

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PARQUES EÓLICOS

César Filipe Andrade Spínola

Dissertação do MIEM

Orientador na ENEREEM: Eng. Beatriz Rodrigues Jardim

Orientador na FEUP: Prof. José Manuel Laginha Mestre da Palma



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Março 2011

Resumo

O objectivo deste trabalho foi determinar a existência ou não de diferenças entre a produção de electricidade em parques eólicos prevista na fase de projecto e aquela que efectivamente veio a ocorrer. Para este efeito analisou-se o desempenho de dois parques eólicos localizados no Paul da Serra na ilha da Madeira, o parque eólico 1 e o parque eólico 2. O período em análise, de 1 de Setembro de 2009 a 31 de Agosto de 2010, foi dividido em duas épocas: Inverno, contendo os meses de Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março; e Verão, com os restantes meses do ano. Foram analisados os dados da velocidade média, desvio padrão e direcção do vento, energia disponível por sector e os padrões médios diários da produção e a produção total de cada um dos aerogeradores. Foi também recolhida informação referente ao número de horas em que cada aerogerador esteve em manutenção e ocorreu limitação da potência.

O vento no Paul da Serra tem uma predominância do quadrante Nordeste, embora se verifique durante o período de Inverno uma rotação dos ventos a Norte, de Nordeste para Sudoeste. A intensidade média do vento é superior no período de Inverno com valores de 8,3 m/s e 8,2 m/s nos parques eólicos 1 e 2, enquanto no período de Verão a velocidade média do vento foi de 6,9 m/s e 6,4 m/s. A intensidade de turbulência nos parques 1 e 2 foi de 12,9 e 18,5%. O padrão diário do vento, e da produção, caracteriza-se pela diminuição da intensidade do vento ao fim da manhã, mais vincado no período de Verão; porque se trata do período do ano e das horas do dia, com mais radiação solar, onde os efeitos locais potenciados pela diferente capacidade de absorção térmica da terra e do mar, originando brisas marítimas, e pelo efeito de redução da intensidade do escoamento atmosférico no topo das montanhas que os efeitos da estratificação térmica provocam.

As limitações da potência dos aerogeradores são mais severas no Inverno e o parque 2 é o mais afectado. No Inverno é maior o número de limitações automáticas dos sistemas de controlo dos aerogeradores, devido à maior intensidade de turbulência do regime de ventos, é maior também o número de limitações programadas, porque as chuvas aumentam a contribuição da componente hídrica.

Quanto à produção dos parques eólicos, existe uma diferença na produção de cada aerogerador do mesmo parque no período de Inverno e uma coincidência no período de Verão, justificado pelo regime de ventos deste período do ano, que leva à ocorrência de limitações severas da potência diferente para cada aerogerador, do diferenciado recurso eólico disponível para cada aerogerador e da micro localização desfavorável quando o vento não tem predominância do quadrante Nordeste. Embora as produções não tenham atingido as estimativas, sendo inferior em 9% e em 13% nos parques eólicos 1 e 2, relativamente às estimativas do fabricante, estas são satisfatórias tendo em linha de conta as limitações da potência existentes, que as estimativas não contabilizaram.

São apontadas algumas medidas para aumentar a penetração da energia eólica, como é o caso do recurso a ferramentas de previsão a curto e a médio prazo, para uma maior confiança nesta fonte de energia, reduzindo a reserva girante dos sistemas electroprodutores, bem como a alteração das centrais hidroeléctricas com funcionamento a fio de água, dotando-as de reservatórios de acumulação a jusante, e equipamentos de bombagem, com recurso à eólica a bombagem no período nocturno, aumentando a sua contribuição, e assim regular o funcionamento das centrais hidroeléctricas no período diurno e diminuir a componente térmica do sistema.

Abstract

The purpose of this study was to determine the existence or not of differences in the production of electricity in wind farms planned in the design and one that actually came to pass. To this end we analyzed the performance of two wind farms located in Paul da Serra in Madeira, the wind farm 1 and wind farm 2. The period under review, from 1 September 2009 to August 31, 2010, was divided into two seasons: Winter, containing the months of November December, January, February and March, and summer, with the remaining months of the year. We analyzed the data of average speed, standard deviation and direction of the wind energy available in the sector and the patterns of production and average daily total production of each of the turbines. It was also gathered information on the number of hours that each wind turbine was down for maintenance and power limitation occurred.

The wind at Paul da Serra is a predominance of the Northeast quadrant, although there is during the winter rotation of the winds to the north, from northeast to southwest. The mean wind intensity is higher in winter with values of 8.3 m / s and 8.2 m / s in wind farms 1 and the 2, while during summer the average wind speed were 6.9 m / s and 6.4 m / s. The intensity of turbulence in the parks 1 and 2 was 12.9 and 18.5%. The daily pattern of wind, and production is characterized by the decrease in wind strength in late morning, more pronounced during the summer, because this is the time of year and hour of the day, more solar radiation, where local effects potentiated by different heat absorption capacity of the land and sea, causing sea breezes, and the effect of reducing the intensity of the atmospheric flow in the mountains that the effects of thermal stratification cause.

The limitations of the power of wind turbines are more severe in winter and the park of the 2 is the most affected. In winter there is an increased number of limitations on the control systems of wind turbines, due to increased turbulence intensity of the wind, is also the largest number of scheduled limitations, as the rains increase the contribution of the water component.

As for the production of wind farms, there is a difference in the production of each turbine of the same park in winter and a coincidence in the summer period, justified by the wind regime in this time of year, which leads to the occurrence of severe limitations of the different power for each turbine, the different wind resource available for each turbine and micro disadvantaged location when wind is not predominantly northeast quadrant. Although the productions have not reached the estimates, being lower by 9% and 13% in wind farms 1 and the 2, with the estimates of the manufacturer, these are satisfactory taking into account the limitations of existing power, which estimates not recorded.

It points out some measures to increase the penetration of wind energy, such as the use of predictive tools in the short and medium term, to greater reliance on this energy source, reducing the spinning reserve power plants systems and changing hydropower operation with the trickle of water, providing them with accumulation downstream reservoirs, and pumping equipment, using the wind will be pumping at night, increasing their contribution, and thus regulate the operation of hydroelectric plants during the day and decrease the thermal component of the system.

Agradecimentos

Venho aqui exprimir o meu agradecimento à Sra. Eng. Beatriz Jardim, da Electricidade da Madeira, por todo o seu empenho, disponibilidade e conhecimento transmitido, contribuindo para o meu enriquecimento técnico nesta área e possibilitando a realização deste trabalho. Agradeço também a todos os profissionais da Electricidade da Madeira, pela forma como me receberam e integraram.

Ao Prof. José Manuel Laginha Mestre da Palma, os meus agradecimentos pelo apoio e disponibilidade demonstrada, viabilizando a realização deste projecto.

Agradeço também a todos os meus familiares e amigos por todo o apoio recebido.

Prefácio

O presente trabalho foi realizado na ENEREEM – Energias Renováveis, Lda., empresa do Grupo EEM - Empresa de Electricidade da Madeira, no âmbito da dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, da Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto, FEUP.

A supervisão foi assegurada pela Sra. Eng. Beatriz Rodrigues Jardim da EEM, e Prof. José Manuel Laginha Mestre da Palma, da FEUP.

Conteúdo

1 - Introdução	1
1.1 - Enquadramento	1
1.2 - Grande Dificuldade de Integração da Energia Eólica em Redes Isoladas.....	1
1.2.1 - Medidas que Visam Aumentar a Penetração da Energia Eólica.....	1
1.3 - Energia Eólica.....	3
1.3.1 - Origem do Vento	3
1.3.2 - Energia do Vento	3
1.3.3 - Princípios e Limites de Conversão	4
2 - A Energia Eólica no Sistema Electroprodutor da Ilha da Madeira.....	5
2.1 - História do Sistema Electroprodutor da Ilha da Madeira	5
2.2 - Limites da Penetração das Fontes de Energia Renovável em Redes Isoladas.....	7
2.3 - Aproveitamento Eólico do Planalto do Paul da Serra	8
2.3.1 - Caracterização do Local	8
2.3.2 - Estudos Elaborados para Efeitos de Instalação dos Parques Eólicos	9
2.3.3 - Caracterização dos Parques Eólicos da ENEREEM	10
3 - Apresentação dos Resultados	11
3.1 - Resultados da Produção dos Parques Eólicos 1 e das 2.....	11
3.1.1 - Análise Comparativa entre a Produção e as Estimativas.....	12
3.2 - Análise do Desempenho dos Parques Eólicos 1 e 2	13
3.2.1 - Caracterização do Regime de Ventos	13
3.3 - Padrões Diários Médios da Produção.....	16
3.4 - Dados Horários do Funcionamento dos Aerogeradores	19
3.5 - Produção dos Parques Eólicos	20
3.6 - Curvas de Potência.....	24
3.7 - Limitação da Potência dos Parques Eólicos	26
3.8 - Comparação da Produção com as Estimativas do Fabricante.....	32

4 - Conclusões	35
4.1 - Conclusões da análise dos Parques Eólicos 1 e 2.....	35
5 - Bibliografia	39
6 - Anexos.....	41
Anexo A: Produção dos Parques Eólicos	43
Anexo B: Caracterização do Regime de Ventos.....	45
Anexo C: Rosas-dos-Ventos Mensais.....	63
Anexo D: Padrões Diários Médios Mensais da Produção.....	81
Anexo E: Produções e Limitações Mensais dos Parques Eólicos	87
Anexo F: Dados Horários do Funcionamento dos Aerogeradores.....	95
Anexo G: Curvas de Potência	99
Anexo H: Mapa do Parque Eólico 1.....	103
Anexo I: Mapa do Parque Eólico 2	105

Índice de Figuras

Figura 1: Diagrama de cargas sem comparticipação de sistemas reversíveis	2
Figura 2: Diagrama de cargas com comparticipação de sistemas reversíveis	2
Figura 3: Evolução do sistema electroprodutor da ilha da Madeira	6
Figura 4: Mapa da ilha da Madeira	8
Figura 5: Parques eólicos no Paul da Serra	10
Figura 6: Produção dos parques eólicos 1 e 2	11
Figura 7: Produção e estimativas	12
Figura 8: Horas equivalentes a plena carga reais e estimadas	12
Figura 9: Padrão diário do parque eólico 1 na época de Inverno	16
Figura 10: Padrão diário do parque eólico 1 na época de Verão	16
Figura 11: Padrão diário do parque eólico 2 na época de Inverno	17
Figura 12: Padrão diário do parque eólico 2 na época de Verão	18
Figura 13: Produção do parque 1 na época de Inverno	20
Figura 14: Produção do parque 1 na época de Verão	20
Figura 15: Produção do parque eólico 1	21
Figura 16: Produção do parque 2 na época de Inverno	22
Figura 17: Produção do parque 2 na época de Verão	22
Figura 18: Produção do parque eólico 2	23
Figura 19: Curva de potência do aerogerador Vestas V52	24
Figura 20: Curvas de potência dos aerogeradores do parque eólico 1	25
Figura 21: Curvas de potência dos aerogeradores do parque eólico 2	25
Figura 22: Limitações de potência no parque eólico 1 (Inverno)	26
Figura 23: Limitações de potência no parque eólico 1 (Verão)	27
Figura 24: Limitações de potência no parque eólico 1 (Total)	27
Figura 25: Limitações de potência no parque eólico 2 (Inverno)	29
Figura 26: Limitações da potência no parque eólico 2 (Verão)	29
Figura 27: Limitações da potência no parque eólico 2 (Total).....	30
Figura 28: Comparação da produção com as estimativas do parque eólico 1	32
Figura 29: Comparação da produção com as estimativas do parque eólico 2	32
Figura 30: Caracterização do recurso eólico do aerogerador N ^o 1	45
Figura 31: Caracterização do recurso eólico do aerogerador N ^o 2	46
Figura 32: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N ^o 3.....	47
Figura 33: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N ^o 4.....	48
Figura 34: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N ^o 5.....	49
Figura 35: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N ^o 6.....	50
Figura 36: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N ^o 1.....	51

Figura 37: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº2.....	52
Figura 38: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº3.....	53
Figura 39: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº4.....	54
Figura 40: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº5.....	55
Figura 41: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº6.....	56
Figura 42: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº7.....	57
Figura 43: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº8.....	58
Figura 44: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº9.....	59
Figura 45: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº10.....	60
Figura 46: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº11.....	61
Figura 47: Caracterização do recurso eólico da aerogerador Nº12.....	62
Figura 48: Rosas-dos-ventos do mês de Setembro dos aerogeradores do parque 1.....	63
Figura 49: Rosas-dos-ventos do mês de Outubro dos aerogeradores do parque 1.....	63
Figura 50: Rosas-dos-ventos do mês de Novembro dos aerogeradores do parque 1.....	64
Figura 51: Rosas-dos-ventos do mês de Dezembro dos aerogeradores do parque 1.....	64
Figura 52: Rosas-dos-ventos do mês de Janeiro dos aerogeradores do parque 1.....	65
Figura 53: Rosas-dos-ventos do mês de Fevereiro dos aerogeradores do parque 1.....	65
Figura 54: Rosas-dos-ventos do mês de Março dos aerogeradores do parque 1.....	66
Figura 55: Rosas-dos-ventos do mês de Abril dos aerogeradores do parque 1.....	66
Figura 56: Rosas-dos-ventos do mês de Maio dos aerogeradores do parque 1.....	67
Figura 57: Rosas-dos-ventos do mês de Junho dos aerogeradores do parque 1.....	67
Figura 58: Rosas-dos-ventos do mês de Julho dos aerogeradores do parque 1.....	68
Figura 59: Rosas-dos-ventos do mês de Agosto dos aerogeradores do parque 1.....	68
Figura 60: Rosas-dos-ventos do mês de Setembro dos aerogeradores do parque 2.....	69
Figura 61: Rosas-dos-ventos do mês de Outubro dos aerogeradores do parque 2.....	70
Figura 62: Rosas-dos-ventos do mês de Novembro dos aerogeradores do parque 2.....	71
Figura 63: Rosas-dos-ventos do mês de Dezembro dos aerogeradores do parque 2.....	72
Figura 64: Rosas-dos-ventos do mês de Janeiro dos aerogeradores do parque 2.....	73
Figura 65: Rosas-dos-ventos do mês de Fevereiro dos aerogeradores do parque 2.....	74
Figura 66: Rosas-dos-ventos do mês de Março dos aerogeradores do parque 2.....	75
Figura 67: Rosas-dos-ventos do mês de Abril dos aerogeradores do parque 2.....	76
Figura 68: Rosas-dos-ventos do mês de Maio dos aerogeradores do parque 2.....	77
Figura 69: Rosas-dos-ventos do mês de Junho dos aerogeradores do parque 2.....	78
Figura 70: Rosas-dos-ventos do mês de Julho dos aerogeradores do parque 2.....	79
Figura 71: Rosas-dos-ventos do mês de Agosto dos aerogeradores do parque 2.....	80
Figura 72: Padrões diários médios mensais da produção do parque 1.....	83
Figura 73: Padrões diários médios mensais da produção do parque 2.....	86
Figura 74: Produções e limitações mensais do parque 1.....	88
Figura 75: Produções e limitações mensais do parque 2.....	93
Figura 76: Curvas de potência dos aerogeradores do parque 1.....	99
Figura 77: Curvas de potência dos aerogeradores do parque 2.....	101
Figura 78: Mapa do parque eólico 1.....	103
Figura 79: Mapa do parque eólico 2.....	105

Índice de Tabelas

Tabela 1: Caracterização dos parques eólicos da ENEREEM – Energias Renováveis	10
Tabela 2: Produção dos parques eólicos do 1 e 2	11
Tabela 3: Comparação entre a produção e as estimativas.....	12
Tabela 4: Caracterização do regime de ventos no parque eólico 1.....	14
Tabela 5: Caracterização do regime de ventos no parque eólico 2.....	15
Tabela 6: Dados horários do funcionamento do parque eólico 1	19
Tabela 7: Dados horários do funcionamento do parque eólico 2	19
Tabela 8: Produção do parque eólico 1.....	21
Tabela 9: Produção do parque eólico 2.....	23
Tabela 10: Limitações de potência no parque eólico 1 (Inverno/Verão)	26
Tabela 11: Limitações da potência no parque eólico 1 (Total).....	27
Tabela 12: Limitações da potência no parque eólico 2 (Inverno/Verão).....	28
Tabela 13: Limitações da potência no parque eólico 2 (Total).....	30
Tabela 14: Comparação da produção com as estimativas dos parques eólicos 1 e 2	33
Tabela 15: Produção dos parques eólicos.....	43
Tabela 16: Produção do parque eólico 1.....	89
Tabela 17: Diferença entre a produção média mensal e a produção no parque eólico 1	89
Tabela 18: Produção do parque eólico 2.....	94
Tabela 19: Diferença entre a produção média mensal e a produção no parque eólico 2	94
Tabela 20: Dados horários do funcionamento dos parques eólicos 1 e 2	97

1 - Introdução

1.1 - Enquadramento

O tema objecto desta dissertação, Análise do Desempenho dos Parques Eólicos da ENEREEM, constitui matéria da maior importância, tendo em conta o desenvolvimento dos aproveitamentos de energia eólica, que a ilha da Madeira assistiu nos últimos anos. Até ao final de 2012 está prevista, por entidades governamentais e privadas, a instalação de mais 25 MW em parques eólicos, a adicionar aos 38 MW actualmente instalados.

A elevada complexidade orográfica da ilha, as limitações de uma rede isolada, bem como a situação financeira actual, exige um elevado rigor no estudo da avaliação da adequação de um local para a instalação de um parque eólico. O conhecimento preciso do regime de ventos é um dos elementos mais importantes dessa avaliação.

1.2 - Grande Dificuldade de Integração da Energia Eólica em Redes Isoladas

Dadas as características de uma rede electricamente isolada como a da ilha da Madeira, a integração da energia eólica, caracterizada pela sua intermitência e limitada capacidade de regulação de tensão, é sem dúvida um desafio. A grande sensibilidade das redes isoladas e de pequena dimensão, às oscilações da produção dos parques, constitui preocupação aos gestores da rede, dificultando a gestão da estabilidade da rede.

A perda simultânea de vários parques eólicos, por atingirem a velocidade de cut-off, pode representar um corte parcial de toda a zona oeste da ilha da Madeira, ou caso ocorra em período de vazio o colapso de toda a rede eléctrica. O centro de despacho tem o controlo centralizado dos parques, dispondo das ferramentas necessárias para gerir o sistema com o máximo de integração de renováveis cumprindo com os níveis de risco admissíveis. Outro fenómeno eléctrico que poderá representar a saída dos grupos eólicos é a existência de um curto-circuitos na proximidade dos mesmos, originando uma cava cuja severidade não é suportada pelas máquinas.

1.2.1 - Medidas que Visam Aumentar a Penetração da Energia Eólica

A investigação e desenvolvimento, em componentes que dotem os geradores com a capacidade de regulação da tensão e da frequência da potência, de forma a melhor interagirem com a rede, seriam uma forma de atenuar a intermitência característica desta fonte de energia, aumentando a sua integração nos sistemas electroprodutores.

A utilização de ferramentas de previsão, dotando os centros de despacho com uma estimativa fidedigna da potência produzida com recurso à eólica, permitiria uma maior confiança nesta fonte de energia, possibilitando reduzir a reserva girante.

1.2.1.1 - Utilização de Centrais de Acumulação

Numa rede isolada, como a da ilha da Madeira, com uma grande diminuição da carga em períodos de vazio (durante a noite), torna impossível a total contribuição dos Parques Eólicos para o sistema electroprodutor, devido à sua integração limitada na ordem dos 30%. Uma forma de aumentar a penetração desta forma de energia passa pela conjugação da energia Eólica e Hídrica.

A alteração das centrais hidroeléctricas existentes na ilha da Madeira, com funcionamento de fio de água para centrais reversíveis, dotando-as de reservatórios de acumulação a jusante, e equipamentos de bombagem, possibilitaria recorrendo à energia eólica a bombagem no período nocturno, aumentando assim a contribuição desta forma de energia. Por outro lado, a água acumulada permite regularizar o funcionamento das centrais hidroeléctricas em período diurno, diminuindo a componente térmica no sistema. Nas figuras 1 e 2, são apresentados dois diagramas de carga, com e sem os sistemas reversíveis, onde é possível verificar que a sua integração no sistema electroprodutor da ilha, contribui para a redução da emissão de gases com efeito de estufa, e na importação de fuel, o que conduz a uma diminuição dos encargos na importação de derivados do petróleo bem como em aquisições de licenças para missão de CO₂, viabilizando o investimento tanto dos parques eólicos como na transformação das centrais hidroeléctricas em centrais reversíveis.

