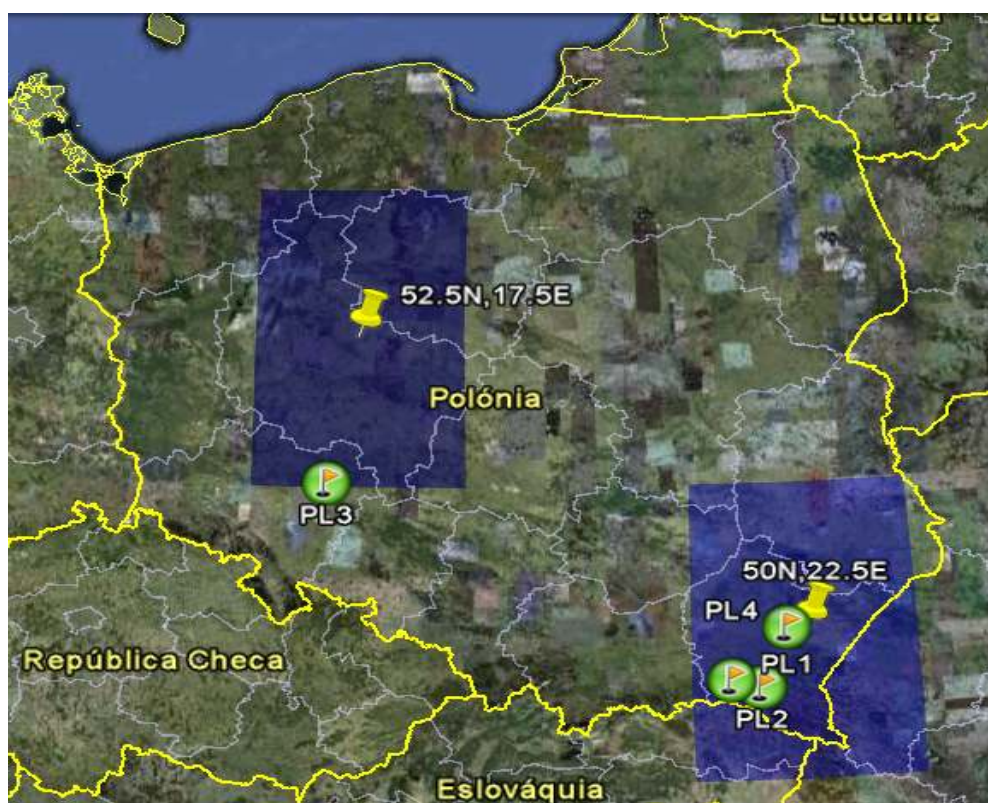


Figura 6.20 – Mapa da Polónia com os pontos do NCEP/NCAR



Figura 6.21 – Mapa da Roménia com os pontos do NCEP/NCAR

Numa primeira fase do trabalho foram usados apenas os dados do NCEP/NCAR relativos ao período simultâneo de operação das estações na tentativa de perceber se estes traduzem, de alguma forma, a informação obtida com a análise dos resultados das estações de medição. Para este período simultâneo, aos dados do NCEP/NCAR foram, ainda, retirados os meses para os quais não havia observações das velocidades mensais nas estações, para que estes pudessem ser representativos do comportamento verificado com os dados das medições locais. Por exemplo, se para um determinado ano de medições não houver registo de valores mensais, para alguns meses de inverno, aos dados do NCEP/NCAR serão retirados os valores correspondentes desses meses. Com este procedimento pretende-se que a cobertura de dados seja a mesma nos dados das medições e nos dados do NCEP/NCAR.

A este estudo foram acrescentadas novas estações (estações essas que já existiam, simplesmente para o estudo anterior não foram usadas uma vez que tinham um número de anos de análise reduzido) para que estas pudessem ajudar na validação do NCEP/NCAR, uma vez que em alguns pontos do NCEP/NCAR só existia uma estação em análise e noutros, embora existisse mais do que uma estação, sentiu-se a necessidade de aumentar o número de estações para consolidar a informação obtida.

Com os registos das velocidades médias mensais obtidas pelo NCEP/NCAR para o período simultâneo, foram calculados, para cada ponto e para cada ano, as

velocidades médias anuais e os respectivos desvios relativamente à velocidade média do período completo. Os resultados assim obtidos encontram-se, para Portugal, representados nas Figuras 6.22 a 6.24. Nestas figuras, as linhas a tracejado representam os desvios das medições locais e as linhas a cheio correspondem ao NCEP/NCAR para cada estação de medição. Daí que para cada ponto do NCEP/NCAR estejam associadas linhas diferentes consoante o período de medição da estação correspondente, que não é o mesmo nas várias estações associadas a cada ponto e consoante a cobertura de dados da estação considerada.

A análise destes resultados parece evidenciar que todos os pontos do NCEP/NCAR escolhidos para Portugal traduziram a tendência genérica da variabilidade inter-anual do regime de ventos de forma semelhante à que se verificou quando foram utilizados os valores das medições das estações. De uma forma geral, verifica-se que anos indicados como acima da média pelo NCEP/NCAR foram quantificados pelas medições como bons anos de vento e o mesmo se passou relativamente aos anos com velocidades inferiores à média.

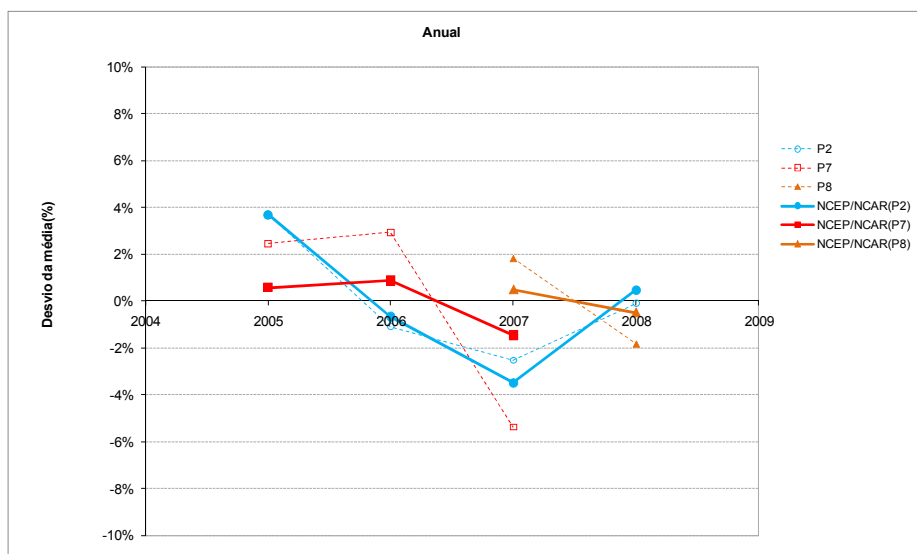


Figura 6.22 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 42,5N;7,5W do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Portugal)

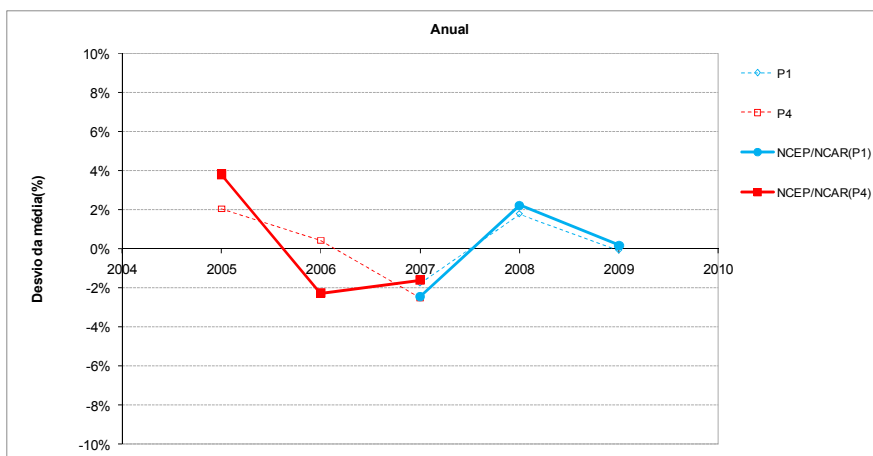


Figura 6.23 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 40N;7,5W do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Portugal)

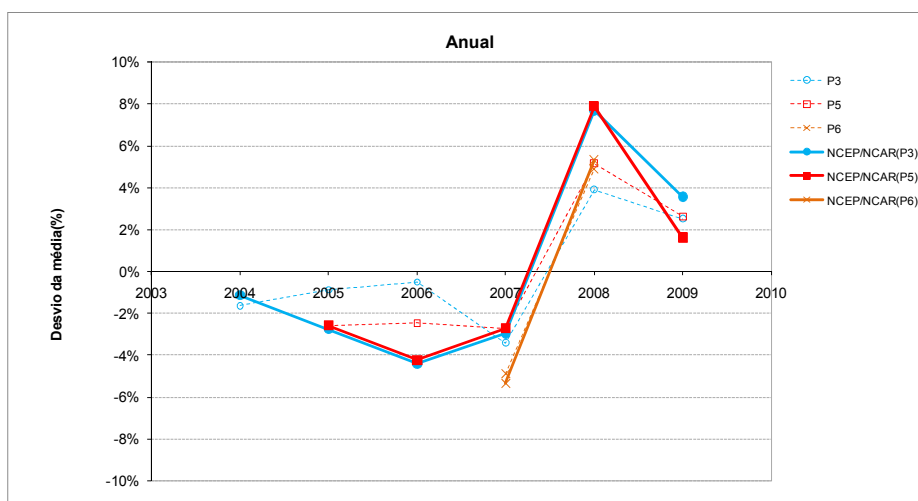


Figura 6.24 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 37,5N;7,5W do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Portugal)

Uma análise análoga à efectuada a Portugal foi realizada para a Polónia e para a Roménia usando os dados de Reanalysis do NCEP/NCAR para os pontos cuja área envolvida inclui as estações em estudo. Os resultados obtidos para a comparação do desvio da velocidade média anual do NCEP/NCAR com o desvio da velocidade média anual das medições nas estações encontram-se nas Figuras 6.25 à 6.27 para as

estações da Polónia e os resultados equivalentes relativamente à Roménia nas Figuras 6.28 à 6.30.