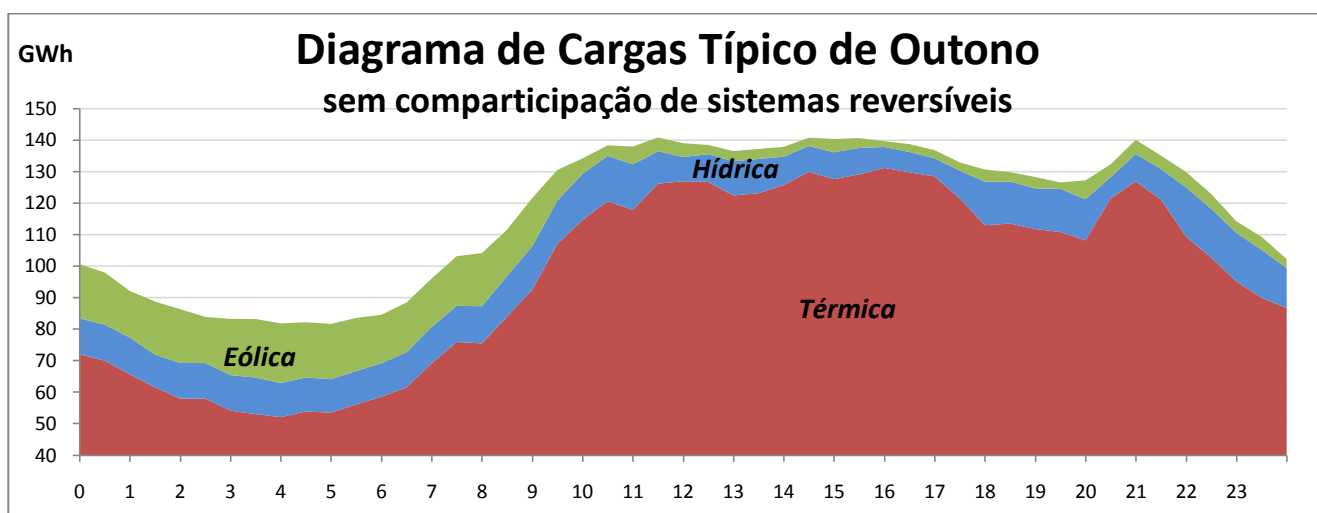


Figura 1: Diagrama de cargas sem participação de sistemas reversíveis

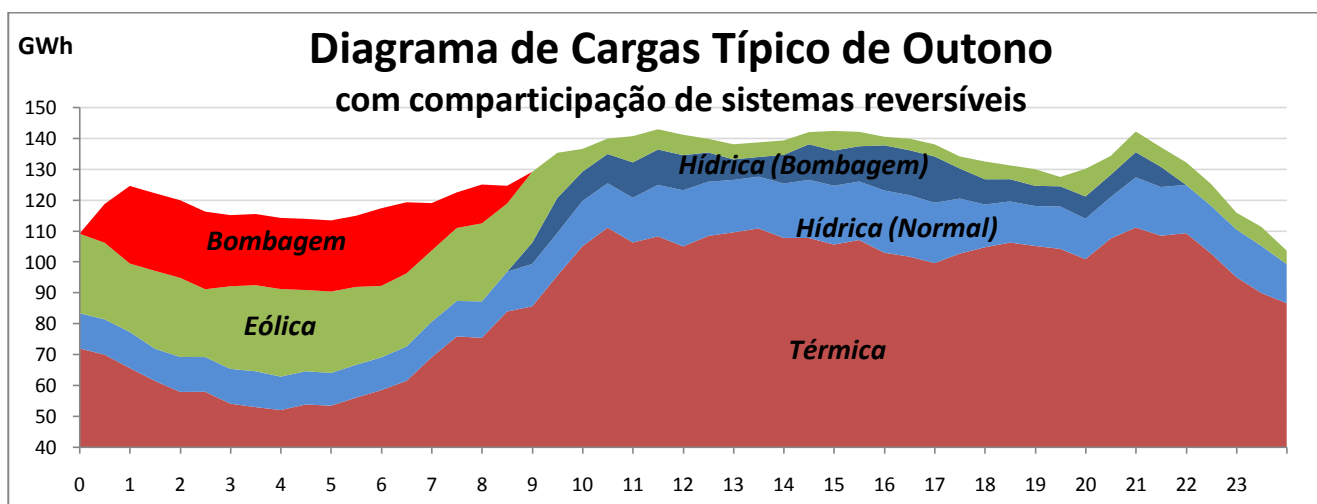


Figura 2: Diagrama de cargas com participação de sistemas reversíveis

1.3 - Energia Eólica

1.3.1 - Origem do Vento

O vento é um fenómeno climatológico, resultante da conjugação de efeitos em distintas escalas temporais e espaciais. O aproveitamento do vento com fins energéticos é, a mais exigente do ponto de vista do rigor necessário a sua caracterização.

O vento, pode ser definido como uma forma de energia solar, porque é a radiação solar que, indirectamente, fomenta a circulação do ar. O aquecimento diferenciado da atmosfera, originado, entre outros factores, pela orientação dos raios solares e pelos movimentos da Terra, provoca a deslocação de fluxos de calor das regiões tropicais para os pólos, consequentemente substituídos por ar mais frio estando em constante circulação. Podem ser agrupados em ventos Alísios, de Oeste e Polares. Os Alísios dirigem-se dos trópicos para o equador através das altas altitudes, os ventos de Oeste seguem dos trópicos para os pólos e os ventos Polares dirigem-se dos pólos para as zonas temperadas. A inclinação de 23 graus do eixo da Terra em relação ao plano formado pela órbita em torno do Sol gera modificações sazonais na distribuição dos ventos, aparecendo assim ventos periódicos que mudam de direcção de seis em seis meses, soprando numa direcção durante as estações mais quentes, trocando nas estações mais frias. Os efeitos locais são potenciados pela diferente capacidade de absorção de calor da terra e do mar, originando brisas marítimas diurnas, que circulam do mar para a terra, nas montanhas, o ar aquece ao longo da manhã, subindo e sendo substituído por ar mais fresco. Durante a noite circulam de um modo mais atenuado da terra para o mar. O relevo e a cobertura do solo influenciam decisivamente a velocidade do vento, tanto em direcção como em intensidade.

1.3.2 - Energia do Vento

O vento é ar em movimento, cuja energia cinética por unidade de volume é dada por:

$$E = \frac{\rho V^2}{2}$$

Com, ρ a massa volúmica do ar, A a área de passagem da corrente e V , a sua velocidade.

A potência contida no escoamento é obtida multiplicando-se pela área de passagem e de novo pela velocidade.

$$P = \frac{\rho A V^3}{2}$$

A velocidade do escoamento intervém no cálculo da potência de forma decisiva e a sua quantificação é factor essencial na análise do potencial eólico de um local. Usualmente como aproximação dos histogramas de velocidades, utiliza-se a distribuição de Weibull que é caracterizada por um factor de escala, A , e um factor de forma, k , ambos relacionados com a velocidade média e com a forma do histograma de classificação das ocorrências de velocidades, (Rodrigues 2010).

1.3.3 - Princípios e Limites de Conversão

O princípio de funcionamento de um aerogerador baseia-se no aproveitamento de parte da energia cinética contida no escoamento de uma dada massa de ar. Na passagem do escoamento pelo rotor dá-se uma queda brusca de pressão, de tal forma que depois do rotor o seu valor é mais baixo que o da pressão circundante, retomando o valor da pressão atmosférica a jusante do rotor. Verifica-se então uma diminuição da energia cinética entre dois pontos afastados, um a montante e outro a jusante do rotor, sendo iguais os valores da pressão estática, (Rodrigues 2010).

A potência que um rotor consegue extrair do vento tem um limite, se convertêssemos em potência útil toda a energia cinética contida no vento, a velocidade após a passagem pelo rotor seria nula, o que corresponderia a parar o escoamento, não havendo mais transporte de energia. Existem várias teorias que abordam este tema, como por exemplo a abordagem de Betz, baseada na teoria do disco actuante, em que é possível encontrar uma relação entre a potência recolhida pelo rotor e o coeficiente de retardamento, o coeficiente de Betz. Esta abordagem, mesmo que muito simplificada, permite-nos ter uma ideia que há um limite para a extracção da energia do vento, (Rodrigues 2010).

$$C_p = \frac{\text{Potência}}{0,5 \times \rho \times A \times V^3} = 4 a (1 - a)^2$$

$$\text{Coeficiente de Betz} = C_p \text{ máx} = 0,593 \quad \text{para } a = \frac{1}{3}$$

2 - A Energia Eólica no Sistema Electroprodutor da Ilha da Madeira

2.1 - História do Sistema Electroprodutor da Ilha da Madeira

Em 22 de Maio de 1895, a concessão para a iluminação do Funchal por meio de electricidade foi outorgada pela Câmara Municipal ao engenheiro portuense Eduardo Augusto Kopke que a transfere, no ano seguinte, para a firma inglesa “*The Madeira Electric Lighting Company Limited*” (MELQL), que implementou a primeira rede de iluminação pública com a instalação da sua central produtora de energia eléctrica.

A 19 de Junho de 1897 acenderam-se as primeiras luzes da pequena Central Eléctrica do Funchal e estava assim aberta a primeira página da história da electricidade na Ilha da Madeira. Num período de 40 anos, a MELC, por todos conhecida como Casa da Luz, foi aumentando a sua produção e o uso e expansão da electricidade impôs-se no quotidiano da cidade.

Na década de 40, o governo tomou a iniciativa de estudar o aproveitamento das águas para a obtenção de energia eléctrica e uma missão técnica enviada à Madeira realizou um importante estudo que se traduziu num plano onde se previa a construção de várias centrais hidroeléctricas, aproveitando duplamente a água que “abundantemente, manava desde os altos píncaros até ao mar” (citação).

Em 1944 a Câmara Municipal do Funchal assume o fornecimento de energia eléctrica constituindo os Serviços Municipalizados da Electricidade e a Comissão Administrativa dos Aproveitamentos Hidroeléctricos da Madeira, CAAHM.

Nos anos 50, numa das épocas notáveis da electricidade na ilha da Madeira, é atribuído à CAAHM a tarefa da produção, transporte e distribuição de energia eléctrica a toda a ilha. Em 1953 entram em funcionamento as centrais hidroeléctricas da Serra de Água e da Calheta. No Funchal procedeu-se à construção da sede da CAAHM na Avenida do Mar, em 1965 entra em funcionamento a Central Hidroeléctrica da Ribeira da Janela e em 1974 inaugura-se a central hidroeléctrica da Fajã da Nogueira. Com a construção destas centrais hidroeléctricas, esta fonte de energia contribui-a nesta altura, com cerca de 50 % do total da potência eléctrica emitida da ilha.

A 17 de Janeiro de 1974 a CAAHM é transformada em Empresa Pública, sob a denominação de Empresa de Electricidade da Madeira, EP, EEM. Em 1979 o Governo Regional procede à regionalização da EEM e é com a mesma que são lançadas as grandes obras com vista à completa electrificação da ilha da Madeira. Nos anos 80 é construída a Central Térmica da Vitória, entra em funcionamento no Porto Santo o primeiro Parque Eólico de Portugal, com oito aerogeradores de 30 kW cada. A Madeira fica totalmente electrificada ao nível de núcleos populacionais com mais de 20 habitantes.

Os anos 90 marcaram o centenário da electricidade na Madeira. A Empresa de Electricidade da Madeira, EP., EEM, passa a sociedade anónima de capitais exclusivamente públicos e de entre as principais obras executadas destacam-se, o aproveitamento para fins múltiplos da Ribeira dos Socorridos, obra destinada ao abastecimento de água ao Funchal e a Câmara de Lobos, à regularização dos caudais de rega e produção de energia eléctrica, a conclusão da segunda fase na Central da Vitória, a construção da Central Hidroeléctrica de Inverno da Calheta e a construção do primeiro Parque Eólico na ilha da Madeira, no Caniçal.

Desde então, a política de investimento da empresa, tem-se centrado, no uso das fontes renováveis de energia, sendo a de maior monta a energia eólica, que devido ao elevado potencial endógeno da ilha, em particular no Paul da Serra, tem potenciado a criação de mais parques eólicos, e onde se pretende vir a ser uma zona exclusiva para o efeito.

Na figura 1, mostra-se a evolução de cada componente no sistema electroprodutor da ilha, onde é de realçar a grande e crescente componente térmica, uma componente hidroeléctrica, que outrora correspondera a quase 90% da potência instalada, actualmente e devido a um fraco investimento se mantém praticamente igual e a crescente componente eólica a partir dos anos 90. É também de realçar a central de queima de resíduos sólidos que contribui de forma significativa para a diversificação das fontes de potência eléctrica da ilha, (EEM 2011)

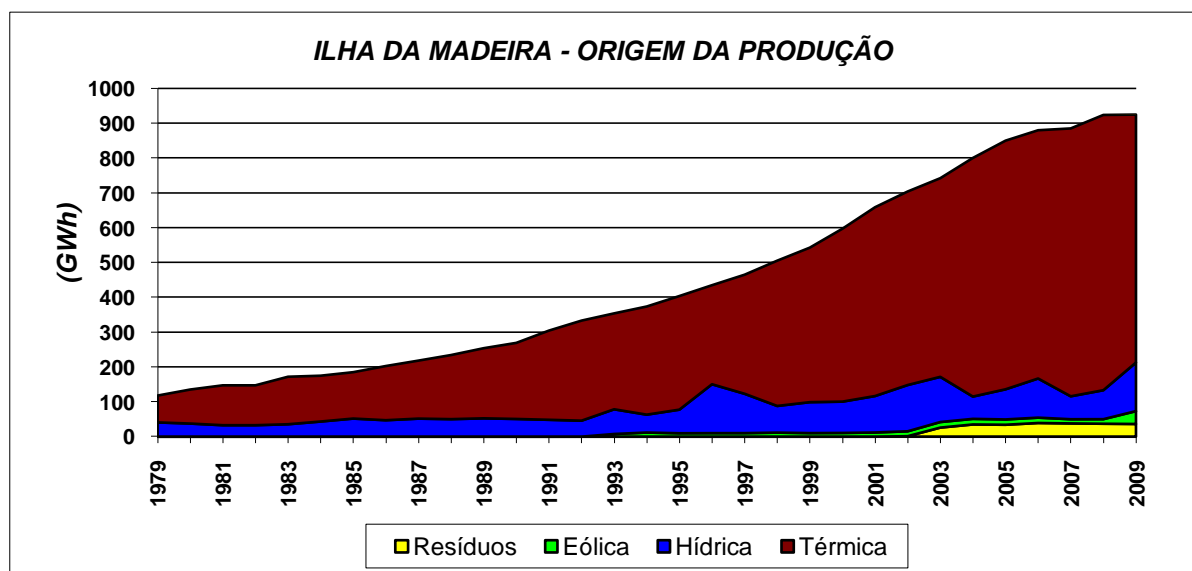


Figura 3: Evolução do sistema electroprodutor da ilha da Madeira

2.2 - Limites da Penetração das Fontes de Energia Renovável em Redes Isoladas

Devido à limitação dos geradores eólicos, em regular a tensão e a limitada regulação da frequência, a interacção desta forma de energia com o sistema electroprodutor, acarreta uma dificuldade acrescida, limitando a sua penetração. A energia eólica caracterizada pela sua intermitência, a potência por si emitida induz instabilidade na rede eléctrica, tendo o sistema electroprodutor que estar dotado de formas de compensar essa instabilidade. Os motores térmicos garantem o correcto funcionamento da rede eléctrica, regulando a sua tensão e frequência, até certos limites em que deixam de garantir a sua eficiência.

O limite à integração da energia eólica, em sistemas electroprodutores é na ordem dos 30%, limite teórico estabelecido pela capacidade das centrais térmicas de regulação da tensão e da frequência.

Devido à capacidade limitada de integração das fontes renováveis de energia no sistema electroprodutor, em períodos de vazio a sua penetração diminui ainda mais, levando muitas vezes à limitação da potência emitida por estas fontes de energia, de forma a manter a estabilidade da rede eléctrica.

2.3 - Aproveitamento Eólico do Planalto do Paul da Serra

2.3.1 - Caracterização do Local

A área em análise situa-se na metade oeste da ilha da madeira, sendo uma zona planáltica onde coexistem condições favoráveis à implementação de parques eólicos, com disponibilidade de recurso, compatibilização nos termos do *Plano de Gestão do Maciço Montanhoso Central da Ilha da Madeira*, com as restrições de carácter ambiental, patrimonial e paisagístico.

O Paul da Serra, uma área de aproximadamente 24 Km², caracteriza-se por uma altitude média de 1500 metros, sendo o seu ponto mais elevado o lugar do Ruivo do Paul, com 1640 metros. Para Noroeste e Nordeste o planalto é delimitado por vertentes acentuadas que, neste último, conduzem ao nível do mar em apenas dois quilómetros. A cerca de dez quilómetros, para Nascente, situa-se o ponto mais elevado de toda a ilha, o Pico do Areeiro, com 1820 metros de altitude, (INEGI 2006).

A localização é privilegiada no que se refere à potencialidade do seu recurso eólico, uma vez que as pendentes acentuadas potenciam a geração de fenómenos de aceleração do escoamento atmosférico, e ocorrência de velocidades elevadas nas zonas de maior altitude. Por outro lado, estas mesmas características introduzem no escoamento atmosférico um elevado grau de complexidade, sobretudo na periferia da área planáltica, onde os ventos incidentes são caracterizados por elevadas intensidades de turbulência e componentes verticais da velocidade acentuadas. Acresce a dificuldade que estas características impõem à simulação do escoamento, pelas limitações da maioria dos modelos disponíveis para previsão do recurso em lidar com situações desta complexidade, (INEGI 2006).

A vegetação é maioritariamente rasteira, tendo sido definida a rugosidade característica como uniforme e com um valor de 5 cm, segundo a classe 1 do Atlas Europeu do Vento, (INEGI 2006).

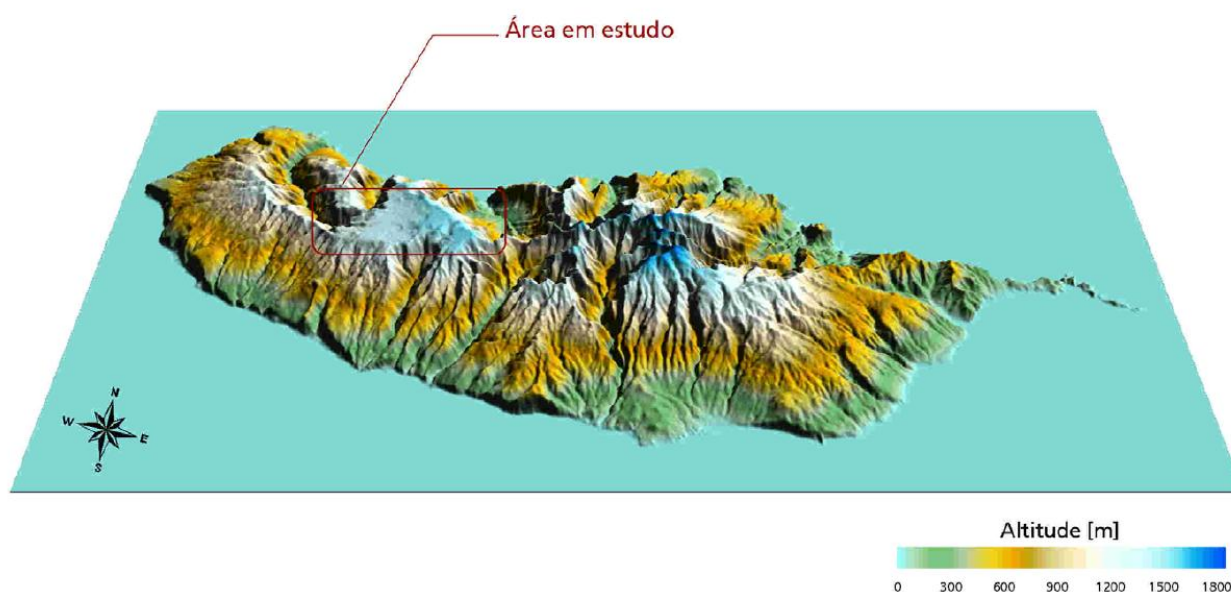


Figura 4: Mapa da ilha da Madeira

(INEGI 2006)

2.3.2 - Estudos Elaborados para Efeitos de Instalação dos Parques Eólicos

Procurando caracterizar o recurso eólico no planalto do Paul da Serra, visando a construção de parques eólicos, vários estudos têm tido efeito nos últimos anos.

Em 2002, o trabalho, “*Análise do escoamento Atmosférico na Região do Caniçal e no Paul da Serra, na Ilha da Madeira*”, realizado pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, para a ENEREEM, Energias Renováveis, Lda., concluiu, que os modelos habituais de avaliação de recursos eólicos, na sua maioria modelos lineares, não eram aplicáveis na região do Paul da Serra, devido à sua altitude e à inclinação elevada do terreno. Foram também apontados os efeitos da estratificação, que devido a altitude elevada do Paul da Serra, não podem ser ignorados, por condicionar o regime de ventos, com consequências sobre o funcionamento, localização e produção dos parques eólicos.

Também em 2002, o trabalho realizado pelo Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, “*Estudo das Características do Vento do Potencial Eólico do Caniçal e do Paul da Serra*”, concluiu que o planalto do Paul da Serra, apresentava características favoráveis para o aproveitamento da energia eólica, para a produção de electricidade, efectuando mapeamentos de velocidades e de possíveis localizações de parques eólicos. Salientava ainda que, apesar da aparente simplicidade do terreno no planalto, as pendentes acentuadas que o delimitam estendem a sua influência até a zona central, sendo os índices de complexidade RIX bastante elevados, mesmo em pontos afastados dessas pendentes. É também feita a referência das dificuldades na previsão do recurso, por tratar-se de um planalto em altitude elevada, onde os fenómenos atmosféricos, estratificação atmosférica e afastamentos relativamente à condição de estabilidade neutra, assumem, uma importância significativa e cujo tratamento não está contemplado no modelo de escoamento utilizado.

Em 2006, um estudo foi realizado pelo Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, INEGI, com o objectivo de caracterizar o potencial eólico nos dois possíveis locais de implementação, no âmbito do desenvolvimento do projecto de construção dos parques eólicos das Pedras e do Loiral, promovidos pela ENEREEM, Energias Renováveis, Lda., salienta que a grande complexidade do relevo na área envolvente à dos projectos dos parques eólicos colocava algumas dificuldades à caracterização do recurso eólico, e das dificuldades dos modelos de simulação do escoamento em lidar com este tipo de terreno. Recorrendo à metodologia do Atlas do Vento e à utilização dos modelos de escoamento que integram o software WAsP, caracterizou o recurso eólico das áreas em análise, com velocidades médias anuais da ordem dos 7,5 m/s, e intensidades de turbulência para velocidades da gama dos 15 m/s, de 9 % no Loiral e de 12,8 % nas Pedras, o que indicava um nível de potencial eólico elevado em ambos os locais. Os locais foram enquadrados segundo a norma IEC 61400-Parte 1, na Classe II, podendo ser instaladas máquinas da Classe II_B em ambas as áreas.

2.3.3 - Caracterização dos Parques Eólicos da ENERREEM

A ENERREEM - Energias Renováveis possui actualmente três parques eólicos no Paul da Serra. Na tabela 1, são apresentadas a características dos parques. Na figura 3, é apresentada uma imagem esquemática dos parques eólicos no Paul da Serra.

ENERREEM - Energias Renováveis				
Data	Parque Eólico	Potência [MW]	Modelo [kW]	Número
2004	Paul	3,3	Vestas V47 [660 kW]	5
2009	Pedras	10,2	Vestas V52 [850 kW]	12
2009	Loiral	5,1	Vestas V52 [850 kW]	6

Tabela 1: Caracterização dos parques eólicos da ENERREEM – Energias Renováveis

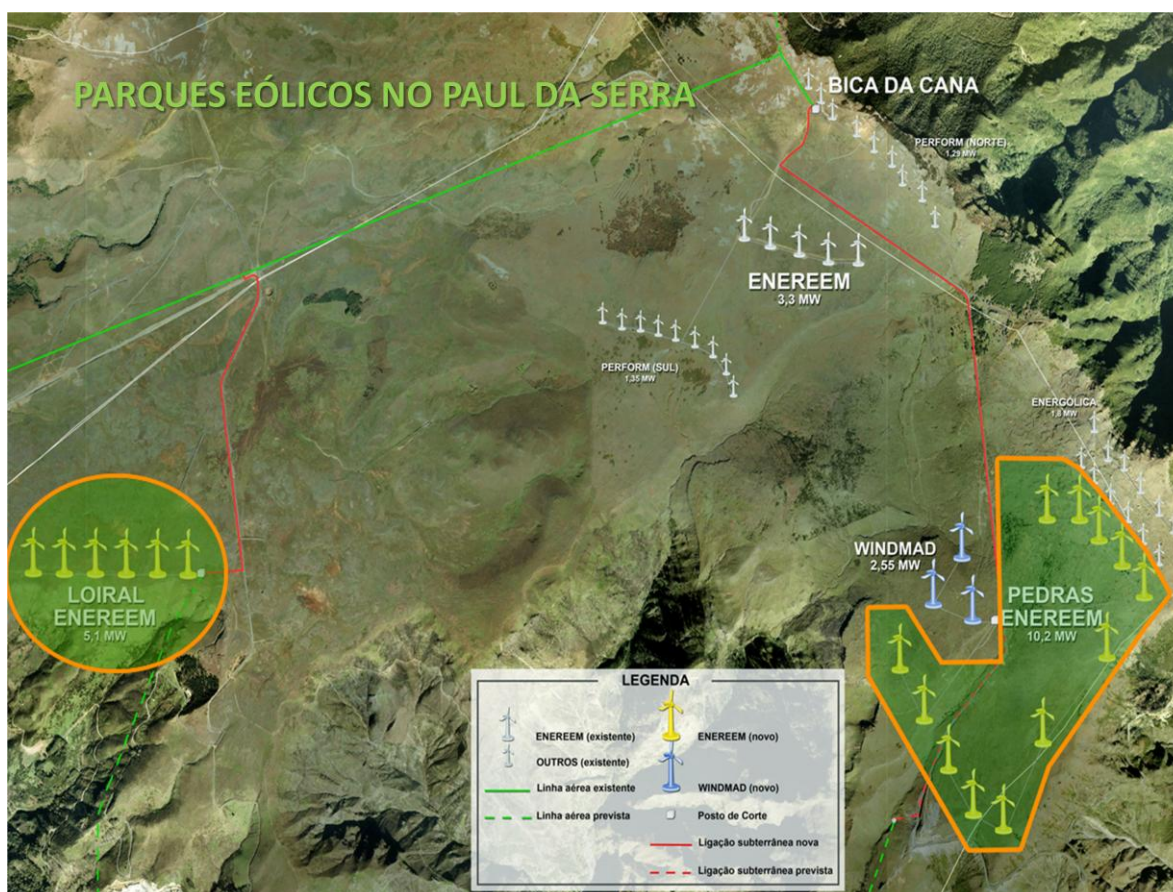


Figura 5: Parques eólicos no Paul da Serra

3 - Apresentação dos Resultados

3.1 - Resultados da Produção dos Parques Eólicos 1 e das 2

A produção dos dois parques eólicos em 2009 foi de 21 GWh/ano, e em 2010 de 35 GWh/ano, correspondendo a um acréscimo de 40 %. As produções dos dois parques nos anos de 2009 e 2010 corresponderam a 2% e a 3% respectivamente do total da produção de todo o sistema electroprodutor da ilha da Madeira.

A diferença da produção entre os dois anos, no parque eólico 2 deve-se à impossibilidade de escoamento da potência pelas linhas existentes, levando a que o parque estivesse limitado durante metade do ano de 2009. A partir do final de Julho a nova linha dupla de 30 kV entrou em exploração, permitindo assim o funcionamento sem limitação graves do parque eólico 2.

ENEREEM – Energias Renováveis							
Ano		2009			2010		
Parque Eólico		1	2	Total	1	2	Total
Produção	[GWh/ano]	7,4	13,8	21,2	22,2	12,9	35,1
HEPC	[h]	726	2714	-	2534	2177	-

Tabela 2: Produção dos parques eólicos do 1 e 2

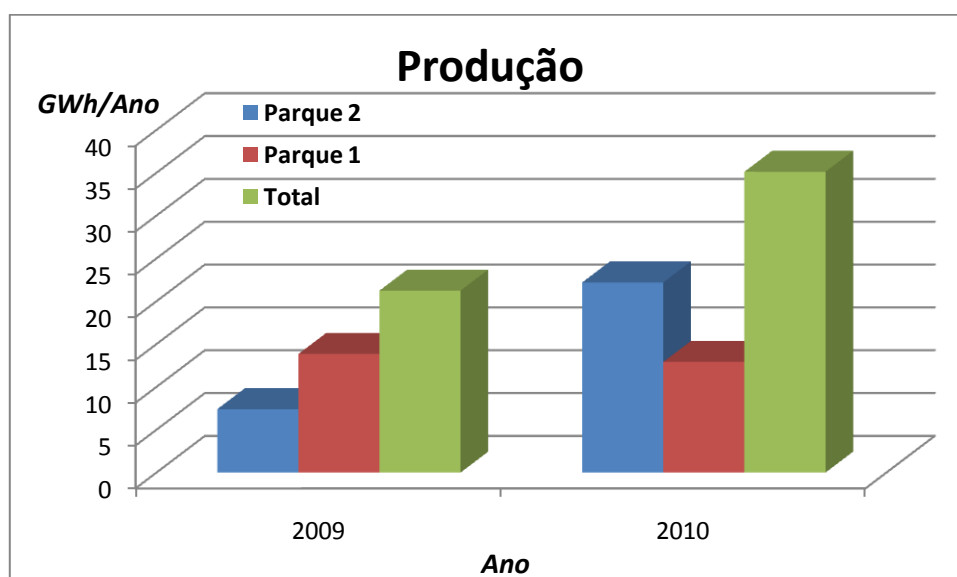


Figura 6: Produção dos parques eólicos 1 e 2

3.1.1 - Análise Comparativa entre a Produção e as Estimativas

Na tabela 3, são apresentados os valores da produção e das horas equivalentes à plena carga, bem como as estimativas efectuadas, pelo INEGI e pela VESTAS. Da sua análise é possível verificar que as estimativas não foram atingidas tanto no parque eólico 1 como no 2, sendo que o parque eólico do 1 é o que mais se aproxima das mesmas. Esta diferença é mais acentuada no ano 2009, devido às restrições da rede já mencionadas e acrescendo o facto do início de exploração de cada um dos parques. No que se refere ao ano de 2010, no parque das 2, embora com restrições de rede menos severas, permanecem as restrições de escoamento nas horas de vazio, onde a produção hídrica e eólica são concorrentes, prejudicando assim o rendimento do parque.

ENEREEM – Energias Renováveis		Parque 2	Parque 1
2009	Produção [GWh/ano]	7,4	13,8
	HEPC [h]	726	2714
2010	Produção [GWh/ano]	22,2	12,9
	HEPC [h]	2177	2534
Estimativa INEGI	Produção [GWh/ano]	26,1	13,9
	HEPC [h]	2560	2725
Estimativa VESTAS	Produção [GWh/ano]	24,3	14,4
	HEPC [h]	2379	2829

Tabela 3: Comparação entre a produção e as estimativas

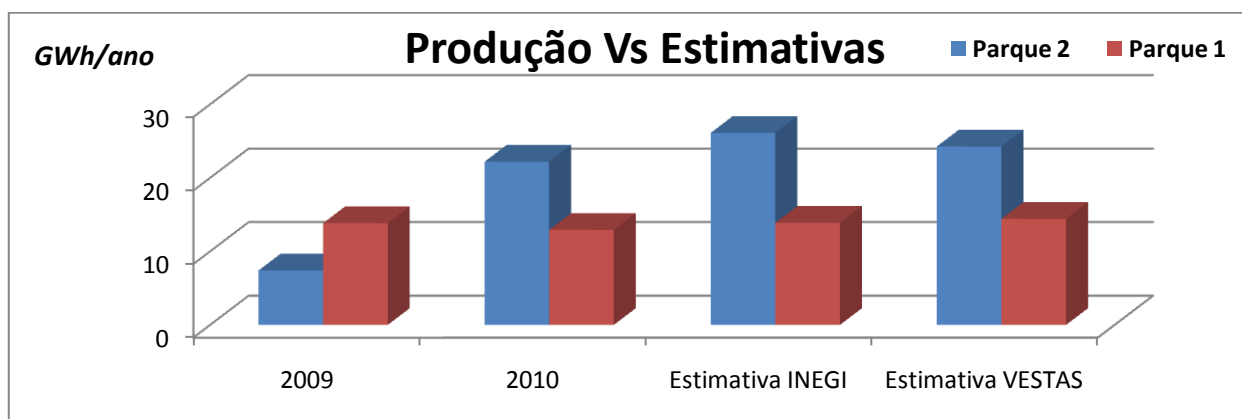


Figura 7: Produção e estimativas

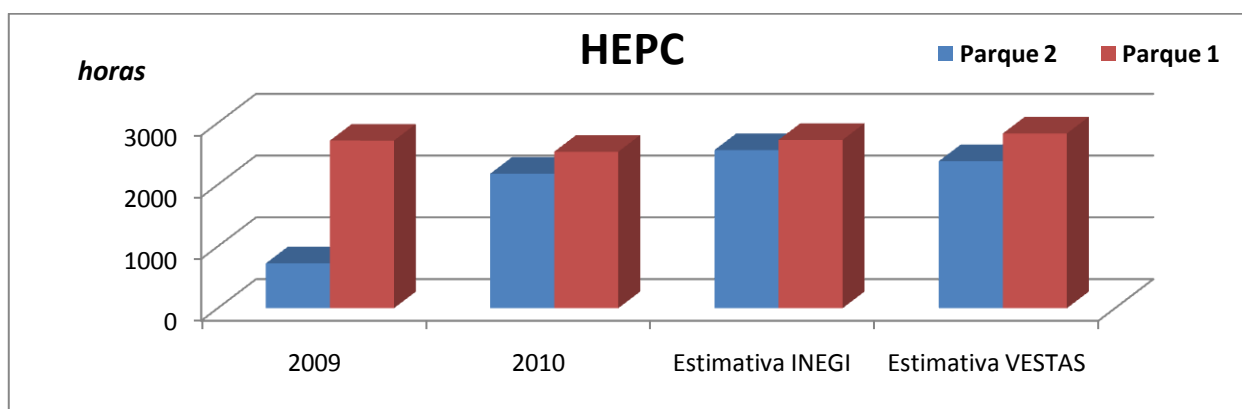


Figura 8: Horas equivalentes a plena carga reais e estimadas

3.2 - Análise do Desempenho dos Parques Eólicos 1 e 2

De forma a analisar o desempenho dos Parques Eólicos do 1 e 2, foi tomado um período de um ano, período mínimo indispensável a uma análise desta natureza, com início a 1 de Setembro de 2009 e término a 31 de Agosto de 2010.

Para melhor caracterização do período de estudo, o ano foi dividido em duas épocas, características do clima da ilha da Madeira: época de Inverno/Outono, compreendendo os meses de Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, e a época de Primavera/Verão, para os restantes meses do ano.

3.2.1 - Caracterização do Regime de Ventos

Para caracterizar o recurso eólico foram recolhidos dados da velocidade, desvio padrão da velocidade e direcção do vento á altura da *nacelle* de cada aerogerador, aproximadamente 50 metros acima do nível do solo, com intervalos de dez minutos durante o período em análise.

Os dados que foram possíveis recolher, são medidos pelos sistemas de medição de cada aerogerador e estão localizados no topo da *nacelle*, a jusante do rotor. A velocidade do vento assim medida, será sempre inferior ao valor a montante do rotor do aerogerador, pois parte dessa velocidade já foi convertida em energia útil. A intensidade de turbulência também está afectada de um erro provocado pela passagem das pás do rotor, pelo que os valores aqui encontrados serão superiores aos reais. Estes dados eram os únicos disponíveis para os parques, visto que as estações meteorológicas não estiveram disponíveis no período em apreciação.

O processamento e apresentação dos dados foram efectuados recorrendo aos programas Excel do Microsoft Office e o Windographer, permitindo construir os padrões diários do vento, as rosas-dos-ventos, os histogramas de velocidades e a caracterização da intensidade de turbulência, para cada aerogerador.

Parque Eólico 1

Aerogerador	Velocidade Média [m/s]		Turbulência [%]	Rosas-dos-ventos Quadrante mais significativo			Distribuição de Weibull	
	Inverno	Verão		15 m/s	Frequências	Velocidade	Energia	A [m/s]
1	8,2	7	12,6	Nordeste	Nordeste	Nordeste	8,26	1,53
2	8,8	7,1	12,7	Nordeste	Nordeste	Nordeste	8,73	1,62
3	8,4	6,9	12,8	Nordeste	Nordeste	Nordeste	8,34	1,59
4	8,5	6,8	13,1	Nordeste	Nordeste	Nordeste	8,31	1,6
5	8,2	6,6	13,1	Nordeste	Nordeste	Nordeste	8,06	1,61
6	7,5	6,7	13,0	Nordeste	Nordeste	Nordeste	7,76	1,59

Tabela 4: Caracterização do regime de ventos no parque eólico 1

Através da análise dos padrões do vento do parque eólico 1, conclui-se que o período de Inverno é mais ventoso que o de Verão. Durante o período de Inverno a velocidade média do vento foi de 8,3 m/s, sendo de salientar que a velocidade média neste período no aerogerador N°6 foi de apenas 7,5 m/s. Durante o período de Verão a velocidade média do vento foi de 6,9 m/s. É também possível identificar um padrão diário do vento caracterizado por um maior recurso durante o período noturno e por uma quebra na sua intensidade ao fim da manhã, horas de maior irradiação solar. Durante o período de Inverno este fenómeno é menos acentuado.

Os efeitos locais, potenciados pela diferente capacidade de absorção térmica da terra e do mar, originando brisas marítimas, a estratificação térmica que induz uma redução da velocidade do escoamento no cimo das encostas, podem estar na origem deste padrão diário, característico dos períodos do ano e das horas do dia de maior irradiação solar.

Da análise das rosas-dos-ventos, verifica-se uma maior predominância e intensidade média do vento do quadrante Nordeste. É também possível identificar a maior predominância do vento do quadrante Sudoeste nos meses de Outubro e Dezembro, enquanto nos restantes meses do período de Inverno verifica-se uma rotação a Norte na direcção do vento, para o quadrante Nordeste.

A intensidade de turbulência nos aerogerador do Parque Eólico 1, para velocidades do vento na gama dos 15 m/s, foi em média de 12,9 %.

Parque Eólico 2

Aerogerador	Velocidade Média [m/s]		Turbulência [%]	Rosas-dos-ventos Quadrante Mais Significativo			Distribuição de Weibull	
	Inverno	Verão	15 m/s	Frequências	Velocidades	Energia	A [m/s]	k
1	8,9	6,4	18,7	Nordeste	Sudoeste	Sudoeste	8,37	1,87
2	7,4	6	19,3	Nordeste	Sudoeste	Sudoeste	7,3	1,55
3	7,3	6,1	18,8	Nordeste	Sudoeste	Sudoeste	7,28	1,52
4	8,6	6,1	19,5	Nordeste	Sudoeste	Sudoeste	8,01	1,84
5	8,8	6,6	19,3	Nordeste	Sudoeste	Nordeste	8,44	1,92
6	8,9	6,6	18,4	Nordeste	Sudoeste	Nordeste	8,45	1,91
7	8,2	6,4	15,9	Nordeste	Sudoeste	Nordeste	7,97	1,71
8	8,2	6,3	14,4	Nordeste	Sudoeste	Nordeste	7,85	1,59
9	8,2	6,6	13,9	Nordeste	Nordeste	Nordeste	8,11	1,61
10	8,2	6,6	14,9	Nordeste	Sudoeste	Nordeste	8,33	1,6
11	7,6	6,6	15,4	Nordeste	Nordeste	Nordeste	7,71	1,56
12	7,8	6,8	15,2	Nordeste	Nordeste	Nordeste	7,92	1,55

Tabela 5: Caracterização do regime de ventos no parque eólico 2

Da análise dos padrões diários do vento no parque eólico das 2, identifica-se uma maior intensidade média do vento no período de Inverno, com uma velocidade média de 8,2 m/s, enquanto no período de Verão esta fica-se pelos 6,4 m/s.

É também evidente um padrão diário caracterizado pela diminuição da intensidade do vento ao fim da manhã, mais vincado no período de Verão, havendo também alguns aerogeradores onde o mesmo também se verifica de forma acentuada no período de Inverno. Este padrão pode ser justificado, por tratar-se, tanto dos períodos do ano como das horas do dia em que ocorre uma maior irradiação solar, onde os efeitos locais que são potenciados, pela diferente capacidade de absorção térmica da terra e do mar, originando as brisas marítimas e pelo efeito de redução da intensidade do escoamento que a estratificação térmica induz do topo das montanhas.

Através das rosas-dos-ventos nota-se a maior predominância do vento do quadrante Nordeste, embora a sua maior intensidade média ocorra tanto do quadrante Nordeste como de Sudoeste. É possível verificar uma maior incidência do quadrante Sudoeste nos meses de Outubro e Dezembro, e uma rotação a Norte para Nordeste, durante os restantes meses do período de Inverno.

A intensidade de turbulência nos aerogerador do parque eólico 2, para velocidades do vento na gama dos 15 m/s, foi em média de 18,5 %.

3.3 - Padrões Diários Médios da Produção

Através do sistema SCADA da empresa, foi possível recolher dados da produção por cada um dos aerogeradores dos parques eólicos 1 e 2, com valores em intervalos de dez minutos, para o período de estudo. Os dados foram compilados por meses e por duas épocas do ano, Inverno e Verão.

Parque Eólico 1

Na figura 7 e 8 mostram-se os gráficos dos padrões diários das duas épocas, Inverno e Verão. Da sua análise é notória uma variação da produção entre aerogeradores na época de Inverno e uma aproximada coincidência no Verão, e um padrão extremamente vincado no período de Verão, caracterizado por uma diminuição da produção entre as 10 e as 20 horas. No inverno a produção apresenta um padrão irregular, podendo dizer-se que é aproximadamente constante ao longo de todo o dia.