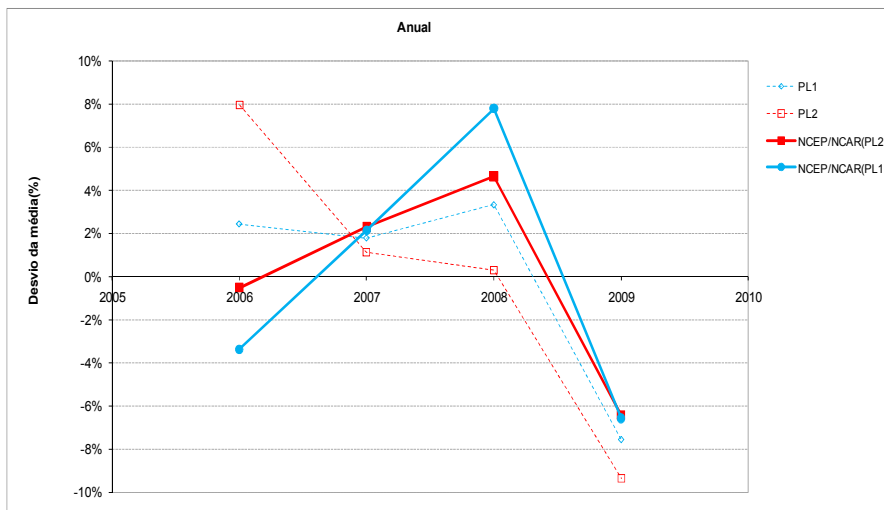


Figura 6.25 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 50N;22,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Polónia)

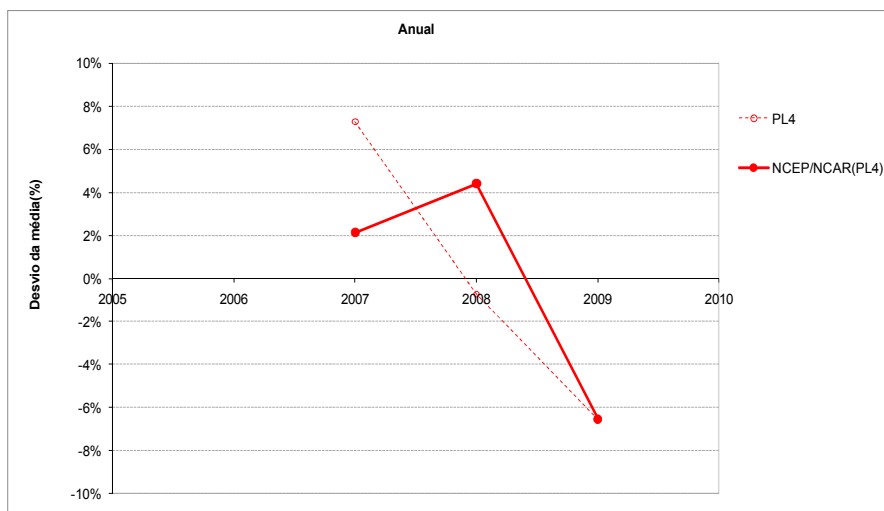


Figura 6.26 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 50N;22,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Polónia)

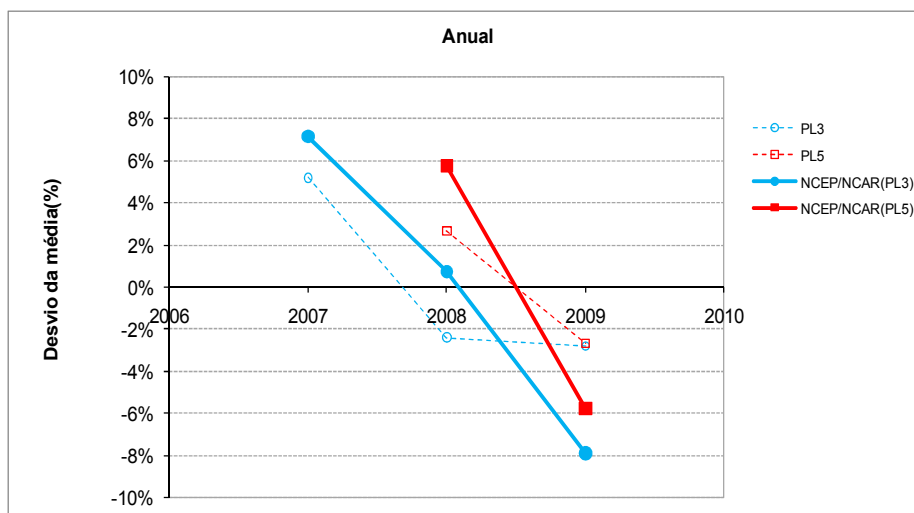


Figura 6.27 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 52,5N;17,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Polónia)

Nas estações da Polónia, a análise dos resultados parece, também, comprovar que todos os pontos do NCEP/NCAR traduziram a variabilidade inter-anual do regime de ventos de forma semelhante à que se verificou quando foram utilizados os valores das medições das estações PL1 a PL5. Contudo, verifica-se um desfasamento entre aquilo que é a indicação do NCEP/NCAR e aquilo que se mediu localmente no ano 2006 na Figura 6.25. Este ano é indicado como sendo um ano abaixo da média pelo NCEP/NCAR enquanto que as medições o indicam como um ano acima da média.

A análise dos resultados para a Roménia demonstraram que para a maioria das estações os pontos do NCEP/NCAR escolhidos traduziram a variabilidade inter-anual do regime de ventos de forma semelhante à que se verificou quando foram utilizados os valores das medições das estações em causa. Os desvios de tendência verificados, por exemplo nas estações RO2 (Figura 6.29) e RO6 (Figura 6.30), podem estar relacionados com o facto de para estas estações existirem vários meses sem cobertura de dados de vento, o que irá afectar o valor da velocidade média a usar.

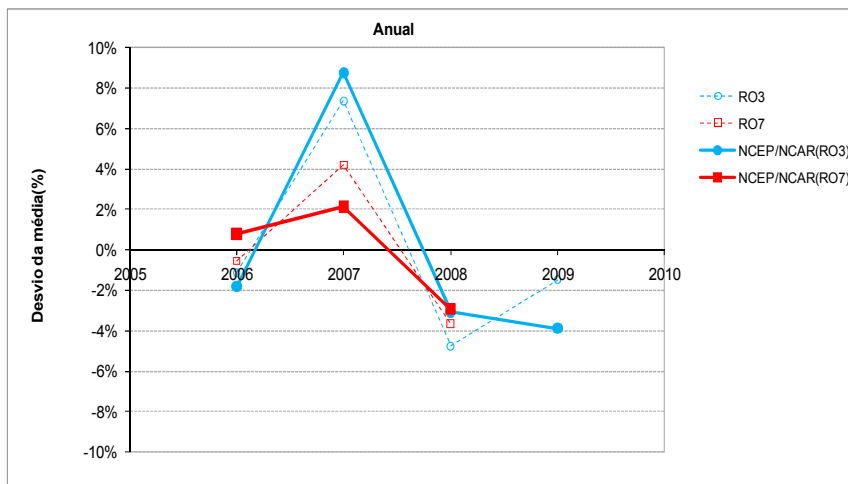


Figura 6.28 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 45N;30E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Roménia)

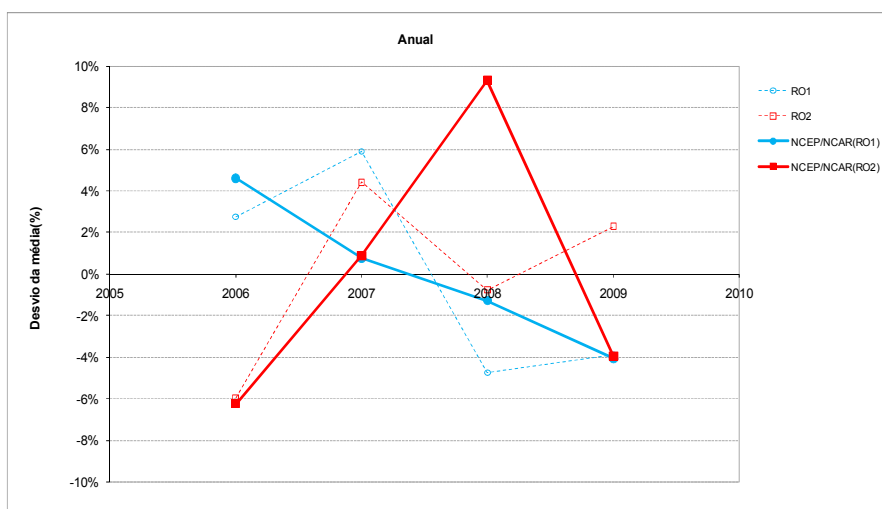


Figura 6.29 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 45N;27,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Roménia)

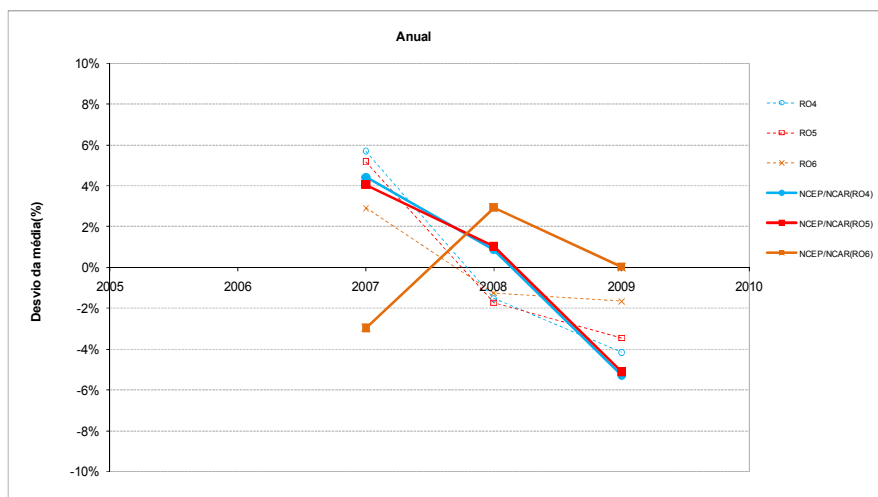


Figura 6.30 - Desvio da velocidade média anual para a coordenada 45N;27,5E do NCEP/NCAR e para as medições nas estações no período simultâneo de dados (Roménia)

Outra conclusão que se pode retirar deste estudo é que a quantidade e qualidade dos dados utilizados na caracterização do regime de ventos é de extrema importância. Por exemplo, a alteração da linha do desvio da média que se verifica no NCEP/NCAR nas Figuras 6.29 e 6.30 prende-se com o facto de a cobertura de dados utilizada no seu cálculo não ser a mesma. Isto irá por um lado, alterar o valor da velocidade média do período em análise e por outro, alterar os valores das velocidades médias anuais. A combinação destes dois factores resulta em desvios médios anuais diferentes que resultam em linhas de tendência com comportamentos diferentes. Quanto à quantidade de dados utilizada também se pode constatar que, a redução de 6 para 5 anos de dados com cobertura de 100% não afectou a leitura que se tinha da variabilidade inter-anual do regime de vento, como foi o caso registado dos resultados de Portugal registados na Figura 6.24.