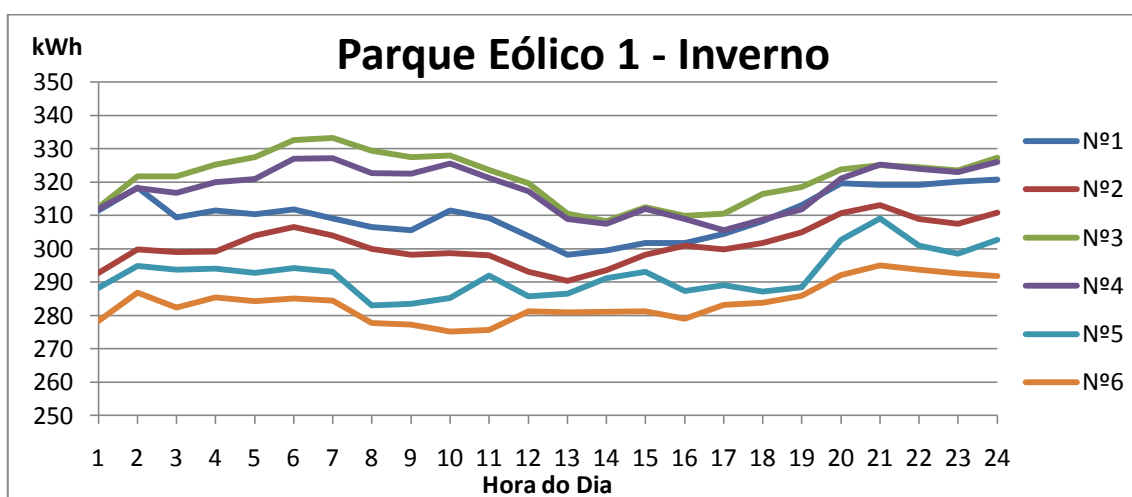


Figura 9: Padrão diário do parque eólico 1 na época de Inverno

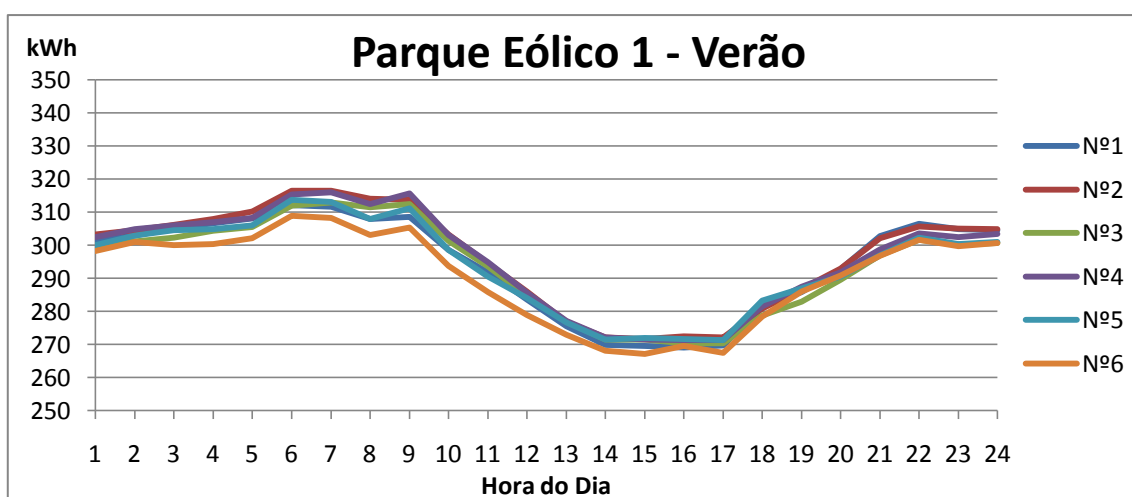


Figura 10: Padrão diário do parque eólico 1 na época de Verão

A variação da produção entre cada aerogerador, no período de Inverno, é justificada pela inconstância da direcção do escoamento neste período, que oscila entre o quadrante Sudoeste e metade superior da rosa-dos-ventos. A proximidade a Sul do parque, com a encosta de relevo complexo induz no escoamento, quando este sopra do quadrante Sudoeste, um comportamento turbulento, afectando cada aerogerador de forma particular, é também possível que os aerogeradores, devido ao seu alinhamento Este-Oeste, fiquem a trabalhar na esteira do antecessor, quando o vento sopra de Oeste.

Durante o período de Verão, a produção por parte de cada aerogerador é muito semelhante, o que é justificado pela predominância do vento do quadrante Nordeste, onde o escoamento encontra todo o planalto do Paul da Serra, antes de atingir os aerogeradores, tornando-se completamente desenvolvido e uniforme. Durante este período é também de notar um padrão diário, caracterizado por uma diminuição acentuada da potência emitida durante as horas de maior irradiação solar, já justificado anteriormente.

Parque Eólico 2

Na figura 9 e 10, mostram-se os gráficos dos padrões diários das duas épocas, Inverno e Verão, respectivamente, do parque eólico 2. Da sua análise, é notória uma variação da produção entre aerogeradores na época de Inverno e uma coincidência no Verão. É também visível um padrão vincado no Verão, caracterizado por uma diminuição da potência emitida ao fim da manhã. No Inverno a produção apresenta um padrão irregular, podendo dizer-se que é aproximadamente constante ao longo de todo o dia.

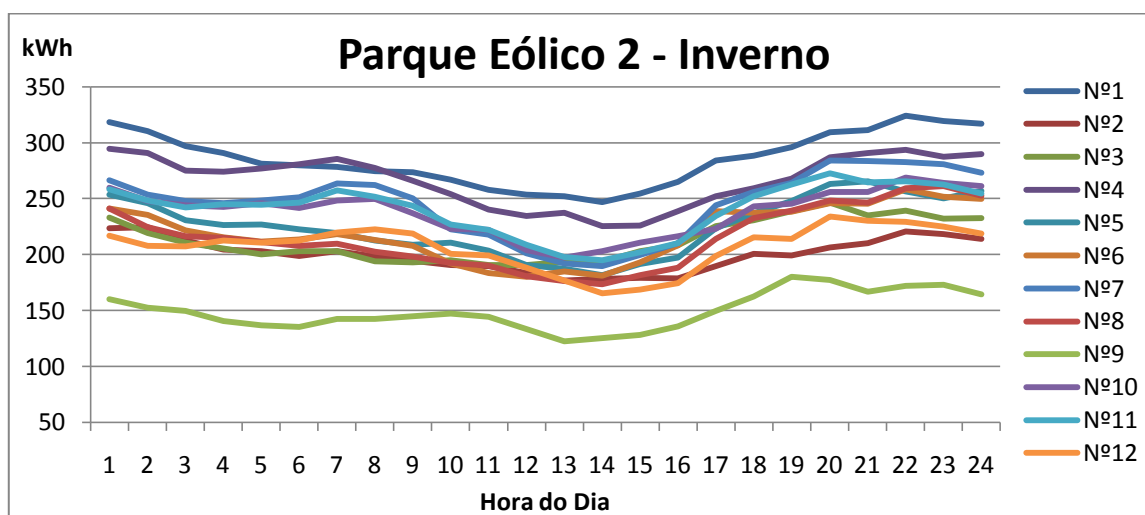


Figura 11: Padrão diário do parque eólico 2 na época de Inverno

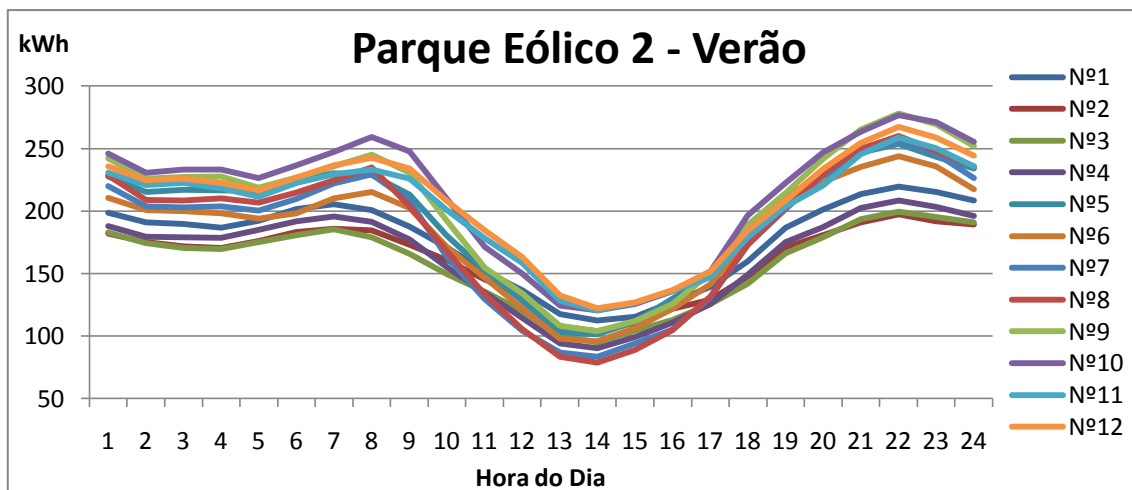


Figura 12: Padrão diário do parque eólico 2 na época de Verão

Durante o período de Inverno, a acentuada diferença tanto do padrão como da produção por parte de cada aerogerador, é justificada pela inconstância do regime de ventos, que oscila entre o quadrante Sudoeste e a metade superior da rosa-dos-ventos. Tendo este parque uma geometria complexa e extensa, a sua proximidade a Norte, Este e a Sul, com as encostas que delimitam o planalto do Paul da Serra, bem como a existência de algum relevo complexo a poente, induzem alguma turbulência no escoamento, e provocam uma afectação diferenciada em cada aerogerador. Também o efeito esteira provocado pelo aerogerador a montante poderá estar a penalizar o funcionamento dos aerogeradores Nº3 e Nº9, quando o vento sopra do quadrante Noroeste.

O padrão da produção no período de Verão é idêntico ao já salientado e justificado no regime de ventos, sendo de referir que a diferente produção por parte de cada aerogerador é justificada pela predominância do vento do quadrante Nordeste neste período, onde o escoamento encontra a montante do parque, a encosta acentuada e complexa que delimita o planalto, afectando cada aerogerador de diferente forma e provavelmente alguns efeitos de esteira provocados por aerogerador alinhados com a direcção do vento, embora com uma distância significativa.

3.4 - Dados Horários do Funcionamento dos Aerogeradores

Horas [h]	PARQUE EÓLICO 1					
	AEROGERADOR					
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6
Manutenção	3	12	60	361	17	73
Vento [3-25 m/s]	5244	6284	6151	6136	6093	5937
Disponibilidade da Rede	7327	8665	8646	8338	8624	8415
Em Serviço	7114	8405	8430	8110	8237	7740

Tabela 6: Dados horários do funcionamento do parque eólico 1

Horas [h]	PARQUE EÓLICO 2											
	AEROGERADOR											
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8	Nº9	Nº10	Nº11	Nº12
Manutenção	15	32	24	75	32	25	86	28	76	523	18	249
Vento [3-25 m/s]	6652	6007	6155	6531	6730	6712	6253	5942	4807	6097	6028	6102
Disponibilidade da Rede	8685	8061	8183	8600	8573	8580	8561	8599	6552	7992	8417	8321
Em Serviço	8518	7723	7981	8444	8105	8009	8331	8152	5733	7921	8290	8050

Tabela 7: Dados horários do funcionamento do parque eólico 2

Através das tabelas 6 e 7 é possível identificar a existência de um elevado número de horas em manutenção no aerogerador Nº4 do parque eólico 1 e nos aerogeradores Nº10 e Nº12 do parque eólico 2. Embora a origem da necessidade destas manutenções não tenham sido apuradas, não existindo nada que indique a existência de avarias graves nos aerogeradores, assim esta informação só será tida em consideração do ponto de vista da sua influência no total da produção.

A diferença dos valores das horas de disponibilidade da rede para cada aerogerador é justificada, pela existência de limitações da potência dos aerogeradores, efectuadas automaticamente pelos sistemas de controlo dos aerogeradores e pelo centro de controlo e gestão da rede eléctrica, de forma a garantir o correcto funcionamento da mesma. Estas limitações são efectuadas atribuindo-se um limite à produção de cada parque, e o sistema encarrega-se de atribuir a cada aerogerador um valor, resultando na maior parte das vezes um valor diferente para cada.

3.5 - Produção dos Parques Eólicos

Através do sistema *SCADA* da Vestas, foi possível recolher dados da produção de cada um dos aerogeradores dos parques eólicos, 1 e 2, com valores em intervalos de dez minutos, para o período de estudo.

Parque Eólico 1

Nas figuras 11 e 12, mostram-se os gráficos das produções no parque eólico 1, nas duas épocas, Inverno e Verão, respectivamente. Na figura 13, é apresentada a produção do total do período de estudo. Da sua análise é visível uma produção diferente de cada aerogerador, na época de Inverno, sendo inferior nos aerogeradores Nº 4 e Nº 6. Na época de Verão as produções são mais uniformes, sendo ligeiramente inferior nos aerogeradores Nº 5 e Nº 6. Embora as produções no período de Inverno sejam inferiores às de Verão, não se pode concluir que a época de Verão seja mais energética, visto esta conter sete meses, enquanto a de Inverno só contém cinco.

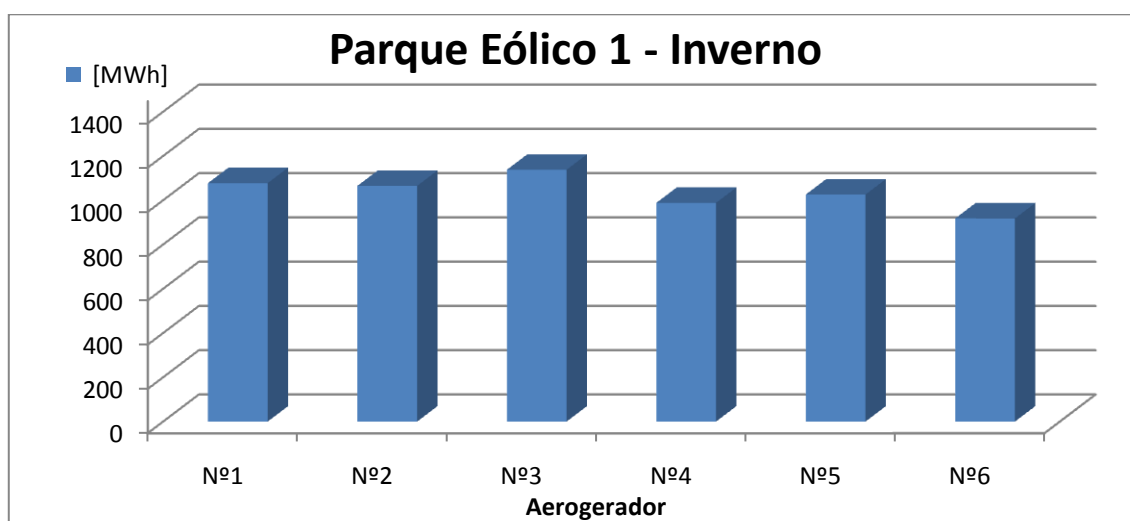


Figura 13: Produção do parque 1 na época de Inverno

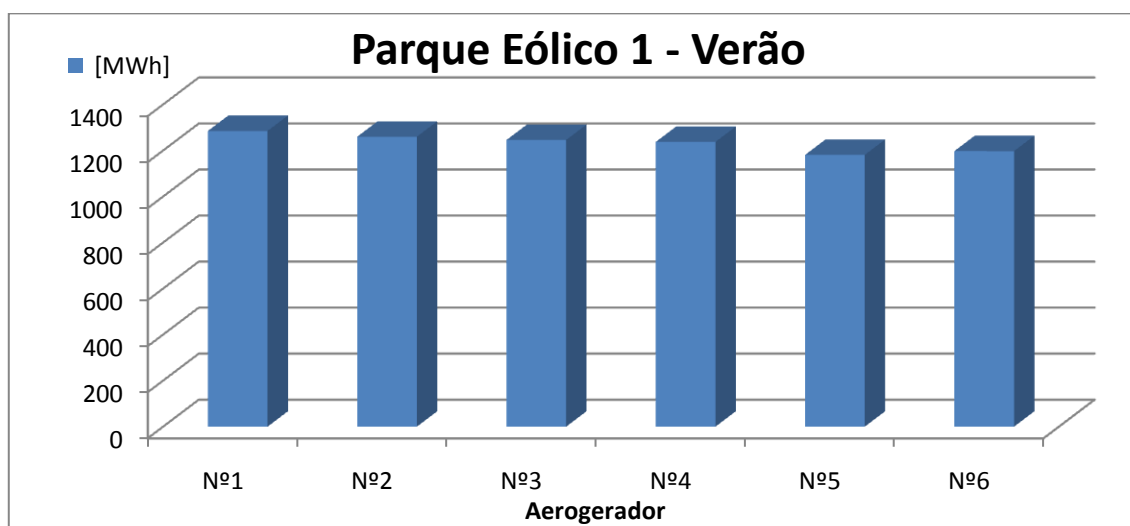


Figura 14: Produção do parque 1 na época de Verão

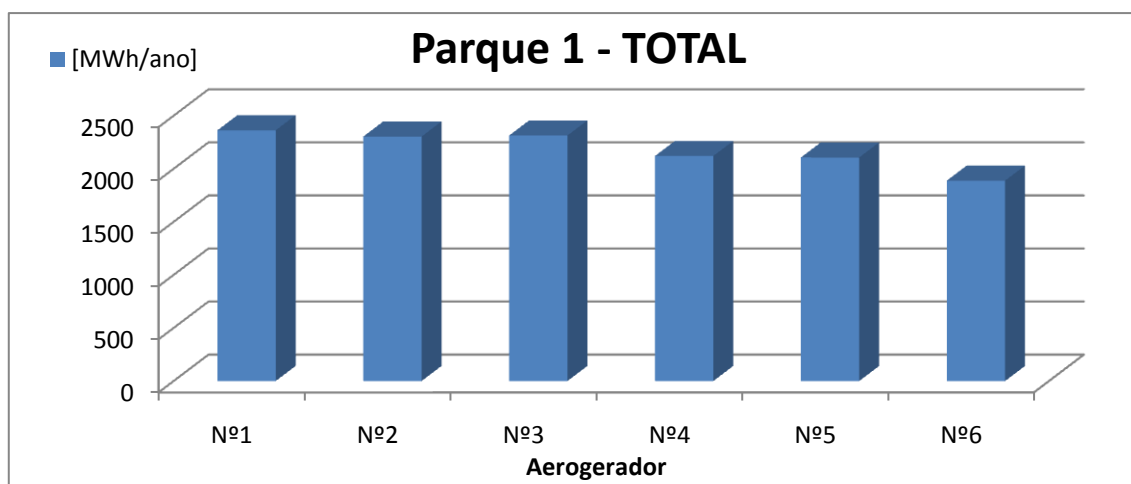


Figura 15: Produção do parque eólico 1

Parque Eólico 1							
Aerogeradores	Vestas V52 - 850 [kW]						
Nº	1	2	3	4	5	6	TOTAL
	PRODUÇÃO [MWh]						
Inverno	1077,5	1033,1	1071,7	876,2	927,5	709,3	5695
Verão	1285	1270,3	1241,7	1244,5	1179	1178,9	7399,2
Total	2362,5	2303,4	2313,4	2120,7	2106,5	1888,2	13094,2

Tabela 8: Produção do parque eólico 1

Da análise da figura 13 e da tabela 8, das produções no parque eólico 1, é visível a inferior produção dos aerogeradores Nº4, Nº5 e Nº6, comparativamente com os restantes.

O aerogerador Nº4 apresenta uma produção ligeiramente inferior aos primeiros, esta deve-se à baixa contribuição dos meses de Dezembro e Janeiro para a produção anual. A baixa contribuição nestes meses é justificada, pelos grandes números de horas em manutenção, principalmente durante o mês de Janeiro, indicando a existência neste período de alguma avaria, que obrigou a intervenções demoradas para a sua reparação.

O aerogerador Nº5, nos meses de Fevereiro, Abril e Maio, teve uma produção ligeiramente inferior aos restantes. A inferior produção é visível também na tabela 6, onde as suas horas de serviço são inferiores aos restantes, justificadas por um inferior número de horas de recurso eólico favorável.

O aerogerador Nº6 é o que mais se destaca, sendo a sua inferior produção resultado da baixa contribuição dos meses de Dezembro e Janeiro Fevereiro e Março, para a produção anual. Durante os referidos meses, através da tabela 6, é visível o número inferior de horas de recurso eólico favorável. A inferior produção, resultado de um baixo recurso eólico, é justificada pelo vento ter sido predominantemente do quadrante Sudeste, onde o escoamento encontra a montante do parque a encosta com declive acentuado que delimita o parque na sua vertente Sul. Concluindo-se que, quando o vento tem predominância do quadrante sudeste este aerogerador, não recebe tanto recurso eólico como os restantes.

Parque Eólico 2

Na figura 14 e 15, mostram-se os gráficos das produções no Parque Eólico 2, nas duas épocas, Inverno e Verão, respectivamente. Na figura 16, é apresentada a produção do total do período de estudo. Da sua análise é visível uma produção diferente de cada aerogerador, na época de Inverno, sendo inferior nos aerogeradores N°2 N°3 e N°9. Na época de Verão as produções são mais uniformes, sendo ligeiramente inferior nos primeiros aerogeradores. Embora as produções no período de Inverno sejam quase sempre inferiores às de Verão, não se pode concluir que a época de Verão seja mais energética, visto esta conter sete meses, enquanto a de Inverno só contém cinco.

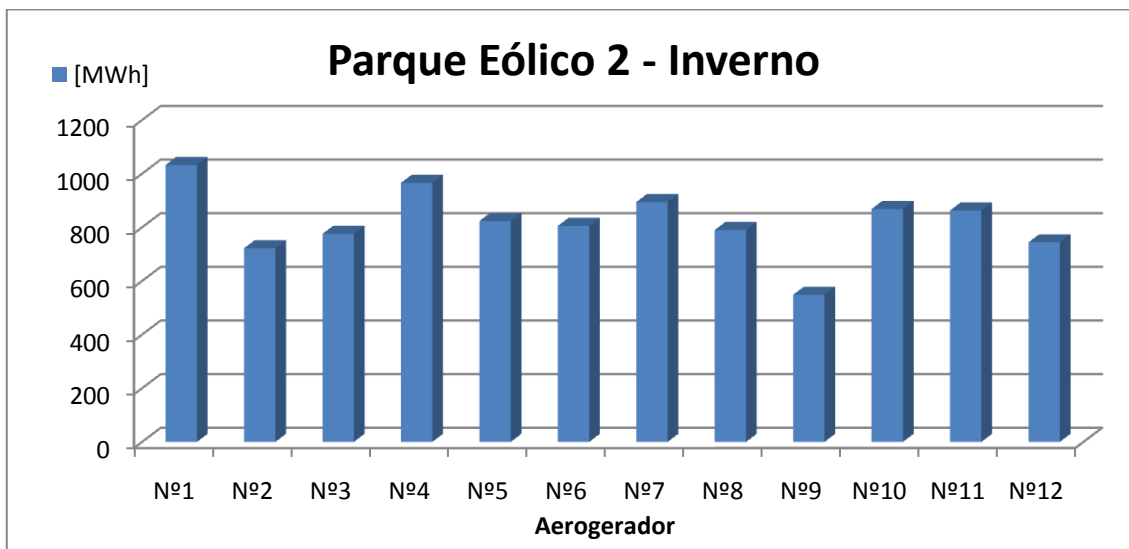


Figura 16: Produção do parque 2 na época de Inverno

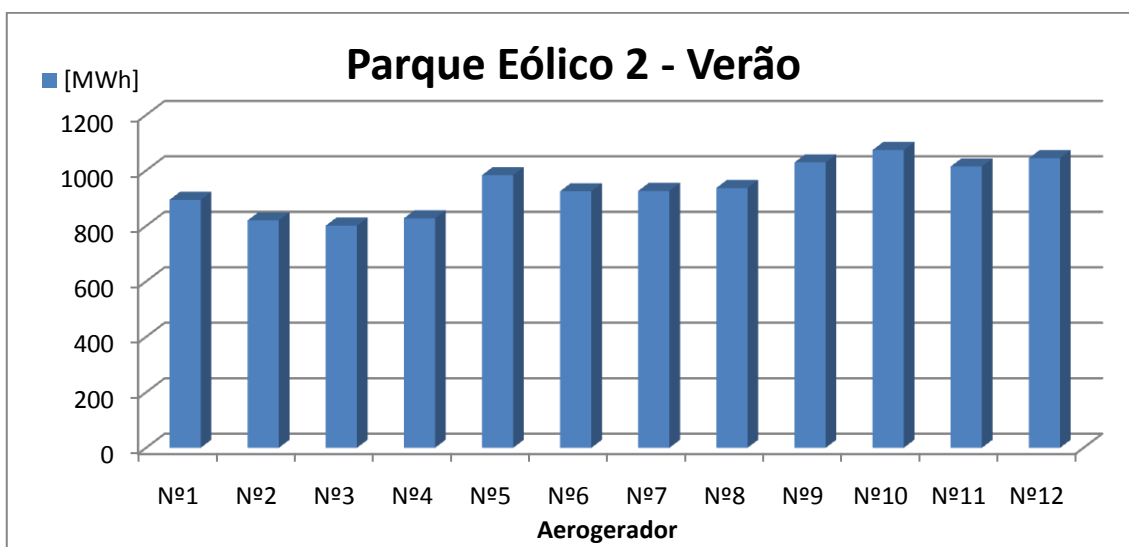


Figura 17: Produção do parque 2 na época de Verão

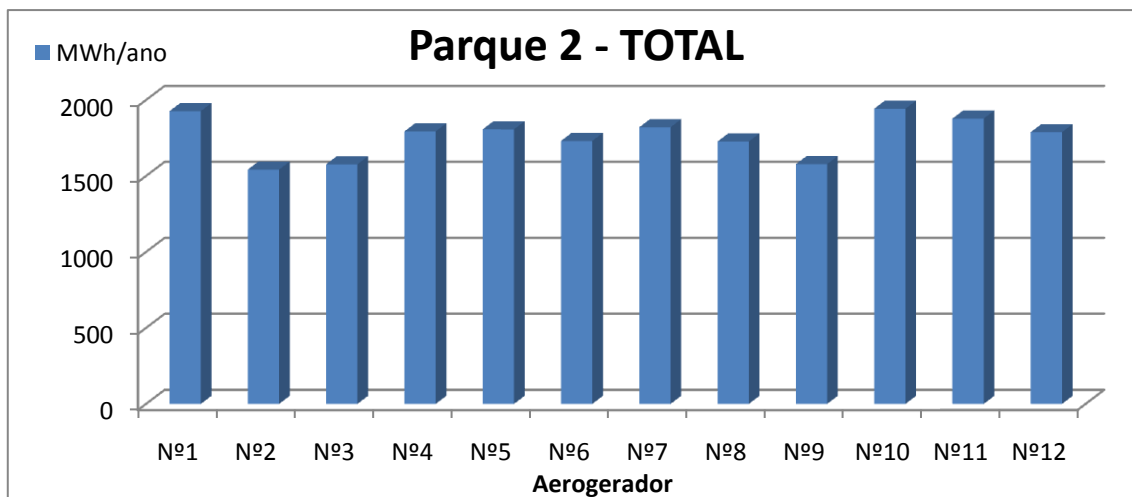


Figura 18: Produção do parque eólico 2

Parque Eólico 2													
Aerogeradores	Vestas V52 - 850 [kW]												
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
	PRODUÇÃO [MWh]												
Inverno	1032	721	775	966	824	805	895	790	547	869	864	744	9832
Verão	938	871	852	868	1011	958	944	934	1016	1063	1023	1048	11528
Total	1970	1592	1627	1834	1835	1763	1839	1724	1563	1932	1887	1792	21360

Tabela 9: Produção do parque eólico 2

Da análise da figura 16, e da tabela 9, identifica-se a inferior produção por parte dos aerogeradores N°2, N°3 e N°9, no período em análise, comparativamente com os restantes aerogeradores.

O aerogerador N°2, apresenta nos meses de Janeiro Fevereiro e Março, uma produção inferior, nomeadamente ao aerogerador N°1. Embora tenham existido algumas horas de manutenção durante o mês de Janeiro, as mesmas não justificam tais desvios. Através da tabela 7, verifica-se que sensivelmente nos mesmos meses as horas em serviço são também inferior ao esperado, o que justifica a falta de produção.

O aerogerador N°3, apresenta nos meses de Fevereiro e Março, uma baixa produção, consequência do baixo recurso eólico.

O aerogerador N°9, nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, teve uma produção abaixo do esperado. As horas em serviço no mesmo período foram também baixas, principalmente no mês de Dezembro e a existência de alguma manutenção durante o mês de Janeiro, indica a existência de alguma anomalia e sua reparação.

O aerogerador N°10, apresenta um grande número de horas em manutenção nos meses de Fevereiro e Março, e mesmo assim é aquele que mais produziu durante o período em análise.

3.6 - Curvas de Potência

Tendo como objectivo verificar o funcionamento de cada aerogerador, validando-o com as características disponibilizadas pelo fabricante, foram construídas as curvas de potência com valores de ocorrência máxima e média de cada aerogerador, recorrendo aos valores da velocidade do vento e da produção.

Aerogerador Vestas V52

O Aerogerador V52 da Vestas, possui um rotor com 52 m de diâmetro, o que equivale a uma área de varrimento de 2124 m². Opera no intervalo compreendido entre as 14,0 e as 31,4 rpm, sendo a sua rotação nominal de 26 rpm. Possui três pás, com um sistema de regulação de potência do tipo “Pitch” e regulador de velocidade de rotação. Entra em funcionamento para velocidades de vento superiores a 4 m/s, e sai de funcionamento para ventos superiores a 25 m/s, atinge a sua potência nominal para velocidades de vento a partir dos 12 m/s. Na figura 17, mostra-se a curva de potência disponibilizada pelo fabricante.

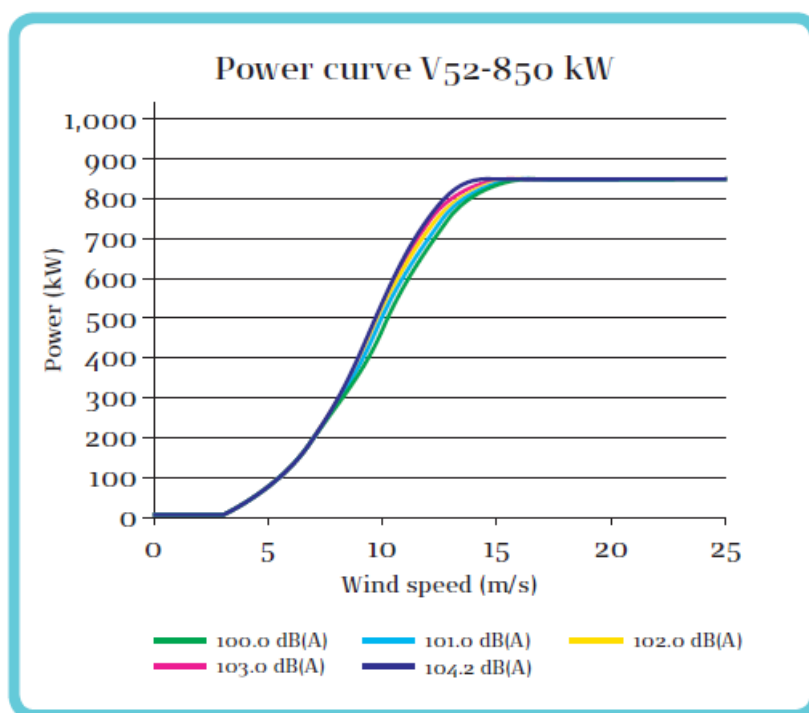


Figura 19: Curva de potência do aerogerador Vestas V52

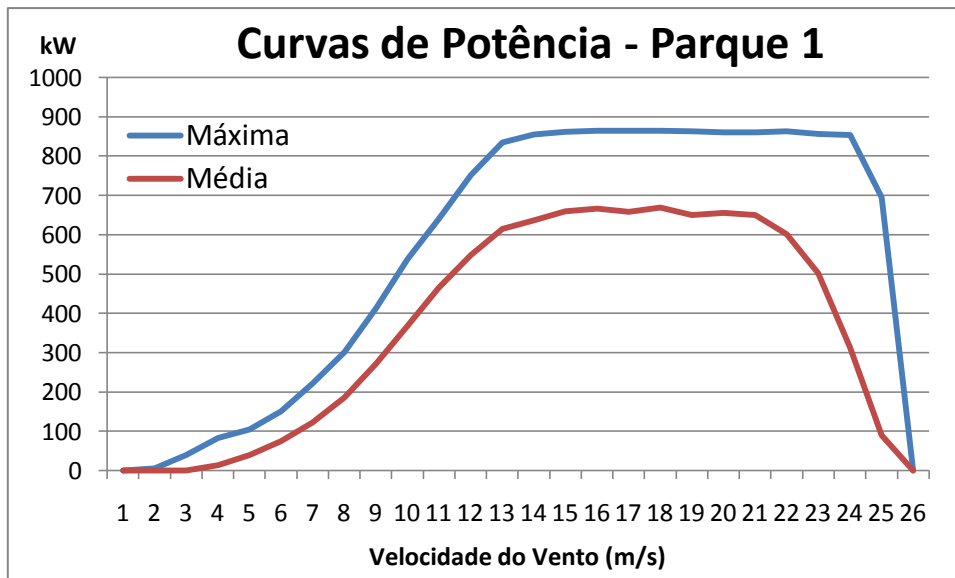


Figura 20: Curvas de potência dos aerogeradores do parque eólico 1

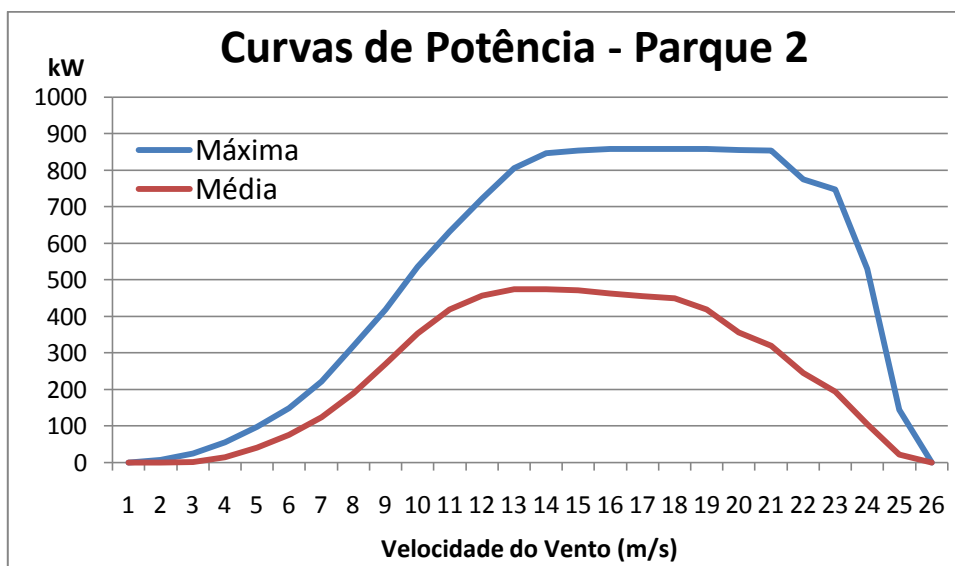


Figura 21: Curvas de potência dos aerogeradores do parque eólico 2

Da análise das curvas de potência verifica-se uma grande coincidência da curva de valores máximos com a curva do fabricante, e uma curva de valores médios muito abaixo da potência unitária do aerogerador. A justificação para estes desvios é a existência de limitações da potência dos aerogeradores pelo sistema de controlo das máquinas em períodos com intensidades de turbulência elevadas, e por parte do centro de controlo e gestão da rede eléctrica, imprescindíveis ao bom funcionamento da rede garantido a sua estabilidade nos períodos de vazio e por vezes na falta de disponibilidade nas linhas de transporte. No caso do parque eólico 2 este desvio é mais acentuado, consequência da falta de disponibilidade nas linhas de transporte, verificada durante o período de estudo, e de limitações mais severa.

3.7 - Limitação da Potência dos Parques Eólicos

A limitação da potência dos Parques eólicos provoca uma diminuição da sua produção. É efectuada de forma automática pelo sistema de controlo dos aerogeradores, em casos de alarmes das máquinas relacionados, entre outros por intensidades de turbulências elevadas, ou através do centro de despacho e gestão da rede eléctrica e centrais electroprodutoras, com o intuito de garantir o correcto funcionamento da rede em situações onde existam componentes renováveis elevadas, como é o caso da existência de uma elevada componente hídrica, em períodos de vazio em que a carga é baixa e a necessidade de garantir uma reserva girante térmica a produção ultrapassa a carga, e em períodos de manutenção.

De forma a quantificar as limitações efectuadas foi possível reunir informação referente aos períodos em que a potência dos aerogeradores esteve limitada, devido a natureza dos dados não é possível quantificar cada tipo de limitação em separado pelo que estas foram abordadas na sua globalidade.

Parque Eólico 1

Parque 1	INVERNO			VERÃO			
	Produção (MWh)	Limitação (MWh)	%	Produção (MWh)	Limitação (MWh)	%	
Aerogerador	Nº1	1077,4	125,9	11,7	1285,1	53,0	4,1
	Nº2	1033,1	216,7	20,9	1270,3	66,7	5,3
	Nº3	1071,7	152,6	14,2	1241,7	48,8	3,9
	Nº4	876,2	263,9	30,1	1244,3	42,7	3,4
	Nº5	927,5	186,8	20,1	1178,9	36,1	3,1
	Nº6	709,3	217,4	30,6	1178,8	43,9	3,7
TOTAL	(GWh)	5,7	1,2	20,4	7,4	0,29	3,9

Tabela 10: Limitações de potência no parque eólico 1 (Inverno/Verão)

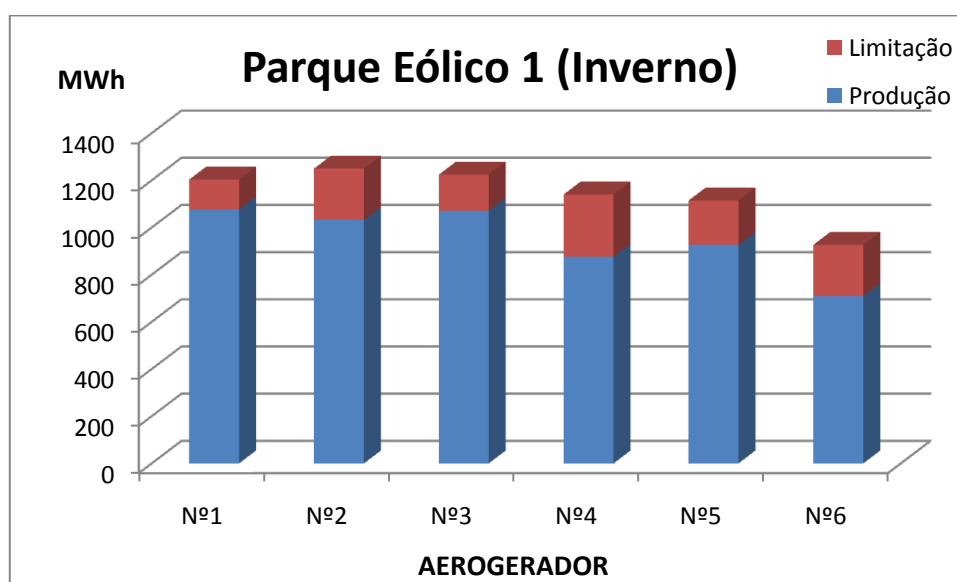


Figura 22: Limitações de potência no parque eólico 1 (Inverno)

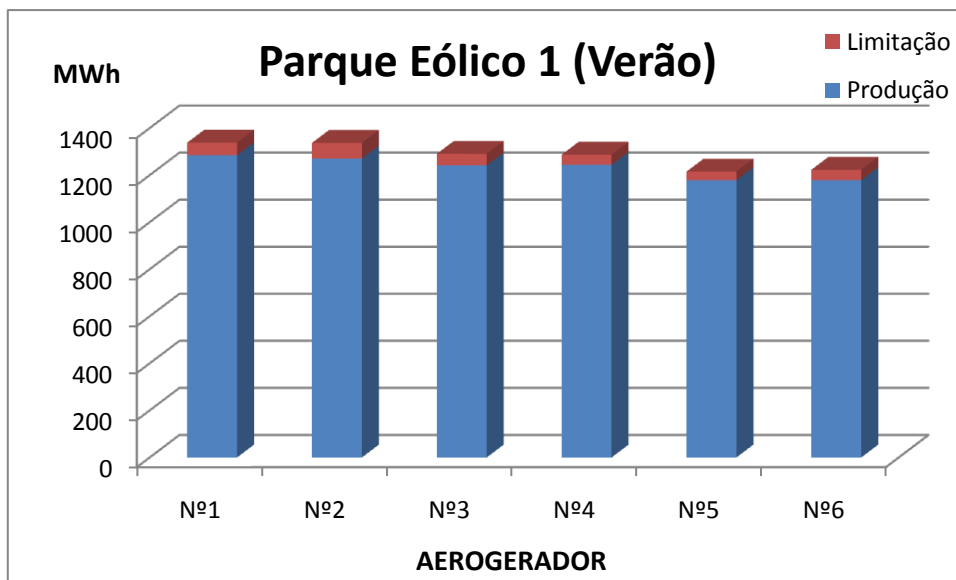


Figura 23: Limitações de potência no parque eólico 1 (Verão)

Parque 1		TOTAL			
		Produção (MWh)	Limitação (MWh)	%	Total (MWh)
Aerogerador	Nº1	2362,4	179,0	7,6	2541,4
	Nº2	2303,4	283,4	12,3	2586,8
	Nº3	2313,4	201,4	8,7	2514,8
	Nº4	2120,6	306,7	14,5	2427,3
	Nº5	2106,4	222,9	10,6	2329,4
	Nº6	1888,1	261,3	13,8	2149,4
TOTAL	GWh	13,1	1,45	11,1	14,55

Tabela 11: Limitações da potência no parque eólico 1 (Total)

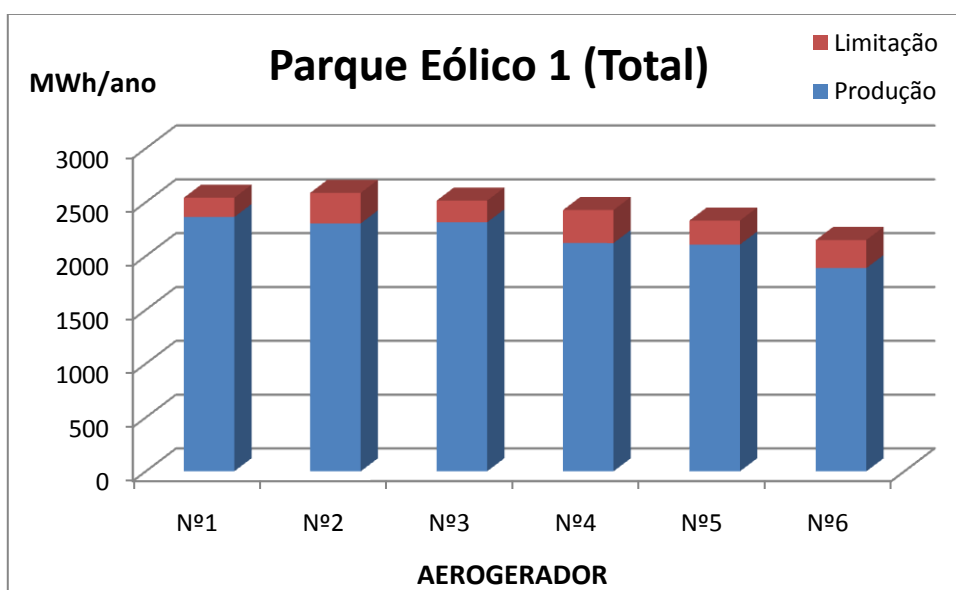


Figura 24: Limitações de potência no parque eólico 1 (Total)

Da análise das limitações podemos concluir que estas são mais severas no período de Inverno, isto deve-se ao maior número de ocorrências de limitações automáticas do sistema de controlo dos aerogeradores, devido a ocorrências de ventos com intensidades de turbulência elevadas, característicos deste período no ano em que o vento tem predominância do quadrante Sudeste, onde o escoamento atmosférico encontra a montante dos aerogeradores as pendentes acentuadas da encosta que delimita o parque eólico 1 na sua vertente a Sul. Durante o período de Inverno, o maior índice de precipitação leva a que exista uma maior componente hídrica resultando também num maior número de ocorrência de limitações programadas, tendo em vista o correcto funcionamento da rede eléctrica, uma vez que estas duas fontes de energia renovável concorrem para a produção no sistema electroprodutor com os limites inerentes a sua utilização.