Na tentativa de perceber melhor este estudo, foi feita uma análise, semelhante para os desvios das velocidades médias bianuais e trianuais utilizando os dados do NCEP/NCAR para os pontos seleccionados em cada país, estando o resumo dos desvios máximos obtidos em anexo (Figura A.11). Os resultados indicam que para Portugal, os desvios máximos obtidos com o NCEP/NCAR são superiores aos obtidos quando se utilizam os dados das medições locais, enquanto que para a Polónia esta diferença é bastante inferior. Relativamente à Roménia não é possível detectar uma tendência para a diferença verificada entre os valores dos desvios com os dados do

NCEP/NCAR e os das medições. No entanto, uma vez que a magnitude de informação retirada do NCEP/NCAR e das medições locais é de natureza muito diferente, não se pretende aqui comparar valores dos desvios mas sim, as tendências de comportamento desses desvios.

A análise dos resultados obtidos parece indicar como válido o uso do NCEP/NCAR uma vez que os seus dados traduziram, de uma forma geral, razoavelmente bem a variabilidade inter-anual do regime de ventos medida na área dos pontos. No entanto, o reduzido período de medições e de estações analisadas podem comprometer de alguma forma a validação absoluta desta conclusão.

Admitindo como suficientemente válidas as conclusões encontradas entre os registos medidos e os da base de dados do NCEP/NCAR, prosseguiu-se a análise da variabilidade do regime de ventos apenas com os dados de reanálise possibilitando assim, a caracterização do longo termo não apenas pelo período total de medições disponíveis em cada local mas, usando os 30 anos de dados do NCEP/NCAR.

6.4. Análise do NCEP/NCAR para longo termo

Na análise do longo termo foram usados todos os dados de Reanalysis para os pontos cuja área envolvida inclui as estações em estudo no período 1979-2009. Os pontos do NCEP/NCAR usados para esta análise foram os mesmos pontos do NCEP/NCAR, assinalados na secção anterior (6.3).

Neste estudo os resultados dos pontos do NCEP/NCAR utilizados em cada País, foram representados todos juntos, na mesma figura, com o intuito de verificar se existe alguma reprodutibilidade do regime de ventos nos territórios em estudo, ou se as diferentes zonas, de cada País, estão sujeitas a uma variabilidade distinta e característica de cada região.

Com os registos das velocidades médias mensais obtidas pelo NCEP/NCAR para a análise de longo termo, foram calculadas, para cada ponto e para cada ano, as velocidades médias anuais, bianuais e trianuais e ainda os respectivos desvios relativamente à velocidade média do longo termo. Os resultados dos desvios anuais, bianuais e trianuais da análise de longo termo encontram-se representados nas Figuras 6.31 a 6.33 para Portugal.

Para Portugal, é possível verificar que os desvios máximos do longo termo andam em torno dos 6%, quando se utiliza um ano de dados no cálculo da média e que apenas em três anos dos trinta testados esses desvios chegam aos 8%. Na análise bianual verifica-se uma atenuação dos desvios em torno da média, rondando estes o valor máximo de cerca de 4% verificando-se que apenas um ponto atinge o desvio máximo de 6%. Aqui a diferença da flutuação do ponto do NCEP/NCAR correspondente à zona Norte de Portugal, já é menor e já se aproxima dos outros dois pontos do NCEP/NCAR. Na análise trianual todos os pontos seguem a mesma tendência de flutuação e os desvios em relação à média rondam o valor máximo de cerca de 3% com apenas ligeiros desvios, inferiores a 4%, em casos pontuais.

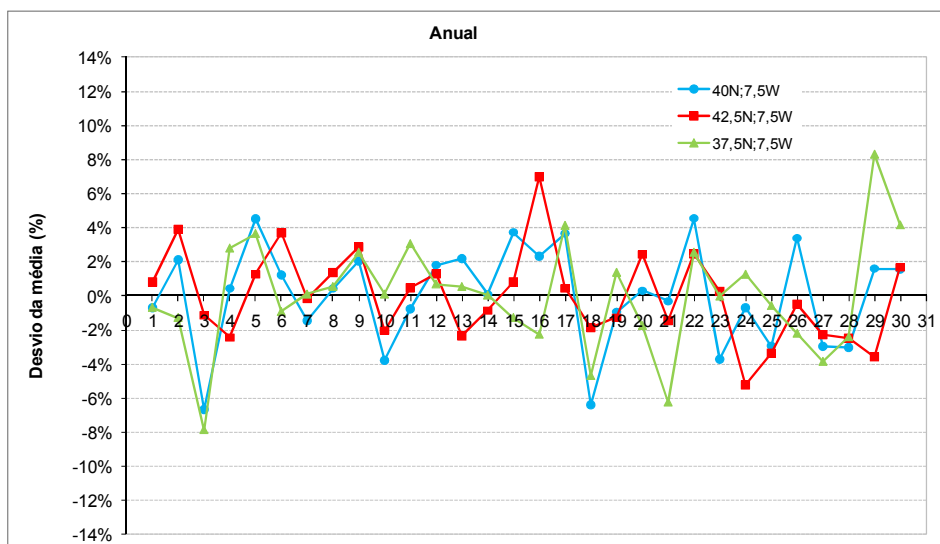


Figura 6.31 - Desvio da velocidade média anual para os diferentes pontos NCEP/NCAR em Portugal

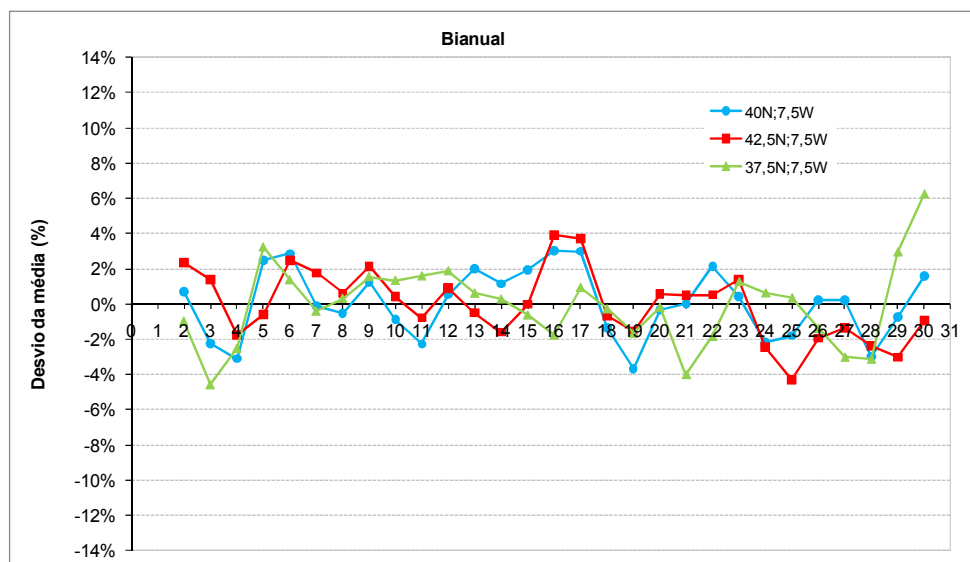


Figura 6.32 - Desvio da velocidade média bianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR em Portugal

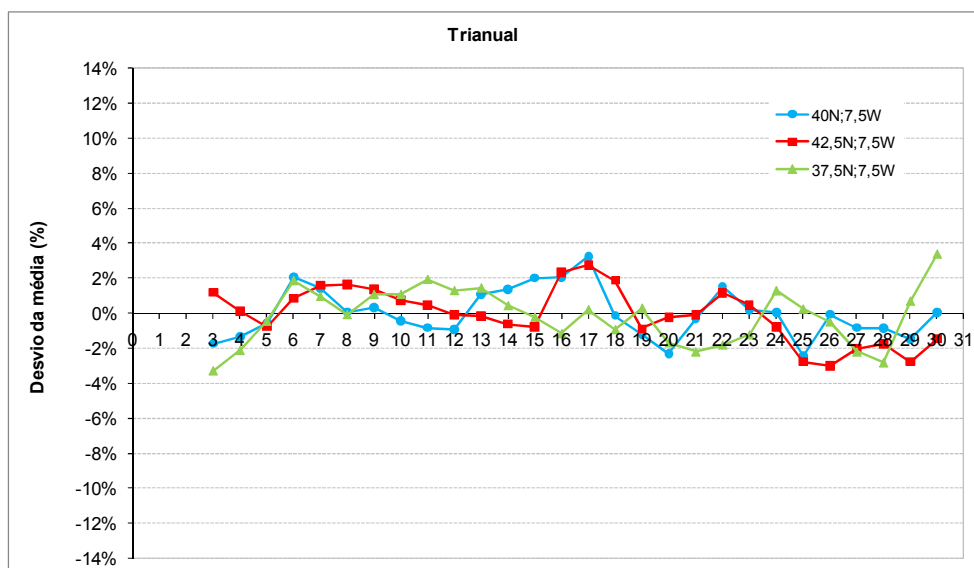


Figura 6.33 - Desvio da velocidade média triannual para os diferentes pontos NCEP/NCAR em Portugal.

Para a Polónia e para a Roménia procedeu-se ao mesmo tipo de análise, usando os dados correspondentes de Reanalysis do NCEP/NCAR de longo termo. Os resultados obtidos para os desvios de longo termo das velocidades médias anuais, bianuais e trianuais, para a Polónia, encontram-se nas Figuras 6.34 a 6.36, respectivamente e os resultados equivalentes à Roménia nas Figuras 6.37 a 6.39.

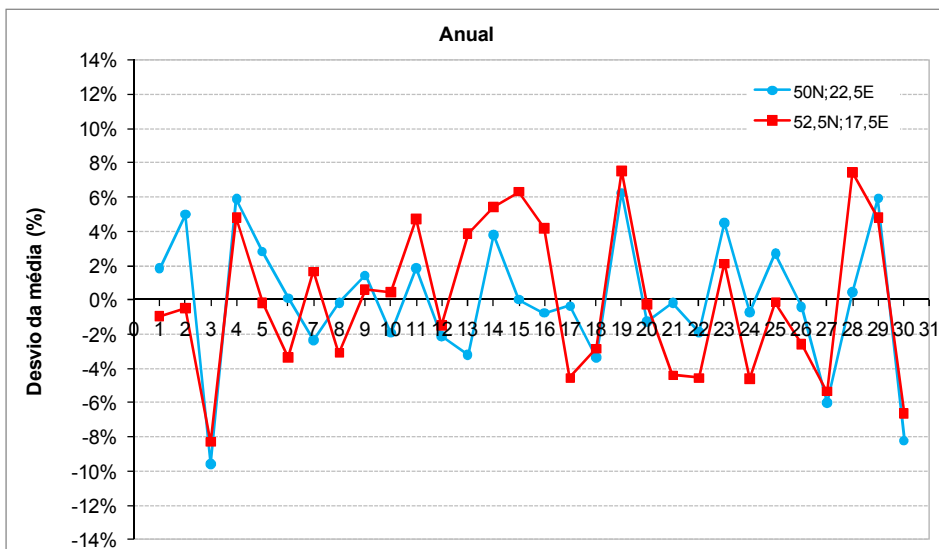


Figura 6.34 - Desvio da velocidade média anual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Polónia

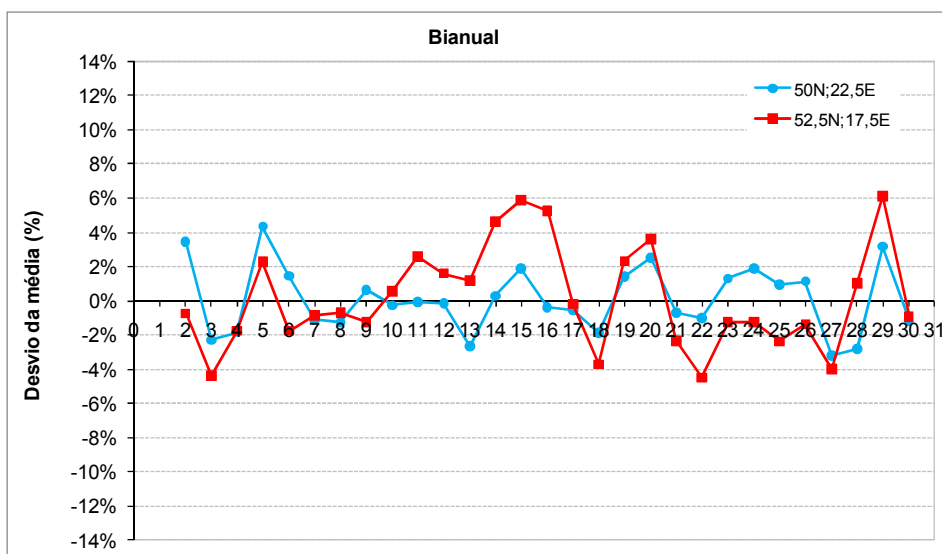


Figura 6.35 - Desvio da velocidade média bianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Polónia

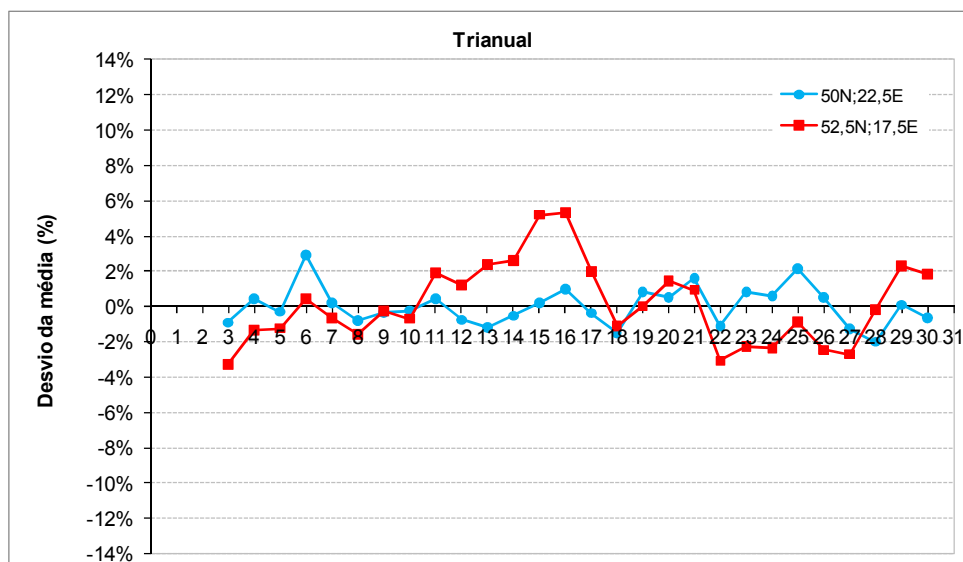


Figura 6.36 - Desvio da velocidade média triannual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Polónia

Para as regiões em estudo na Polónia, utilizando um ano de dados de vento no cálculo da média os desvios máximos obtidos andam à volta dos 8% verificando-se valores ligeiramente superiores apenas em dois anos dos trinta testados.

Na análise bianual os desvios descem um pouco e parece haver uma distinção de comportamento na variabilidade do regime de ventos nos dois pontos analisados. Assim, no ponto de coordenada 52,5N e 17,5 E os valores andam na ordem dos 6% e no outro ponto estes desvios têm uma menor amplitude de flutuação em torno da média e os seus valores máximos não ultrapassam os 4%.

Passando para a análise triannual verifica-se a confirmação da tendência evidenciada na análise bianual sendo o desvio máximo obtido para o ponto de coordenada 52,5N e 17,5 E inferior a cerca de 5% e para o outro ponto de NCEP/NCAR temos um desvio máximo em torno dos 2% com apenas um ponto a atingir os 3%. Esta dificuldade em reduzir o desvio máximo da velocidade média quando se aumenta o período de dados, para a coordenada 52,5N 17,5 E, está relacionada com a ocorrência de um período de quatro anos consecutivos com velocidades médias anuais bastante superiores à média de longo termo.

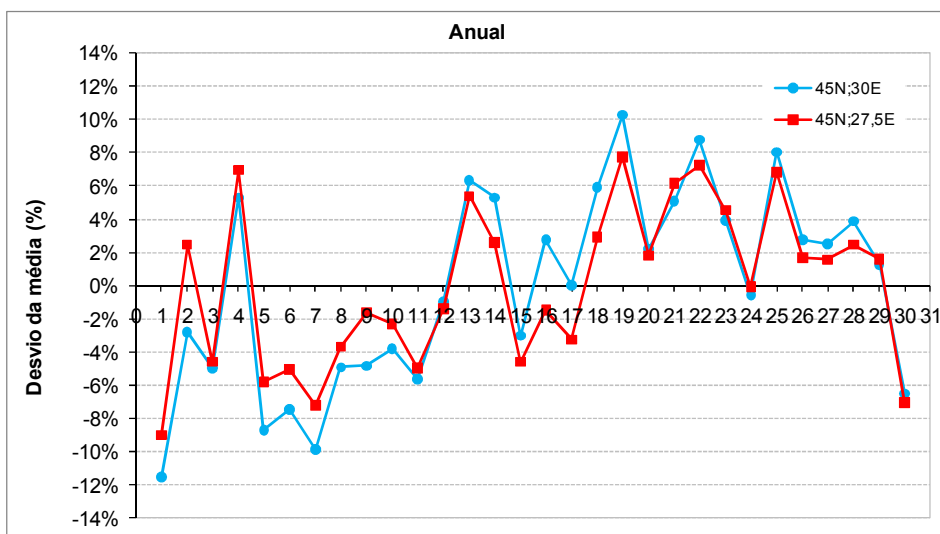


Figura 6.37 - Desvio da velocidade média anual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Roménia