Parque Eólico 2

Parque 2		INVERNO			VERÃO		
		Produção (MWh)	Limitação (MWh)	%	Produção (MWh)	Limitação (MWh)	%
Aerogerador	Nº1	1032,4	218,2	21,1	894,3	28,6	3,2
	Nº2	722,0	231,6	32,1	820,1	26,6	3,2
	Nº3	775,6	214,8	27,7	801,2	27,8	3,5
	Nº4	965,8	218,8	22,7	827,4	24,9	3,0
	Nº5	823,5	359,8	43,7	983,3	47,7	4,9
	Nº6	805,3	358,5	44,5	925,3	56,1	6,1
	Nº7	894,1	251,4	28,1	926,5	93,0	10,0
	Nº8	789,8	246,6	31,2	937,1	118,0	12,6
	Nº9	548,4	360,5	65,7	1029,3	131,6	12,8
	Nº10	868,4	304,6	35,1	1073,9	129,2	12,0
	Nº11	863,0	155,0	18,0	1014,5	92,4	9,1
	Nº12	744,0	229,4	30,8	1044,3	114,0	10,9
TOTAL	(GWh)	9,8	3,1	32,0	11,3	0,89	7,9

Tabela 12: Limitações da potência no parque eólico 2 (Inverno/Verão)

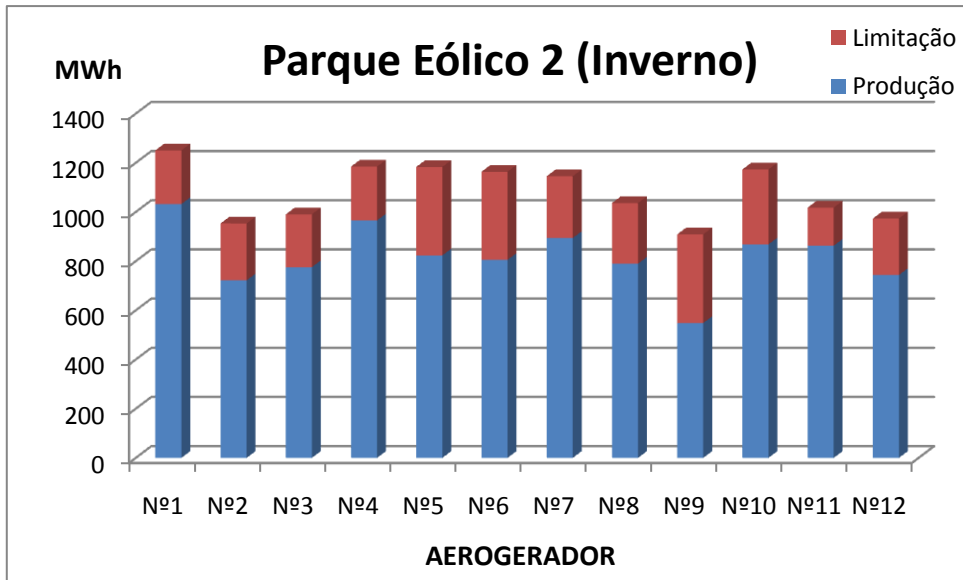


Figura 25: Limitações de potência no parque eólico 2 (Inverno)

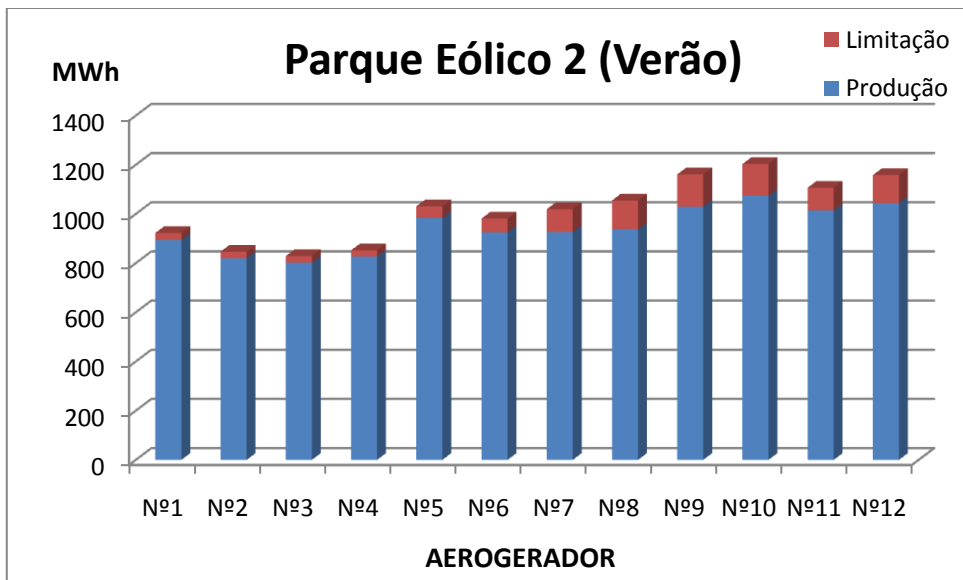


Figura 26: Limitações da potência no parque eólico 2 (Verão)

Parque 2		TOTAL			
		Produção (MWh)	Limitação (MWh)	%	Total (MWh)
Aerogerador	Nº1	1926,7	246,8	12,8	2173,6
	Nº2	1542,1	258,2	16,7	1800,3
	Nº3	1576,8	242,6	15,4	1819,4
	Nº4	1793,3	243,7	13,6	2037,0
	Nº5	1806,8	407,5	22,6	2214,3
	Nº6	1730,5	414,6	24,0	2145,1
	Nº7	1820,6	344,4	18,9	2165,0
	Nº8	1726,9	364,6	21,1	2091,5
	Nº9	1577,7	492,1	31,2	2069,9
	Nº10	1942,3	433,8	22,3	2376,2
	Nº11	1877,5	247,4	13,2	2124,9
	Nº12	1788,3	343,5	19,2	2131,8
TOTAL	(GWh)	21,1	4,1	19,1	25,2

Tabela 13: Limitações da potência no parque eólico 2 (Total)

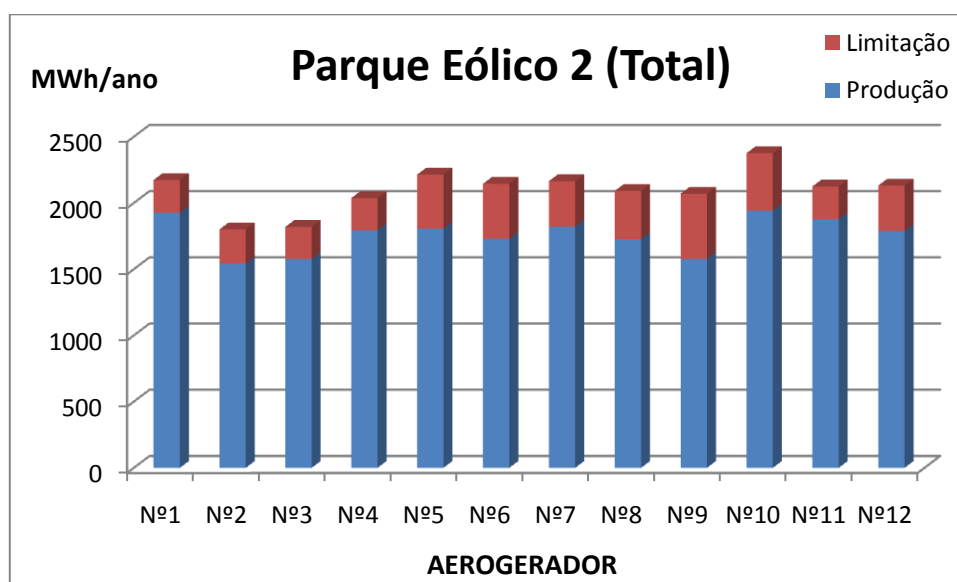


Figura 27: Limitações da potência no parque eólico 2 (Total)

Da análise das limitações no parque eólico 2 podemos concluir que estas são mais severas no período de Inverno, isto deve-se ao maior número de ocorrências de limitações automáticas do sistema de controlo dos aerogeradores, devido a ocorrências de ventos com intensidades de turbulência elevadas, característicos deste período no ano em que o vento tem predominância do quadrante Sudeste. Durante o período de Inverno, o maior índice de precipitação leva a que exista uma maior componente hídrica resultando também num maior número de ocorrência de limitações programadas, tendo em vista o correcto funcionamento da rede eléctrica, uma vez que estas duas fontes de energia renovável concorrem para a produção no sistema electroprodutor com os limites inerentes a sua utilização.

Podemos concluir quanto á ocorrência de limitações da potência dos aerogeradores, que estas são mais severas no período de Inverno, caracterizado por uma maior intensidade média da velocidade do vento e da intensidade de turbulência, com a predominância do vento do quadrante Sudeste. O parque eólico 2 é o mais severamente afectado pelas limitações, com um total de 4 GWh/ano de produção limitada o que corresponde a 19% do total da produção, enquanto o parque eólico 1 tem um total de 1,5 GWh/ano de produção limitada correspondendo a 11 % do total da produção.

3.8 - Comparação da Produção com as Estimativas do Fabricante.

Parque Eólico 1

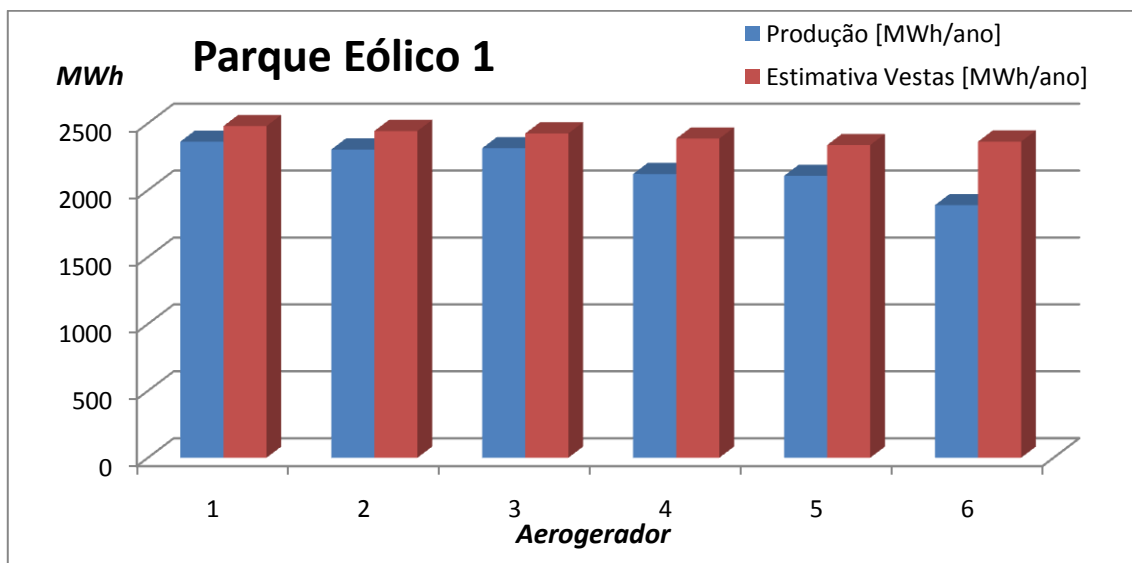


Figura 28: Comparação da produção com as estimativas do parque eólico 1

Parque Eólico 2

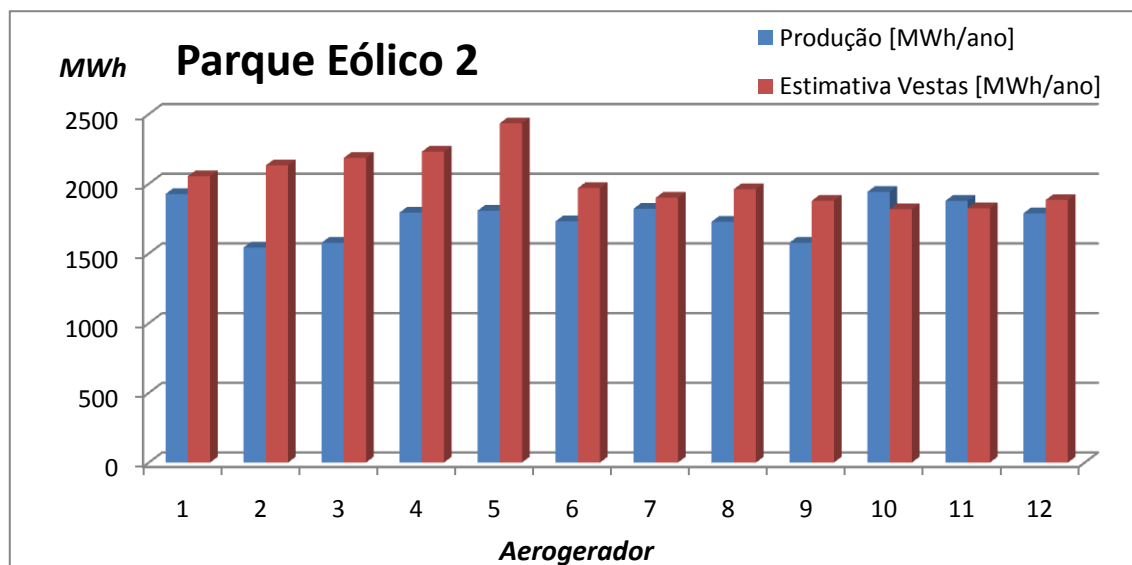


Figura 29: Comparação da produção com as estimativas do parque eólico 2

Parque Eólico 1				Parque Eólico 2			
Aerogerador	Potência Emitida [MWh]	Estimativa Vestas [MWh]	Estimativa INEGI [MWh]	Aerogerador	Potência Emitida [MWh]	Estimativa Vestas [MWh]	Estimativa INEGI [MWh]
1	2362	2479	-	1	1927	2054	-
2	2303	2442	-	2	1542	2132	-
3	2313	2424	-	3	1577	2186	-
4	2121	2385	-	4	1793	2230	-
5	2106	2337	-	5	1807	2434	-
6	1888	2363	-	6	1731	1969	-
Total [GWh]	13,1	14,4	13,9	7	1821	1900	-
HFPC [h]	2568	2829	2725	8	1727	1961	-
				9	1578	1878	-
				10	1942	1817	-
				11	1877	1824	-
				12	1788	1884	-
				Total [GWh]	21,1	24,3	26,1
				HFPC [h]	2070	2379	2560

Tabela 14: Comparação da produção com as estimativas dos parques eólicos 1 e 2

Parque Eólico 1

Comparando as produções de cada aerogerador do parque eólico 1, com as estimativas efectuadas pela Vestas, constata-se que as produções ficaram aquém do esperado. Os aerogeradores N°4, N°5 e N°6, são os que mais se desviam das estimativas, sendo que o aerogerador N°6 é mais significativo, apresentando um desvio de 21% em relação as estimativas. Na sua globalidade o parque eólico 1 não atingiu também as estimativas, com um desvio de 9 %, relativamente as estimativas da Vestas, e de 6 %, relativamente as estimativas do INEGI.

Parque Eólico 2

Da análise da figura 21 e da tabela 10, é possível concluir que as estimativas efectuadas para os cinco primeiros aerogeradores do parque eólico 2, previam uma produção elevada, que não foi verificada, e só o aerogerador N°1 é se aproxima da mesma. Os aerogeradores N°10 e N°11, superaram as estimativas em aproximadamente 6%, mas mesmo assim na sua globalidade o parque não atingiu os valores esperados, com um desvio de 13% relativamente as estimativas da Vestas e de 19 %, relativamente as estimativas do INEGI.

4 - Conclusões

4.1 - Conclusões da análise dos Parques Eólicos 1 e 2

Recurso Eólico

A análise do recurso eólico mostra que embora o vento tenha uma predominância do quadrante Nordeste no planalto do Paul da Serra, durante o período de Inverno verifica-se uma rotação dos ventos a Norte, de Nordeste para Sudoeste, voltando para Nordeste no período de Verão. A maior intensidade média do vento ocorre no Inverno, com uma velocidade média no parque eólico 1 de 8,3 m/s, e de 8,2m/s no parque eólico 2. Durante o período de Verão a velocidade média no parque eólico 1 é de 6,9 m/s, e de 6,4 m/s no parque eólico 2. A intensidade de turbulência, para a gama de velocidades do vento dos 15 m/s, foi de 12,9 % no parque eólico 1, e de 18,5 % no parque eólico 2. Estes valores excedem os esperados, eram esperados 9%, no parque eólico 1 e 13%, no parque eólico 2, segundo o estudo do recurso eólico, (2006, INEGI). Esta diferença pode ser justificada pelo facto dos dados que serviram de base a este trabalho, terem sido recolhidos dos instrumentos de medição de cada aerogerador, localizados no topo da *nacelle*, onde o escoamento atmosférico está sujeito á influência do funcionamento do aerogerador.

Estratificação térmica

É perceptível a existência de um padrão diário no vento e conseqüentemente da produção, caracterizado por uma diminuição da intensidade do vento ao final da manhã, mais vincado no período de Verão. Este padrão pode ser justificado, tratando-se tanto do período do ano como das horas do dia, em que ocorre uma maior irradiação solar, onde os efeitos locais potenciados pela diferente capacidade de absorção térmica da terra e do mar, originam brisas marítimas, e pelo efeito de redução da intensidade do escoamento atmosférico no topo das montanhas que os efeitos da estratificação térmica provocam.

Produções

Parque Eólico 1

O aerogerador Nº 4 durante o período de Inverno teve uma produção inferior ao esperado, conclui-se que a origem deste desvio foi o elevado número de horas em manutenção, 8 horas no mês de Novembro, 38 horas no mês de Dezembro e 305 horas no mês de Janeiro. Nos restantes meses o seu funcionamento foi convincente não apresentando mais nada a acrescentar.

O aerogerador N°5 tem uma produção ligeiramente inferior ao esperado em todo o período em análise, durante o período de Inverno apenas os aerogeradores N° 4 e N° 6 tem uma produção inferior, e no período de Verão a sua produção é idêntica ao N° 6, e inferior aos restantes. Não existindo qualquer outra justificação, conclui-se que a causa da produção inferior tem origem no regime de ventos, onde é possível verificar um inferior recurso eólico.

O aerogerador N° 6 é o que apresenta a menor produção de todo o parque. Este aerogerador esteve em manutenção durante 7 horas em Novembro, 28 horas em Dezembro, 23 horas em Janeiro e 12 horas em Maio, mas isto não justifica a inferior produção, concluindo-se através do recurso eólico que este aerogerador tem um inferior recurso que os restantes, principalmente durante o período de Inverno, quando o escoamento atmosférico tem predominância do quadrante sudoeste.

Os aerogeradores N° 4, 5 e 6 apresentam uma produção inferior ao esperado. No caso do aerogerador N°4 a justificação prende-se com o facto de ter existido muitas horas em manutenção, mas no caso dos N°5 e 6 conclui-se que durante os meses de Inverno existe um inferior recurso eólico. O vento é predominantemente do quadrante Sudoeste onde o escoamento atmosférico encontra a montante do parque uma encosta com uma orografia complexa, que canaliza o recurso de forma particular para cada aerogerador.

Parque Eólico 2

Relativamente ao Parque Eólico 2 identificou-se a produção inferior dos aerogeradores N° 2, 3 e 9 comparativamente com os restantes aerogeradores.

O N° 2 apresenta nos meses de Janeiro Fevereiro e Março, uma potência inferior, nomeadamente ao N° 1. Embora tenham existido algumas horas de manutenção durante o mês de Janeiro, as mesmas não justificam tais desvios na potência. Nestes meses as horas em serviço são também inferiores ao esperado, o que justifica a falta de produção.

O aerogerador N° 3, apresenta nos meses de Fevereiro e Março, uma baixa produção, consequência do baixo recurso eólico. O aerogerador N° 9, nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, teve uma produção abaixo do esperado. As horas em serviço no mesmo período foram também baixas, principalmente no mês de Dezembro e a existência de alguma manutenção durante o mês de Janeiro, indica a existência de alguma anomalia e sua reparação.

O aerogerador N°10 apesar do grande número de horas em manutenção nos meses de Fevereiro e Março, foi aquele que mais produziu.

Comparação das produções com as estimativas de produção

As semelhanças entre os valores das estimativas efectuadas pela VESTAS e pelo INEGI poderão ser justificadas, porque foram efectuadas recorrendo aos mesmos dados e aos mesmos softwares para a mesma localização dos aerogeradores. O software utilizado, WAsP, dispõe de um modelo linear para a simulação do escoamento atmosférico, e sendo conhecida a sua dificuldade em lidar com locais com uma elevada complexidade, a leitura e interpretação dos resultados obtidos carece de uma análise cuidada, que poderá estar na origem da adopção de um coeficiente a aplicar aos resultados.

Parque Eólico 1

Os aerogeradores Nº 4, 5 e 6 são os que mais se desviam das estimativas, em particular o Nº 6 com um desvio de 21 %. Na sua globalidade o parque eólico 1 não atingiu também as estimativas, com um desvio de 9 %, relativamente às estimativas da Vestas, e de 6 %, relativamente as estimativas do INEGI.

Parque Eólico 2

As estimativas para os cinco primeiros aerogeradores do Parque Eólico 2 previam uma produção elevada, que não foi verificada, e só o aerogerador Nº 1 é se aproxima da mesma. Os aerogeradores Nº 10 e 11 superaram as estimativas em aproximadamente 6%, mas mesmo assim na sua globalidade o parque não atingiu os valores esperados, com um desvio de 13% relativamente as estimativas da Vestas e de 19 %, relativamente as estimativas do INEGI.

Limitações da potência dos Parques

Podemos concluir quanto á ocorrência de limitações da potência dos aerogeradores, que estas são mais severas no período de Inverno, caracterizado por uma maior intensidade média da velocidade do vento e da intensidade de turbulência, com a predominância do vento do quadrante Sudeste. O parque eólico 2 é o mais afectado pelas limitações, com um total de 4 GWh/ano de produção limitada o que corresponde a 19 % do total da produção, enquanto o parque eólico 1 tem um total de 1,5 GWh/ano de produção limitada, ou seja 11% do total da produção.

Durante o período de Inverno verifica-se um maior número de ocorrências de limitações automáticas do sistema de controlo dos aerogeradores, no parque eólico 1 justificadas pelo regime de ventos deste período do ano em que o escoamento atmosférico encontra a montante dos aerogeradores as pendentes acentuadas da encosta que o delimita na sua vertente a Sul, originando componentes verticais na velocidade do vento e conseqüentemente aumento na intensidade de turbulência, no parque eólico 2, estando este localizado no extremo a nascente do planalto, encontra-se delimitado a Norte, Este e a Sul pelas encostas de declive acentuado que dão origem a este maciço montanhoso, originado componentes verticais de velocidade do vento e intensidades de turbulência elevadas.

Durante o período de Inverno, o maior índice de precipitação leva a que exista uma maior componente hídrica resultando também num maior número de ocorrência de limitações programadas, tendo em vista o correcto funcionamento da rede eléctrica, uma vez que estas duas fontes de energia renovável concorrem para a produção no sistema electroprodutor com os limites inerentes a sua utilização.

Durante o período de Verão as limitações de potência são menos severas, consequência de um regime de ventos com uma menor intensidade média da sua velocidade, da sua intensidade de turbulência e uma maior consistência do seu rumo do quadrante Nordeste.

5 - Bibliografia

Álvaro Rodrigues, Apontamentos da disciplina de Energias Renováveis. 2010

José Laginha Palma, Fernando Aristides Castro, Luís Frólén Ribeiro. Análise do escoamento atmosférico na região do Caniçal e no Paul da Serra, na lha da Madeira. 2002

Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, INEGI. Estudo das características do vento e do potencial eólico do Caniçal e do Paul da Serra. 2002

Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, INEGI. Estudo de Caracterização do Recurso. 2006

Troen Ib, Petersen, Erik Lundtang. European Wind Atlas. Riso National Laboratory, 1989

J. C. R. Hunt, K. J. Richards, and P. W. M. Brighton. Stably stratified shear flow over low hills. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 114:859-886,1988b.

Erik L. Petersen, Niels G. Mortensen, Lars Landberg, Jorgen Hojstrup and Helmut P. Frank; Department of Wind Energy and Atmospheric Physics, Riso National Laboratory, Denmark, Wind Power Meteorology. Part II: Siting and Models, 1998.

C. Veiga Rodrigues, J.C. Matos, L. T. Paiva and J. M. L. M. Palma, Analysis of the Similarity in Turbulence Intensity and Wind Shear as a Function of the Wind Velocity: Field Measurements and Numerical Results, 2010.

WWW.EEM.pt

6 - Anexos

Anexo A: Produção dos Parques Eólicos

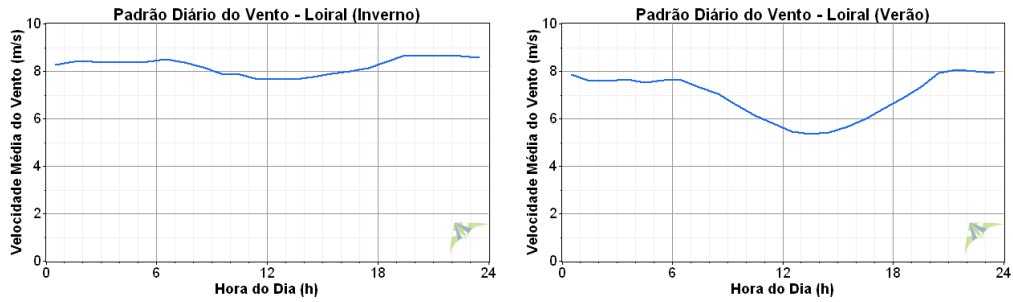
Ano		2009			2010		
Parque Eólico		2	1	Total	2	1	Total
Produção [kWh]	Janeiro	302.823	-	302.823	2.408.846	1.284.616	3.693.462
	Fevereiro	312.443	170.911	483.354	1.797.725	862.457	2.660.182
	Março	181.113	773.008	954.121	1.825.534	974.061	2.799.595
	Abril	818.981	1.614.009	2.432.990	1.626.070	895.068	2.521.138
	Maió	14.084	1.594.120	1.608.204	1.907.781	1.182.695	3.090.476
	Junho	296.894	949.978	1.246.872	1.881.230	1.360.562	3.241.792
	Julho	284.177	544.154	828.331	1.763.584	1.271.186	3.034.770
	Agosto	1.019.175	1.741.195	2.760.370	1.292.773	883.192	2.175.965
	Setembro	1.207.605	1.569.947	2.777.552	1.433.320	978.074	2.411.394
	Outubro	587.297	1.154.882	1.742.179	2.092.739	1.139.273	3.232.012
	Novembro	1.186.345	1.543.570	2.729.915	1.546.685	828.883	2.375.568
	Dezembro	1.192.896	2.184.302	3.377.198	2.625.047	1.260.829	3.885.876
[kWh/ano]	Total	7.403.833	13.840.076	21.243.909	22.201.334	12.920.896	35.122.230
[h]	HEPC	726	2714	-	2534	2177	-

Tabela 15: Produção dos parques eólicos

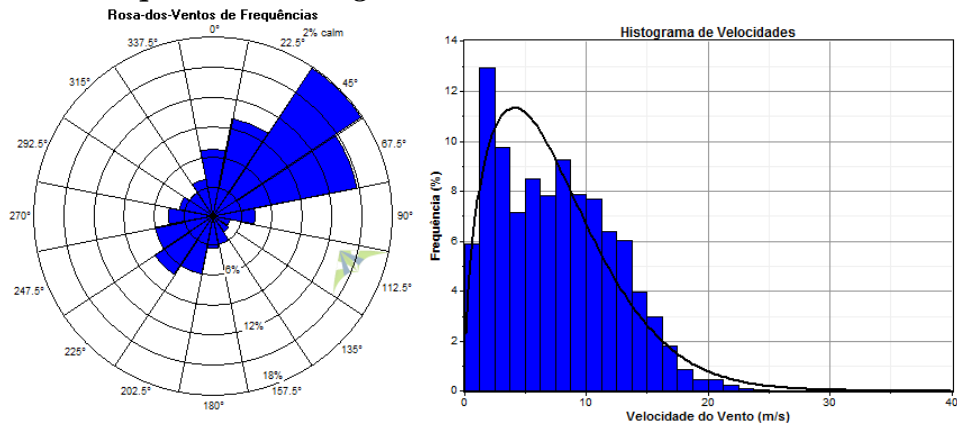
Anexo B: Caracterização do Regime de Ventos

Parque Eólico 1 - Aerogerador N°1

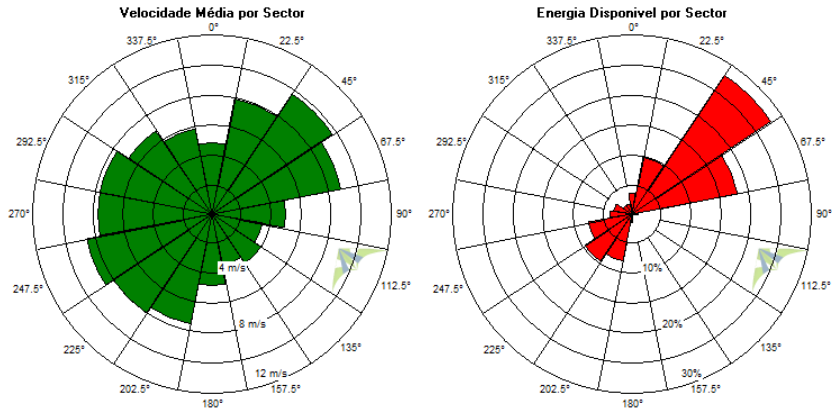
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

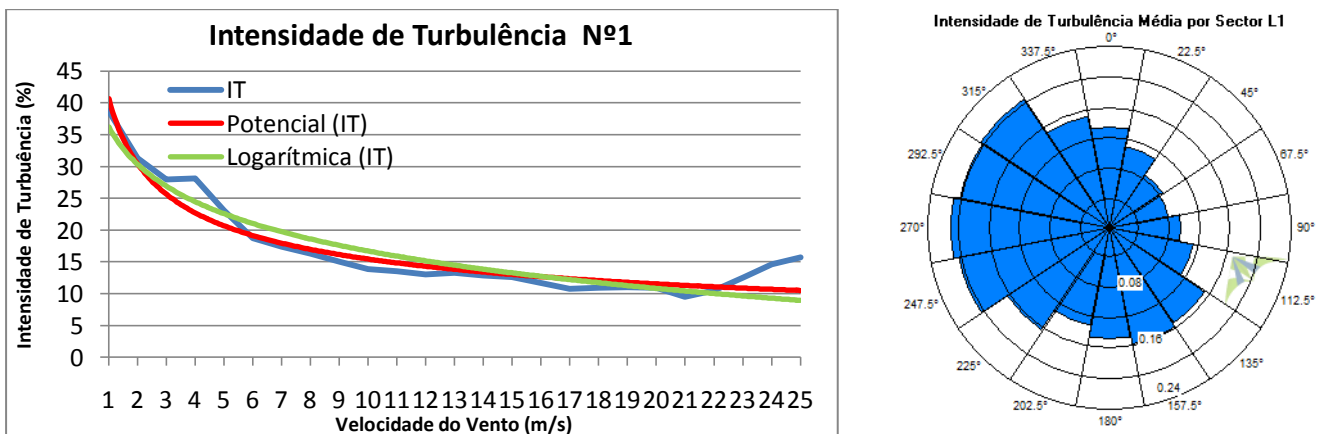
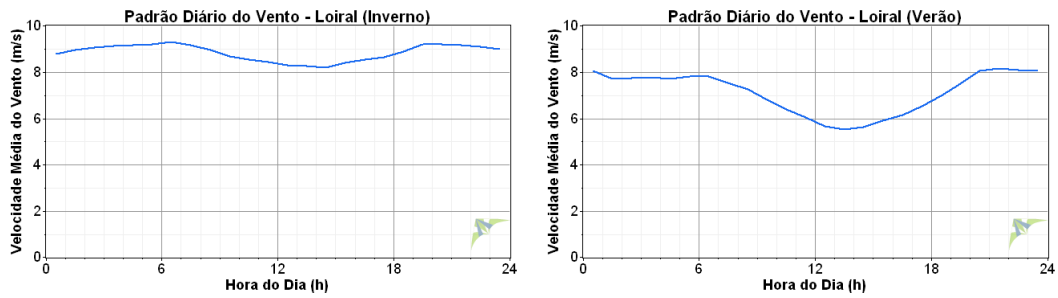


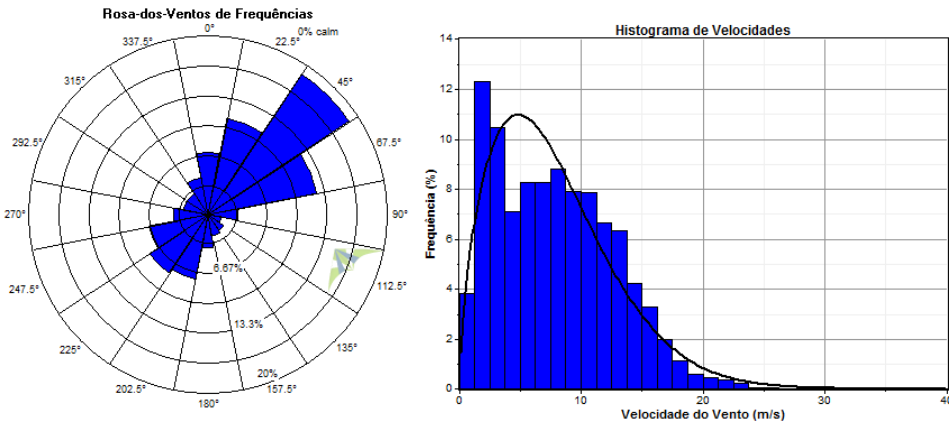
Figura 30: Caracterização do recurso eólico do aerogerador N°1

Parque Eólico 1 - Aerogerador N°2

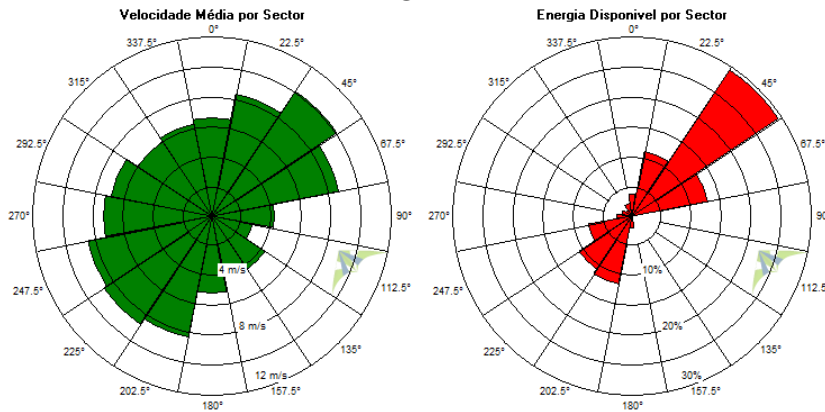
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

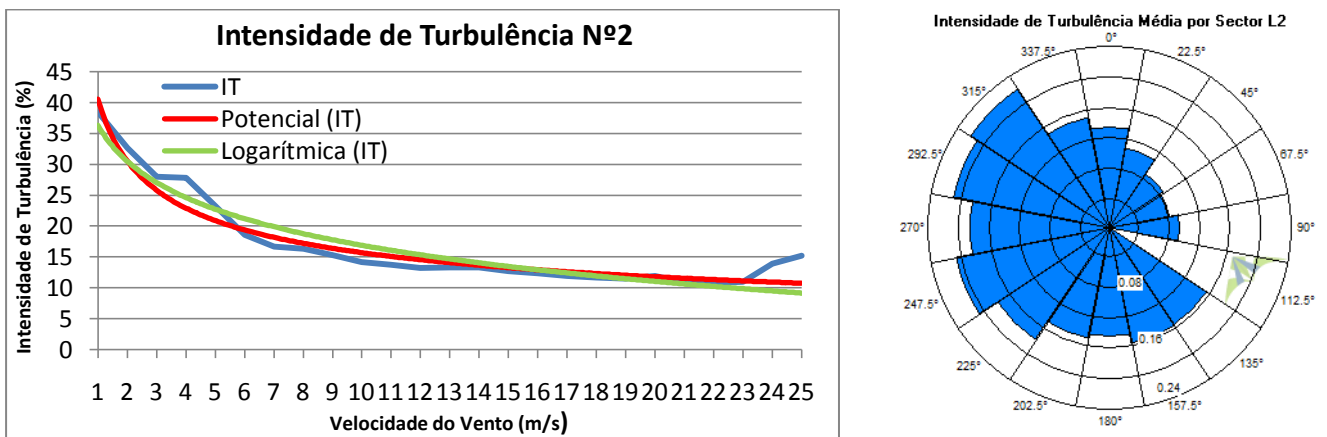
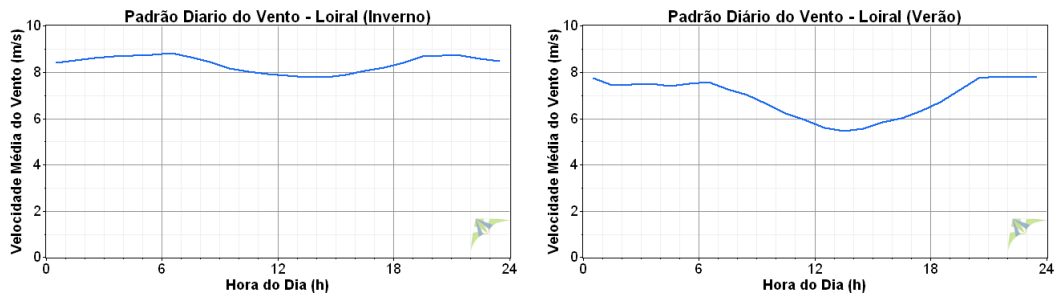


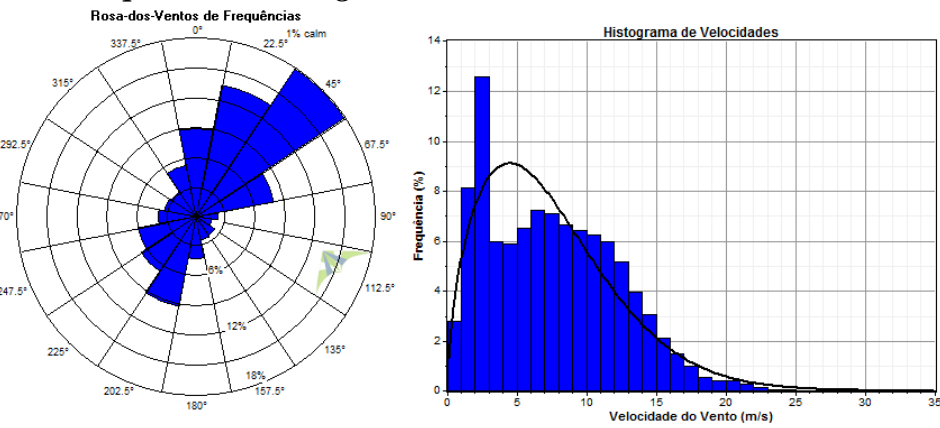
Figura 31: Caracterização do recurso eólico do aerogerador N°2

Parque Eólico 1 - Aerogerador N°3

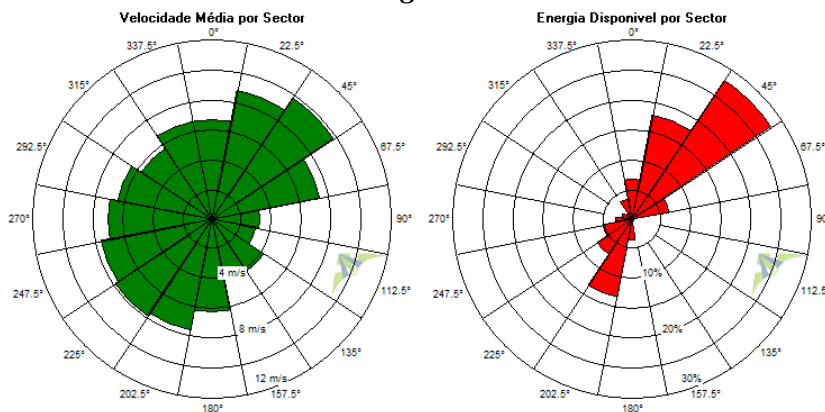
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