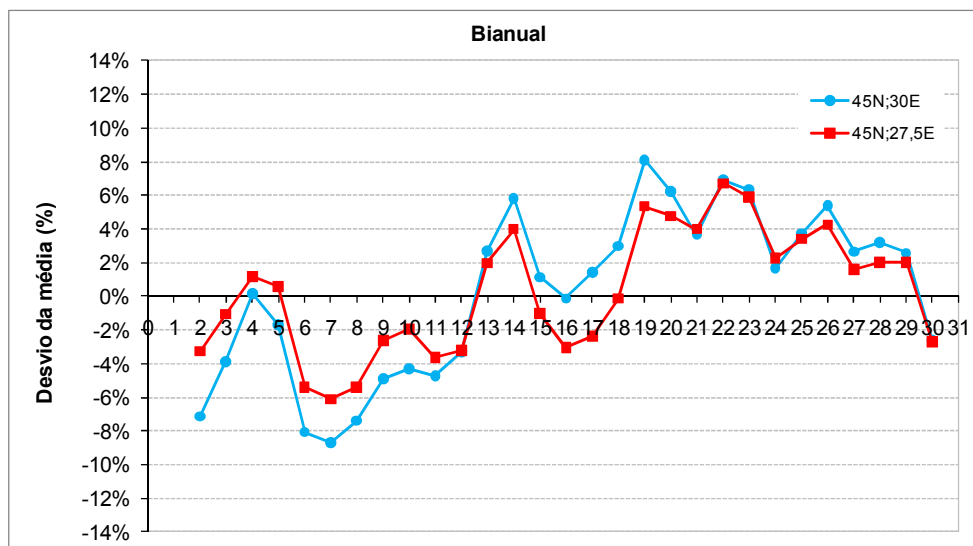


Figura 6.38 - Desvio da velocidade média bianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Roménia

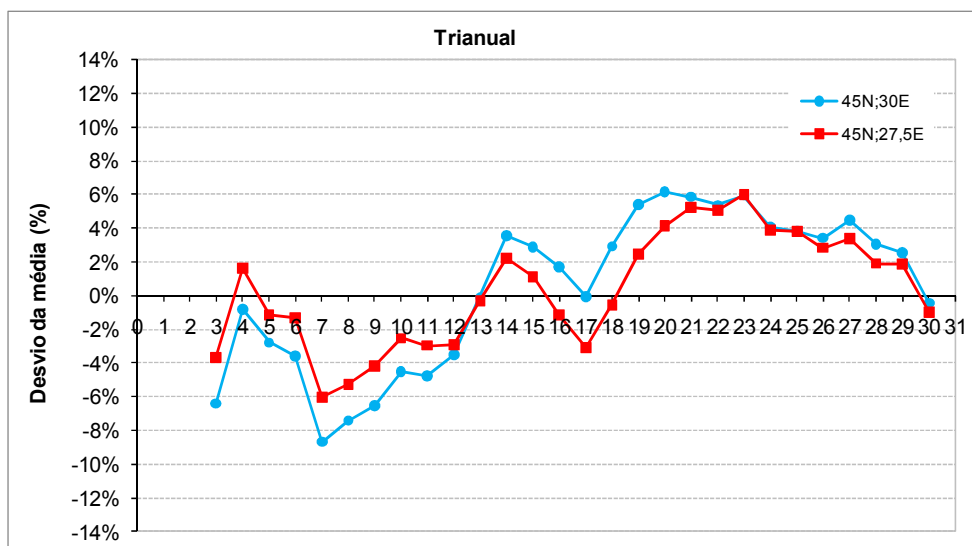


Figura 6.39 - Desvio da velocidade média trianual para os diferentes pontos NCEP/NCAR na Roménia

A análise anual de resultados para a Roménia demonstra que existem longos períodos onde os desvios são negativos e seguidamente períodos de anos onde os desvios são positivos, período esses que podem ser de oito anos. Como se pode ver na análise anual, os desvios andam à volta dos 9,5% a 10%, à excepção de um ano atípico cujo valor do desvio chega aos 11,5%. Com a análise bianual e trianual verifica-se que esse período de anos consecutivos tende a aumentar, chegando a ter onze anos consecutivos em que os desvios são sempre positivos e onde os desvios em relação à média rondam os 8%.

Os resultados obtidos para a Roménia mostram que o regime de ventos na zona do território em estudo está sujeita a um regime de ventos com um ciclo de vários anos, podendo estes serem pouco fiáveis no que diz respeito aos primeiros quinze anos de análise. Portanto, a utilização de poucos anos de dados na caracterização do regime de ventos para esta região poderá conduzir a valores com grandes desvios relativamente ao comportamento de longo termo.

Na tabela 6.2 encontra-se um resumo dos intervalos de variação dos desvios máximos anuais, bianuais e trianuais para o longo termo para as coordenadas do NCEP/NCAR em análise em cada País e nas Figuras 6.40 à 6.42 as respectivas evoluções do desvio máximo da velocidade média anual quando o período de dados utilizados no seu cálculo aumenta.

A análise dos resultados apresentados na Tabela 6.2 indica uma semelhança de comportamento da evolução das amplitudes dos desvios máximos da velocidade média para os pontos objecto de análise na Polónia e em Portugal, distinta do que acontece nos pontos da Roménia. De facto, embora para todos os Países se verifique uma diminuição da amplitude do desvio máximo da velocidade média com o aumento do período de dados de 1 para 2 anos, a Roménia apresenta os valores mais elevados de amplitude e é o único caso onde o aumento para 3 anos de dados não contribui para uma redução significativa da amplitude.

Tabela 6.2 – Amplitudes dos intervalos dos Desvios Máximos para a análise de longo termo

	Coordenadas NCEP/NCAR	Desvio Máx. Anual (%)	Desvio Máx. Bianual (%)	Desvio Máx. Trianual (%)
Portugal	40N;7,5W	-6,6 a 4,6	-3,7 a 3,0	3,2 a -2,3
	42,5N;7,5W	7,0 a -5,2	-4,3 a 3,9	-3,0 a 2,8
	37,5N;7,5W	8,3 a -7,9	6,2 a -4,6	3,4 a -3,3
Polónia	50N;22,5E	-9,6 a 6,3	4,3 a -3,2	2,9 a -2
	52,5N;17,5E	-8,3 a 7,5	6,1 a -4,5	5,3 a -3,2
Roménia	45N;30E	-11,5 a 10,3	-8,7 a 8	-8,7 a 6,1
	45N;27,5E	-9 a 7,8	6,7 a -6,1	6,0 a -6,0

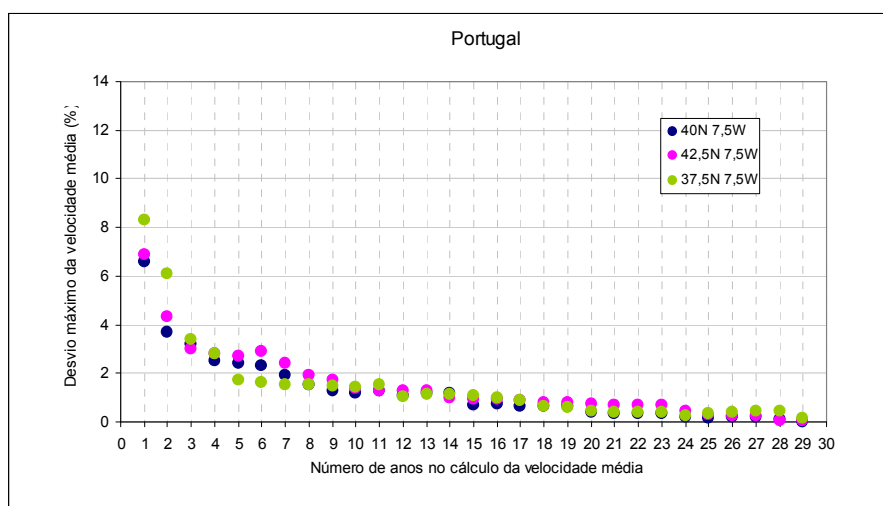


Figura 6.40 – Evolução do desvio máximo da velocidade média com o número de anos para os pontos do NCEP/NCAR em estudo em Portugal

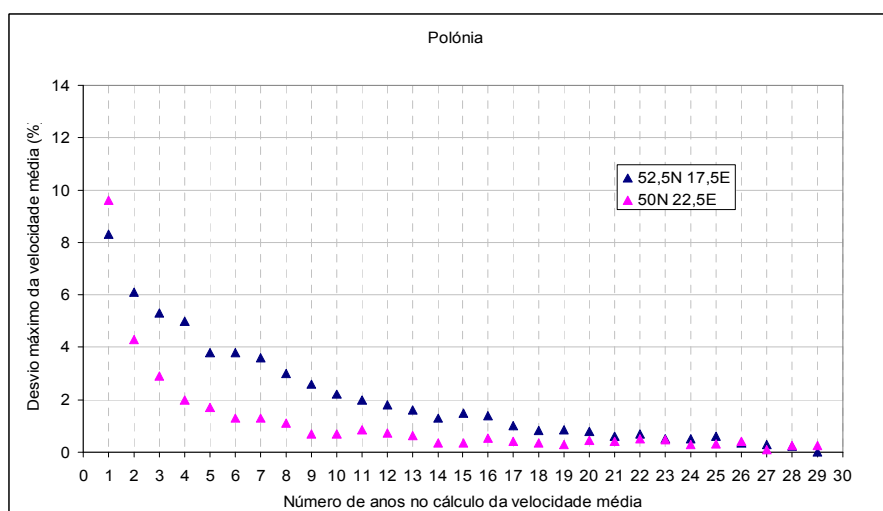


Figura 6.41 – Evolução do desvio máximo da velocidade média com o número de anos para os pontos do NCEP/NCAR em estudo na Polónia

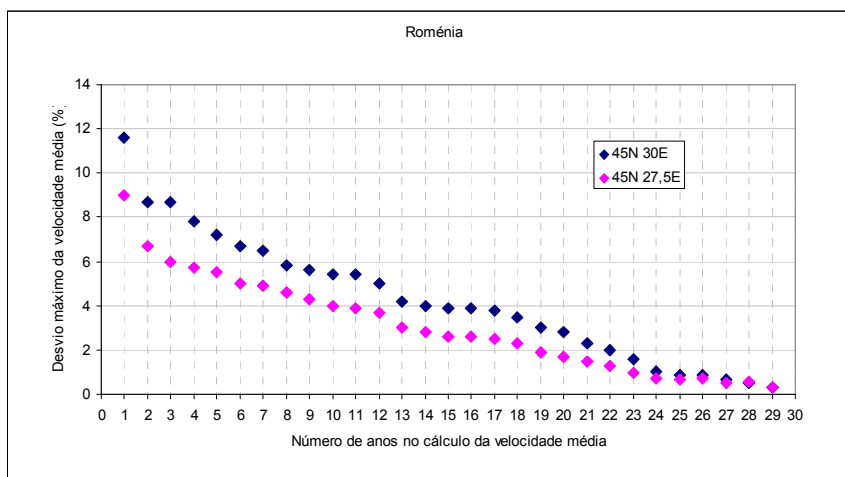


Figura 6.42 - Evolução do desvio máximo da velocidade média com o número de anos para os pontos do NCEP/NCAR em estudo na Roménia

Da análise das linhas de tendência das figuras anteriores ressalta logo à partida, a semelhança da evolução dos desvios máximos da velocidade média em função da extensão do período utilizado para os pontos em análise em Portugal e na Polónia claramente diferente do que acontece nos pontos da Roménia. De facto, em qualquer dos Países a utilização de dois anos de dados na caracterização do regime de vento de um determinado local é substancialmente diferente da utilização de apenas um ano, verificando-se que o desvio máximo obtido pode ser reduzido em 2 a 4 pontos percentuais. No entanto, a vantagem do incremento para um número de anos superior a dois depende do ciclo de anos do regime de vento a que o local está sujeito, podendo ser necessário elevar bastante o número de anos de dados a utilizar para fazer baixar o desvio máximo da velocidade média para valores reduzidos, como é o caso que se verifica na Roménia.

Com estes resultados é possível dizer que para Portugal, com a medição de 2 anos consecutivos de dados de vento o desvio máximo da velocidade média anual se situa na casa dos 4 a 6% e que a sua redução para valores inferiores a 4% implica a medição de apenas 3 anos consecutivos.

Quanto ao território em análise da Polónia, para que o desvio máximo da velocidade média não ultrapasse os 6% será necessário medir apenas durante 2 anos consecutivos enquanto que, a sua redução para valores inferiores a 4% implica a necessidade de medição de 3 a 5 anos.

Um caso diferente é o da Roménia. Com os resultados obtidos é possível afirmar que para a região em análise neste País, para que o desvio máximo da média seja inferior a 6% é necessário medir entre 3 a 8 anos consecutivos. A redução para valores inferiores a 4% implica a medição por um período consecutivo de 10 a 15 anos consoante o local. De todos os territórios em estudo este foi o que registou os maiores desvios máximos da média e também a maior dificuldade em fazer cair o seu valor com o aumento do número de anos de dados utilizados no cálculo do seu valor. Isto resulta do facto de os dados de longo termo do NCEP/NCAR indicarem que este território da Roménia está sujeito a um regime de ventos com um ciclo de vários anos. Como tal, a caracterização da sua variabilidade inter-anual não pode ser traduzida com a utilização de um número de anos reduzido porque pode resultar na utilização de uma série de anos consecutivos muito bons ou muito maus, em termos de recurso eólico, o que resultará numa caracterização que se desviará do comportamento de longo termo.

CapítuloVII

.....

***Conclusões e
Sugestões para
Trabalhos Futuros***

7.1. Conclusões

Este trabalho teve como objectivo a aplicação dos conhecimentos adquiridos durante o estágio realizado na MEGAJOULE no âmbito do estudo da variabilidade inter-anual de diferentes regimes de vento. Assim, foi feita a caracterização da variabilidade inter-anual do regime de ventos utilizando dados de medições de algumas estações de diferentes países, nomeadamente Portugal, Polónia e Roménia. Os resultados foram comparados com os obtidos utilizando dados de Reanalysis do NCEP/NCAR para o período simultâneo. Foi ainda efectuado o estudo de longo termo utilizando 30 anos de dados do NCEP/NCAR.

Os resultados obtidos na análise das medições locais, para os países em estudo, indicam que, independentemente da localização geográfica das estações, dos anos de análise ou da magnitude do vento, o desvio da velocidade média anual relativamente à velocidade média do período completo tende para zero quando o número de anos utilizado no seu cálculo aumenta. Estes resultados indicaram ainda que de entre os países estudados e usando apenas um ano de dados, Portugal apresenta-se como o território com a menor variabilidade inter-anual registada, com variações do desvio máximo da velocidade média anual no intervalo de -3,5% a 5,5%, o território da Polónia é o que apresenta maior variabilidade inter-anual sendo aquele onde também se registaram as maiores amplitudes para os desvios máximos da velocidade média anual, atingindo o valor de -9,5% a 9%, no que diz respeito ao território da Roménia os desvios máximos da velocidade média situaram-se no intervalo de -5,8% a 7,5%.

O recurso aos dados de Reanalysis do NCEP/NCAR para o período simultâneo parece indicar como válido o uso do NCEP/NCAR, uma vez que os seus dados traduziram, de uma forma geral, razoavelmente bem a variabilidade inter-anual do regime de ventos medida na área dos pontos.

A análise do NCEP/NCAR do longo termo indica que em qualquer dos Países estudados é possível reduzir em alguns pontos percentuais o valor do desvio máximo da velocidade média com o aumento do período de dados de 1 para 2 anos consecutivos.

No entanto, enquanto que nos territórios de Portugal e da Polónia se verificou a contínua diminuição do desvio máximo da velocidade média com o aumento do

período de dados, atingindo-se ao fim de 5 a 8 anos valores inferiores a 2% para o território da Roménia em estudo tal não aconteceu, verificando-se que valores inferiores a 2% só são possíveis ao fim de cerca de 20 anos consecutivos.

Relativamente ao território de Portugal, o estudo de longo termo indica que com a medição de 2 anos consecutivos de dados de vento o desvio máximo da velocidade média anual se situa na casa dos 4 a 6% e que a sua redução para valores inferiores a 4% se verifica com a medição de apenas 3 anos consecutivos. No que diz respeito ao território da Polónia, para que o desvio máximo da velocidade média não ultrapasse os 6% será necessário medir apenas durante dois anos consecutivos enquanto que, a sua redução para valores inferiores a 4% implica a necessidade de medição de 3 a 5 anos.

O estudo do longo termo na região em estudo na Roménia indica que esta está sujeita a um regime de ventos com um ciclo de vários anos sendo a que registou os maiores valores de desvios máximos da velocidade média. Foi, também, a que demonstrou maior dificuldade em fazer cair esses valores com o aumento do número de anos de dados utilizados no cálculo do seu valor. Para que o desvio máximo da velocidade média seja inferior a 6% os resultados indicam a necessidade de medir entre 3 a 8 anos consecutivos. Verificou-se, ainda, que a redução para valores inferiores a 4% implicaria a medição por um período consecutivo de 10 a 15 anos, consoante o local.

7.2. Sugestões para trabalhos futuros

Durante este estudo verificou-se que o volume de dados e o número de estações analisadas era reduzido e que, devido a esse facto, não foi possível validar de uma forma absoluta o uso da análise com os dados a longo termo do NCEP/NCAR. Sugere-se um estudo mais aprofundado dos últimos quinze anos da análise de longo termo para a região da Roménia, uma vez que relativamente aos dados dos primeiros quinze anos existem algumas dúvidas relacionadas com a fiabilidade das suas medições. Sugere-se ainda como trabalho futuro, que seja realizado um estudo com mais anos de dados de estações e se possível mais estações do que as analisadas neste caso em estudo de forma a minimizar os desvios encontrados e ajudar na validação do uso do modelo de Reanalysis do NCEP/NCAR a longo termo.



Bibliografia

[1] - Protocolo de Quioto Vantagens: <http://www.portal-energia.com/protocolo-de-quioto/> (acedido no dia 05 de Abril de 2010).

[2] - Alterações Climáticas: <http://www.apambiente.pt/POLITICASAMBIENTE/ALTERACOESCLIMATICAS/Paginas/default.aspx> (acedido no dia 05 de Abril de 2010).

[3] - Estratégia Nacional para a Energia - ENE2020: <http://www.min-economia.pt/innerPage.aspx?idCat=51&idMasterCat=13&idLang=1> (acedido no dia 01 de Julho de 2010).

[4] - Ambiente & Qualidade de Vida (Estratégia Nacional para a Energia 2010-2020): <http://ambientequalvida.blogs.sapo.pt/101414.html>

[5] - WWEA. Março de 2010. “World Wind Energy Report 2009”. Bonn, Alemanha. (versão PDF do documento descarregado em 06 de Abril de 2010)

[6] - GWEC. “Global Installed Wind Power Capacity 2008/2009 (MW) – Regional Distribution”. Brussels, Belgica. (versão PDF do documento descarregada a 06 de Abril de 2010).

[7] - EWEA. Fevereiro de 2009. “Wind energy statistics”. Brussels, Belgica. (versão PDF do documento descarregada a 06 de Abril de 2010).

[8] - DGEG. Fevereiro de 2009. “Renováveis - Estatísticas Rápidas Fevereiro 2009”. (versão PDF do documento descarregada em 18 de Maio de 2009).

[9] - Camargo, Ricardo. “Brisa Marítima/Terrestre e Vale/Montanha”. Julho de 2004. <http://www.master.iag.usp.br/ensino/Sinotica/AULA17/AULA17.HTML> (acedido em 12 de Abril de 2010).

[10] - Simões, Teresa, 2004. “Base de dados do Potencial energético do vento em Portugal – metodologia e Desenvolvimento”. Tese de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

[11] - Soares, Ana Elisabete Correia, Julho de 2009. "Avaliação Preliminar do Potencial Eólico com Recurso a um modelo de Mesoescala". Tese de Mestrado em Engenharia Química. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

[12] - "Himalaia". Junho de 2009. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Himalaia> (acedido em 13 de Abril de 2010).

[13] - "El Niño". www.suapesquisa.com/geografia/el_nino.htm (acedido em 13 de Abril de 2010).

[14] - Silva, Gustavo Rodrigues, 2003. "Características de vento da região Nordeste – Análise, Modelagem e Aplicações para Projectos de Centrais Eólicas". Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Pernambuco.

[15] - Duarte, Hamide Nataniel Monteiro. Novembro de 2004. "Utilização da Energia Eólica em Sistemas Híbridos de Geração de Energia Visando Pequenas Comunidades". (versão descarregada em 20 de Abril de 2010).

[16] - Camus, Cristina Inês. Novembro de 2007. "Energia Eólica – Resumo de apoio a Energias renováveis". (versão descarregada em 20 de Abril de 2010).

[17] - Santos, Alison Alves; Ramos, Daniel Silva; Santos, Nilson Tadeu Fernandes dos; Oliveira, Pedro Porto de 2006. "Projecto de geração de energia eólica". (versão descarregada em 20 de Abril de 2010).

[18] - Castro, Rui M.G. Janeiro de 2003. "Energias renováveis e Produção descentralizada – Introdução à Energia Eólica". (versão PDF do documento descarregada em 20 de Abril de 2010).

[19] - "Variabilidade Climática". Dezembro de 2006. <http://variabilidade-climatica.blogspot.com/2006/12/ncepncar-reanalysis-kalnay-et-al-1996.html> (acedido a 27 de Abril de 2010).

A rectangular box with a light orange background and a fine grid pattern. The word "Anexos" is centered in the box in a bold, black, sans-serif font. The bottom-right corner of the box is folded over, creating a shadow effect.

Anexos

Anexo A

Neste anexo encontram-se as figuras com os resultados das velocidades médias anuais, bianuais e trianuais para as estações da Polónia e Roménia.

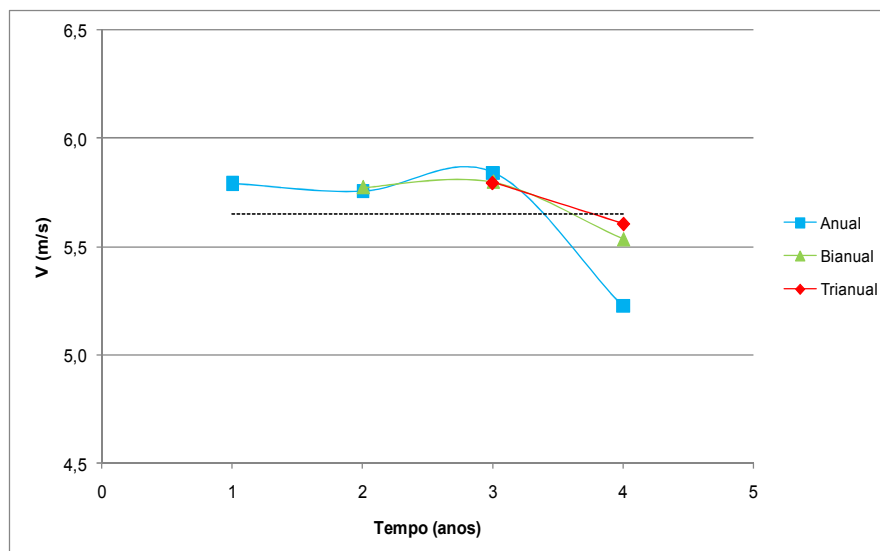


Figura A.1 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação PL1

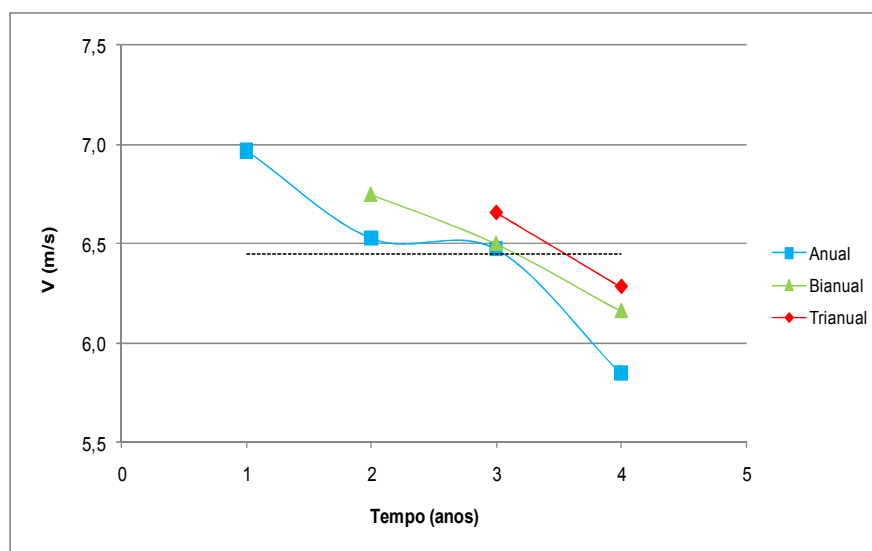


Figura A.2 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação PL2

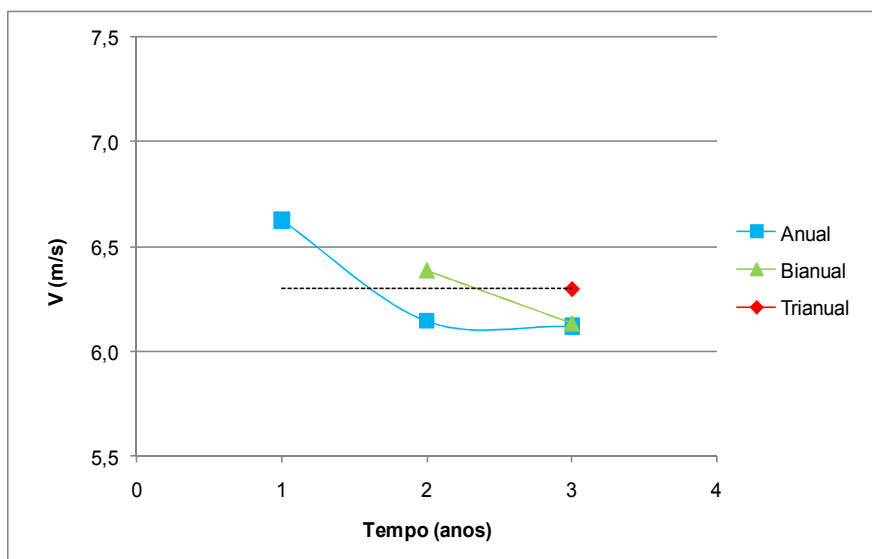


Figura A.3 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação PL3

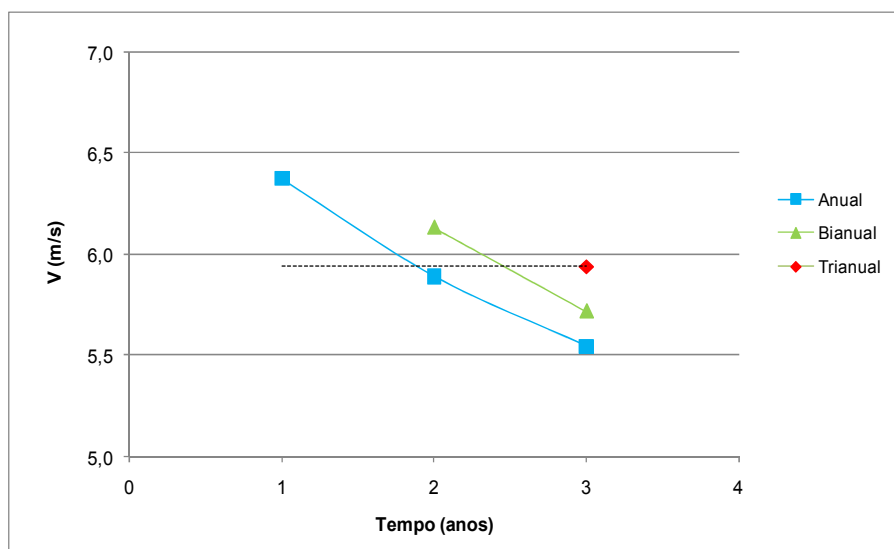


Figura A.4 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação PL4

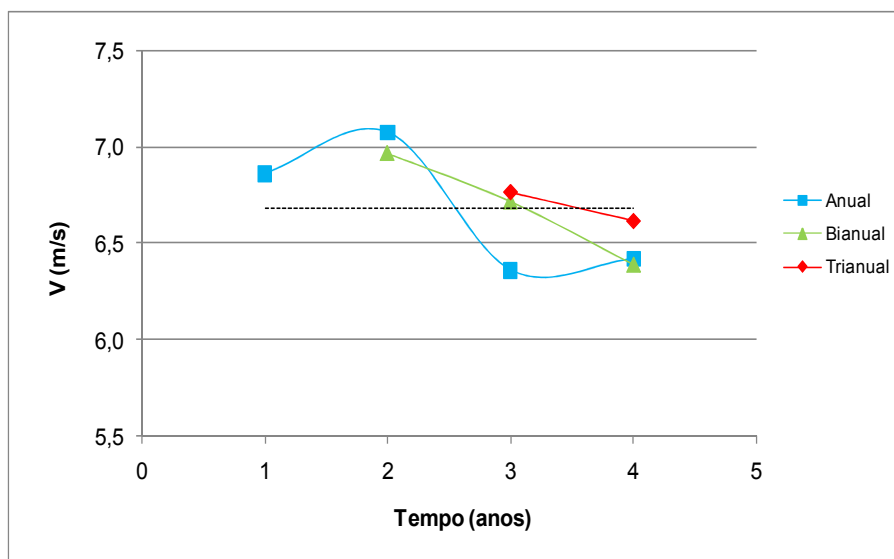


Figura A.5 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO1

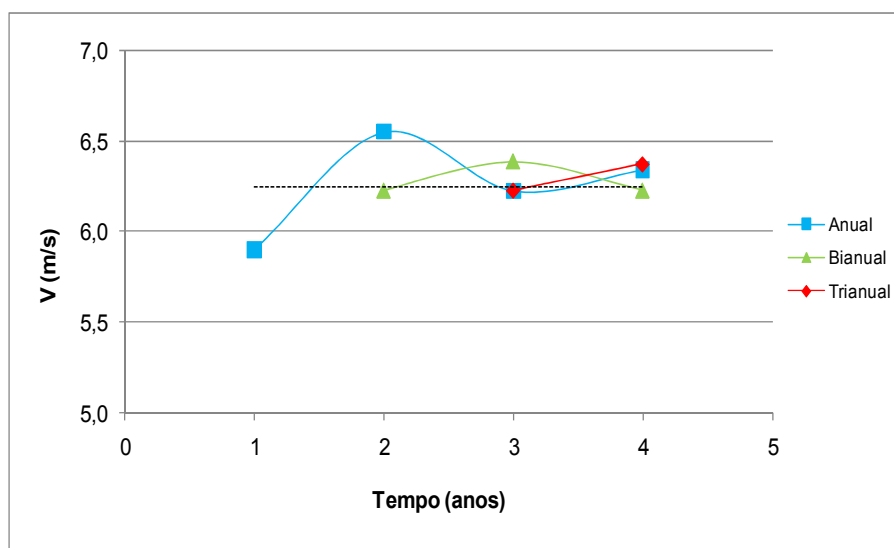


Figura A.6 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO2

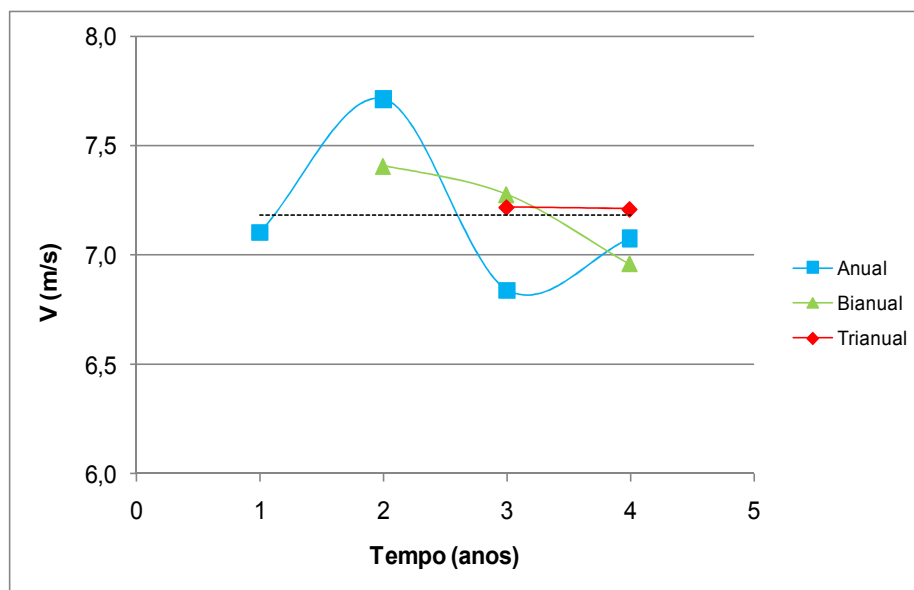


Figura A.7 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO3

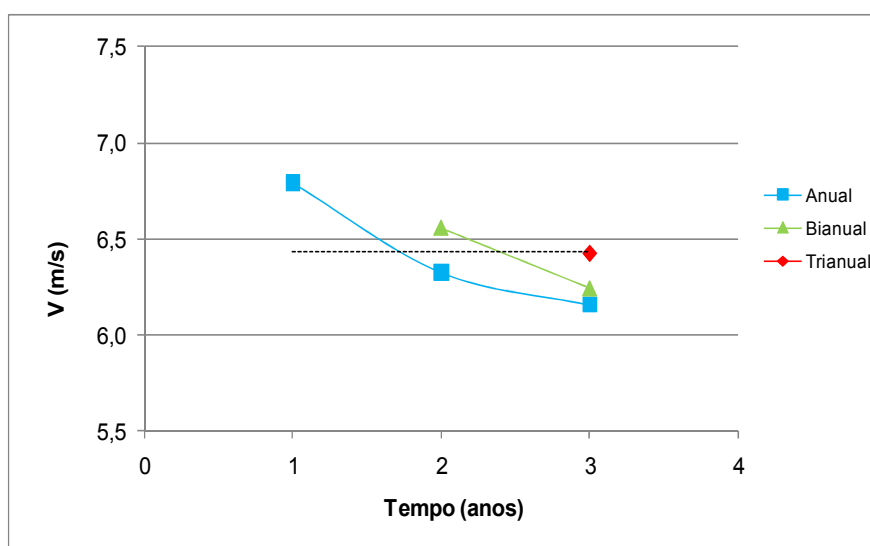


Figura A.8 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO4

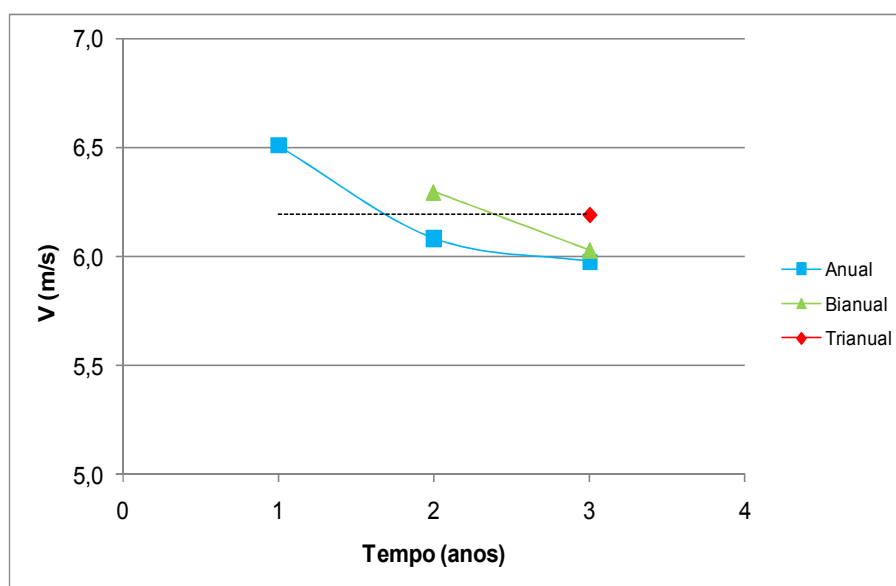


Figura A.9 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO5

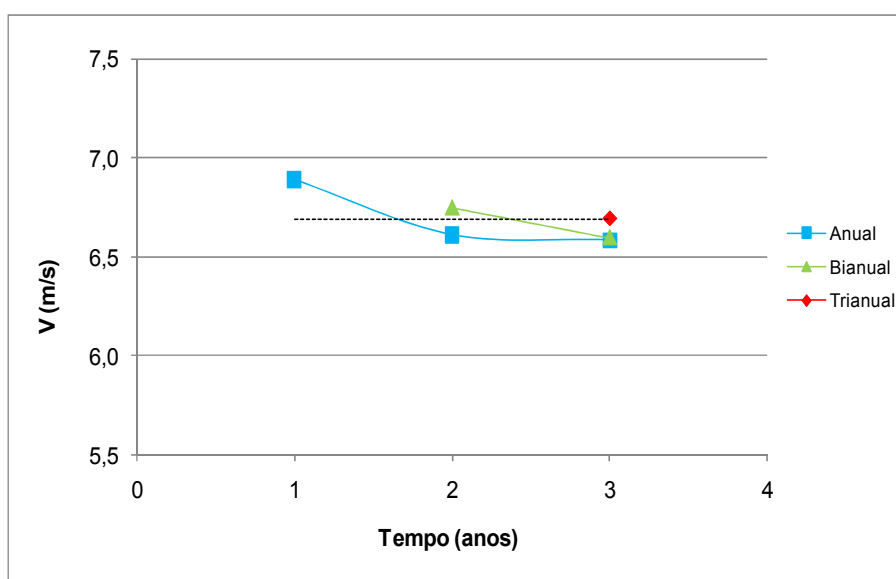


Figura A.10 - Variabilidade inter-anual do regime de ventos na estação RO6

Anexo B

Neste anexo encontra-se a figura com os resultados para o período simultâneo do NCEP/NCAR.

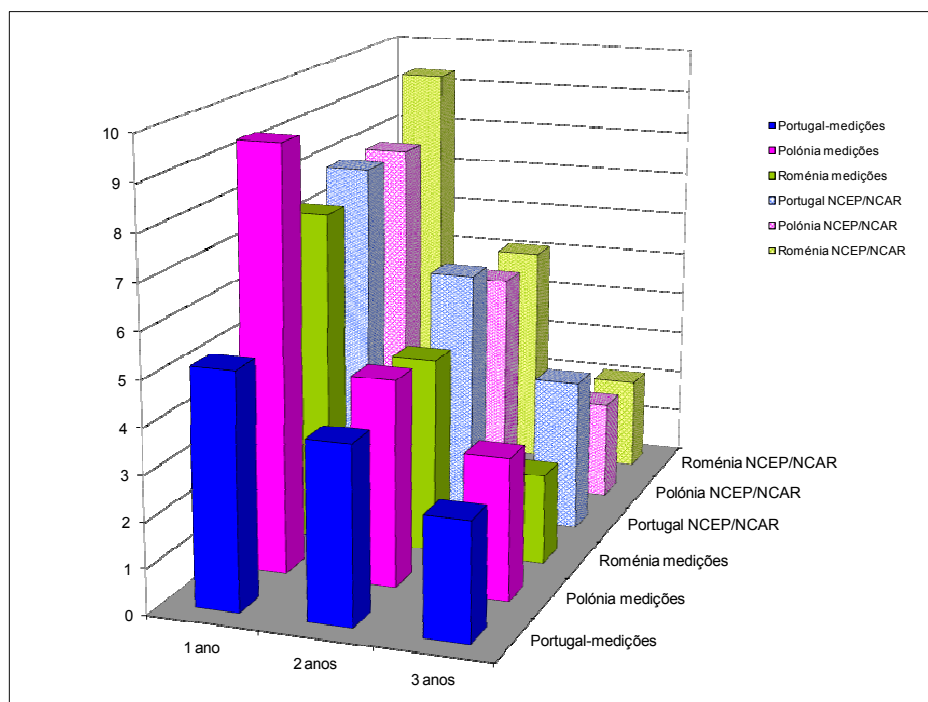


Figura A.11 - Comparação entre os dados do NCEP/NCAR e os dados das medições para os desvios máximos da média obtidos.