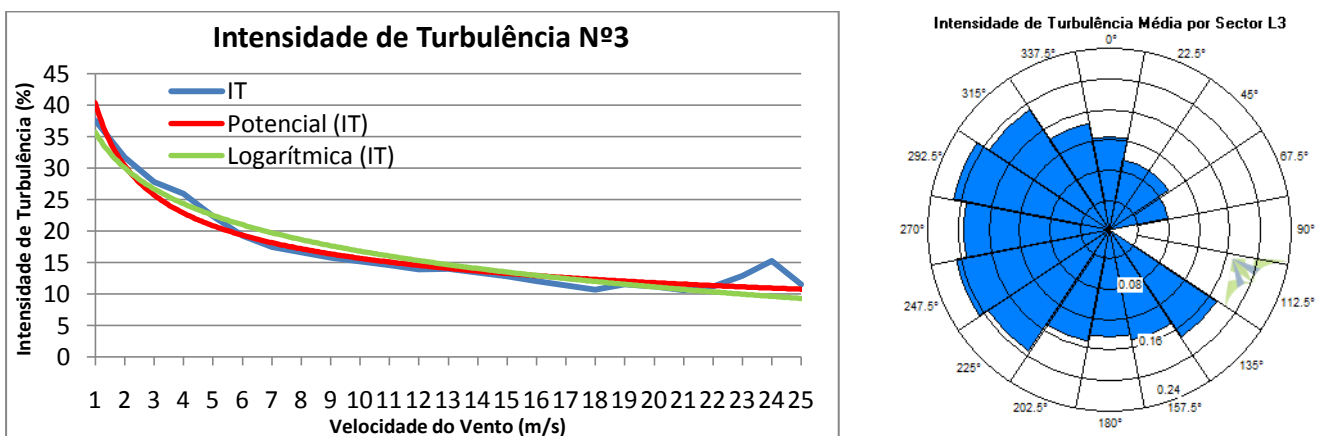
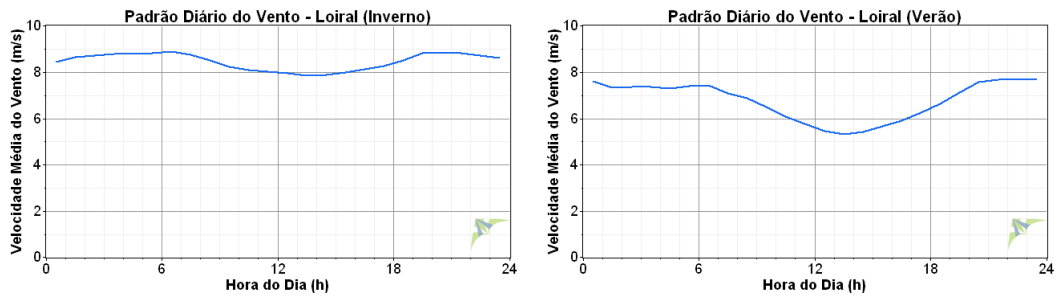


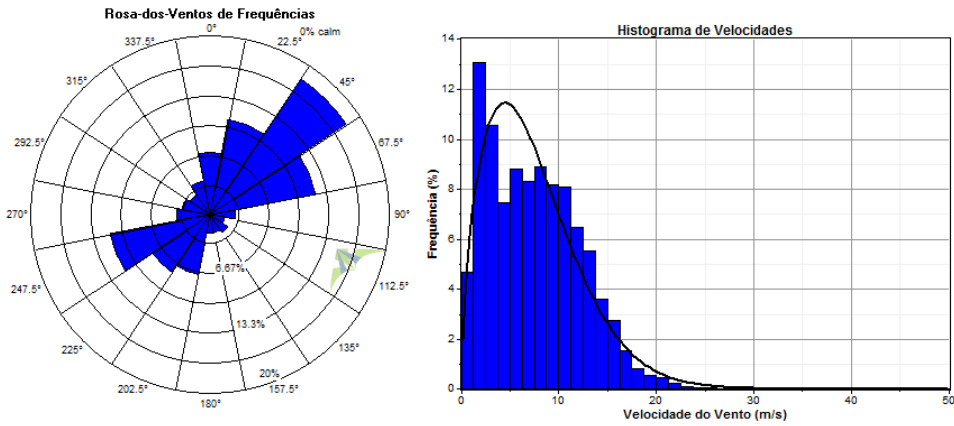
Figura 32: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°3

Parque Eólico 1 - Aerogerador N°4

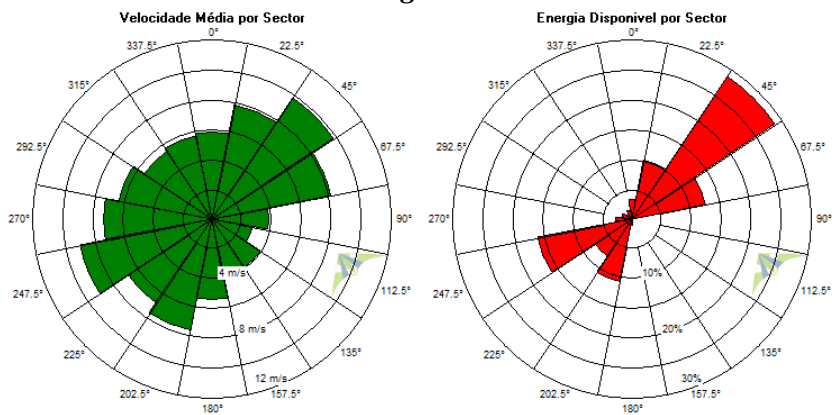
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

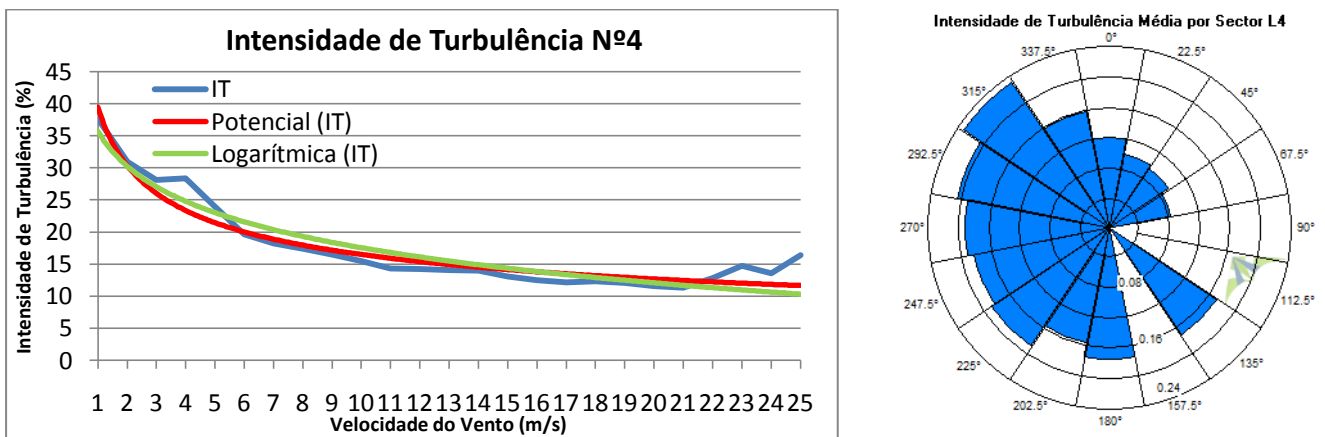
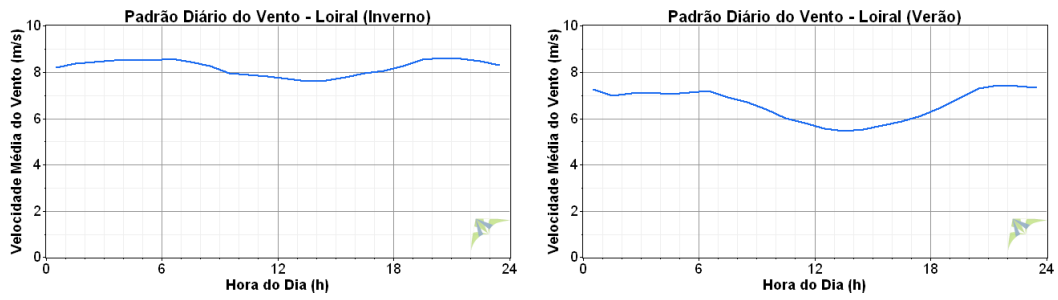


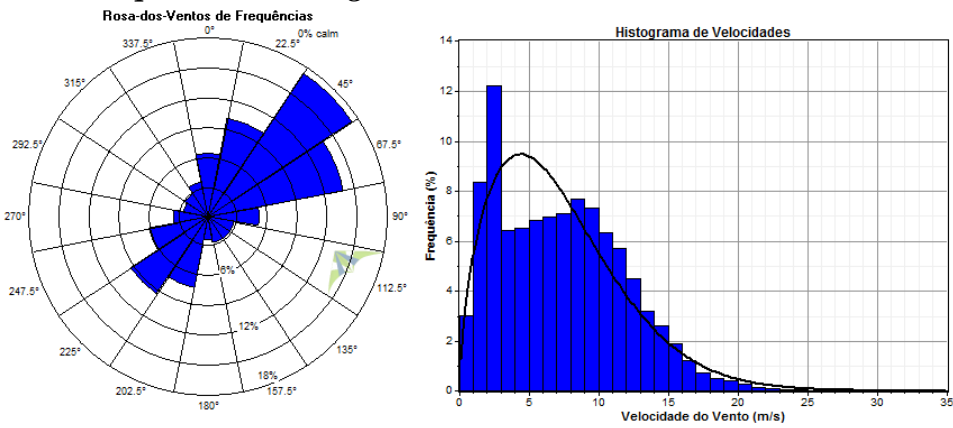
Figura 33: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°4

Parque Eólico 1 - Aerogerador N°5

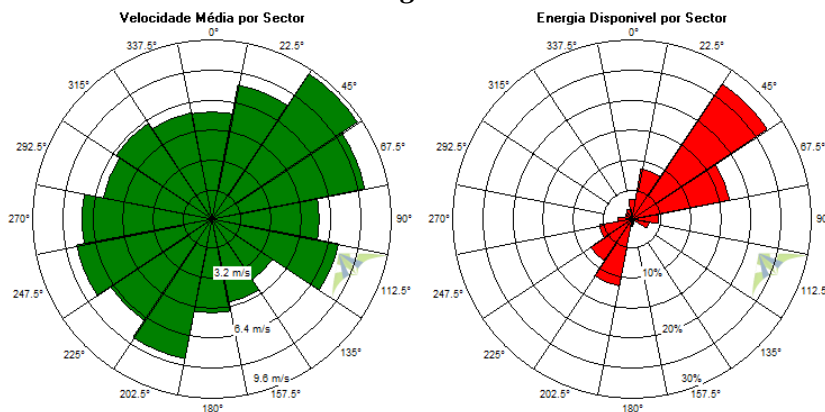
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

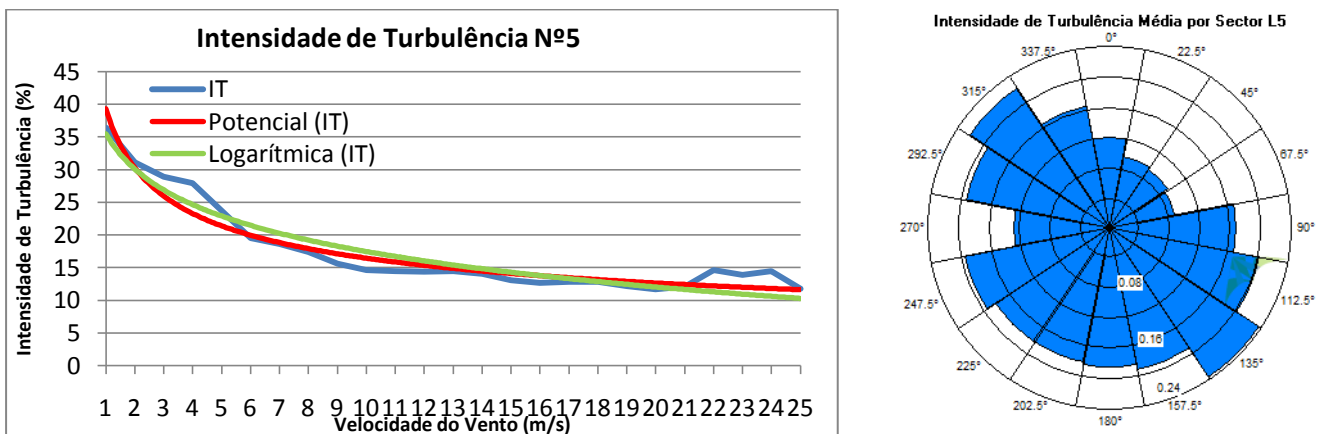
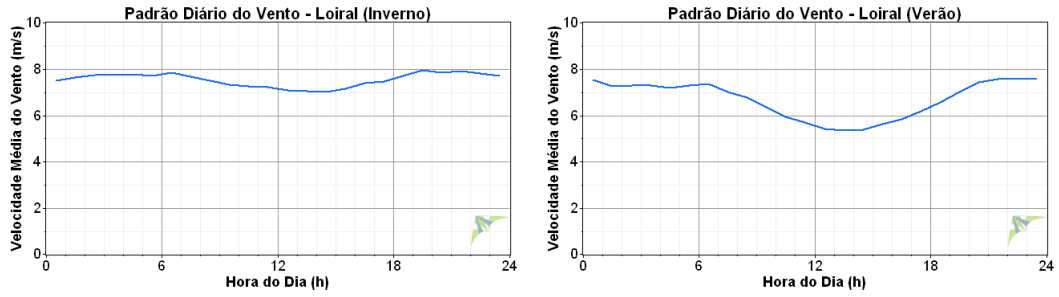


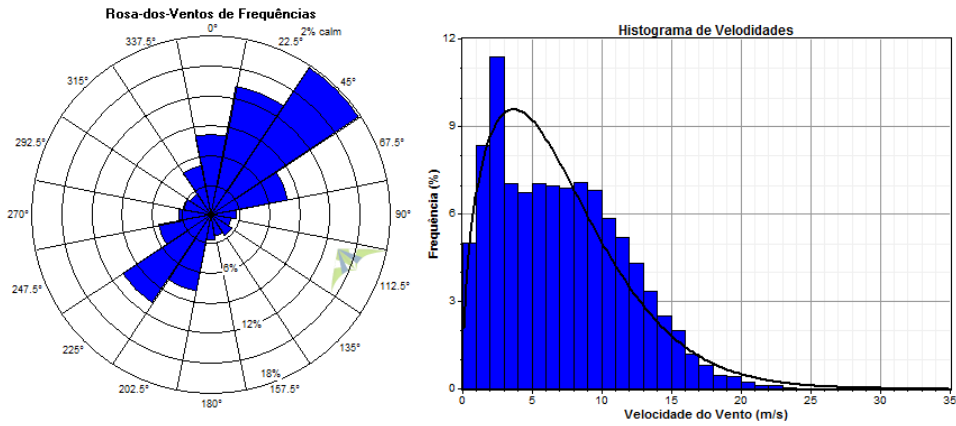
Figura 34: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°5

Parque Eólico 1 - Aerogerador N°6

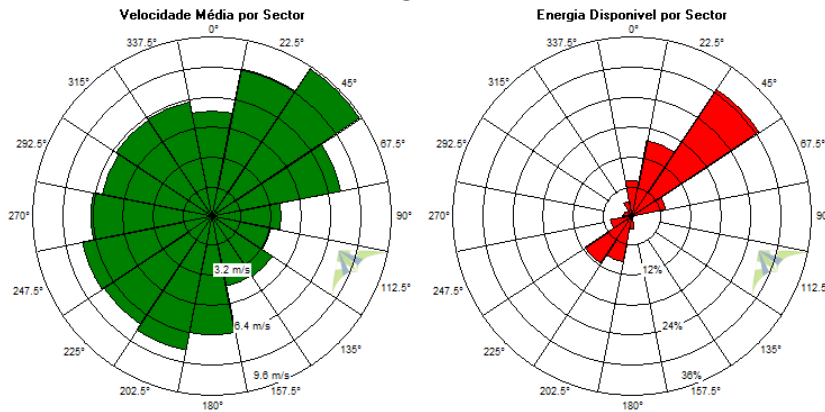
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

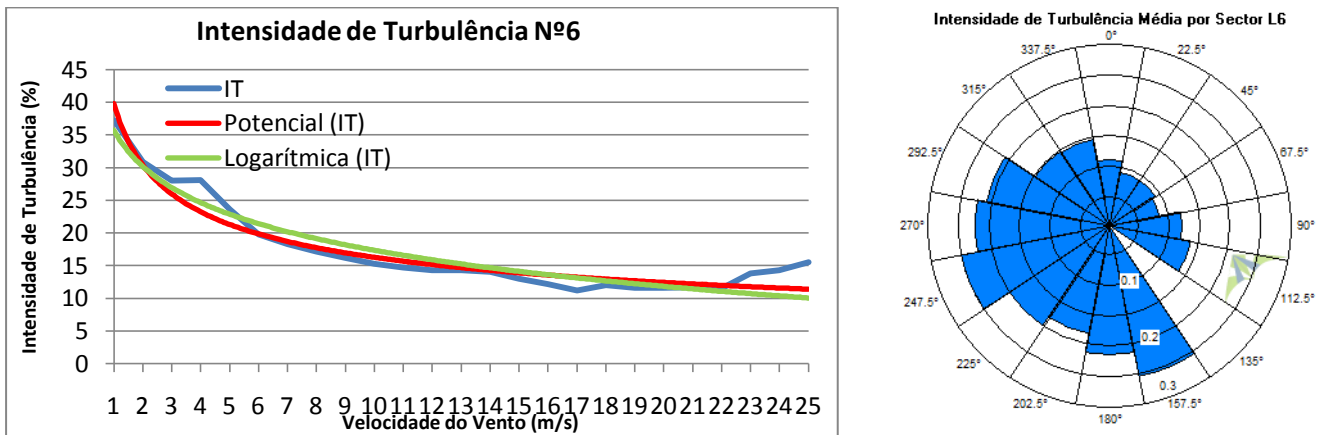
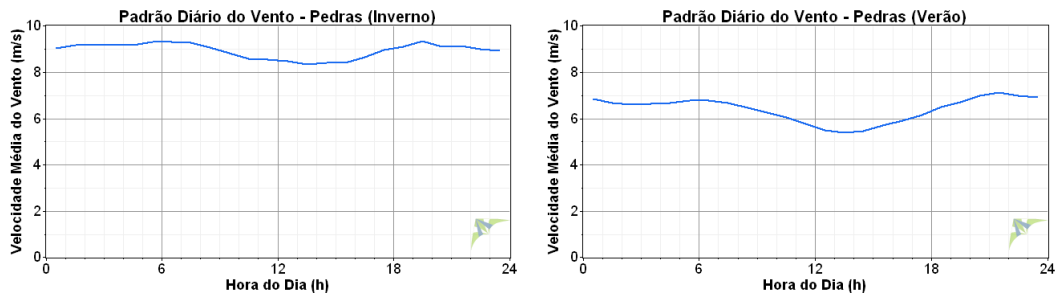


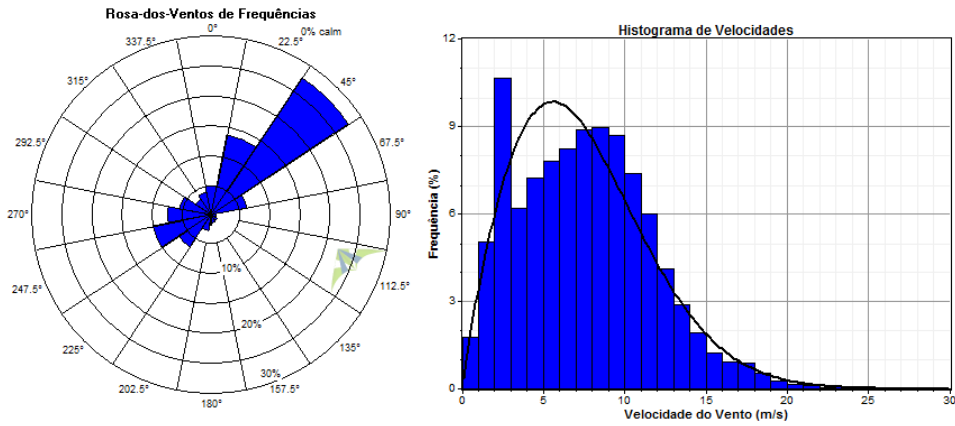
Figura 35: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°6

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°1

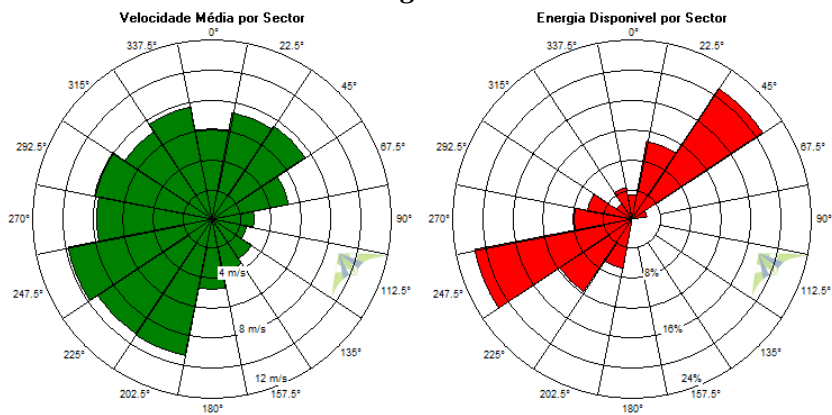
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

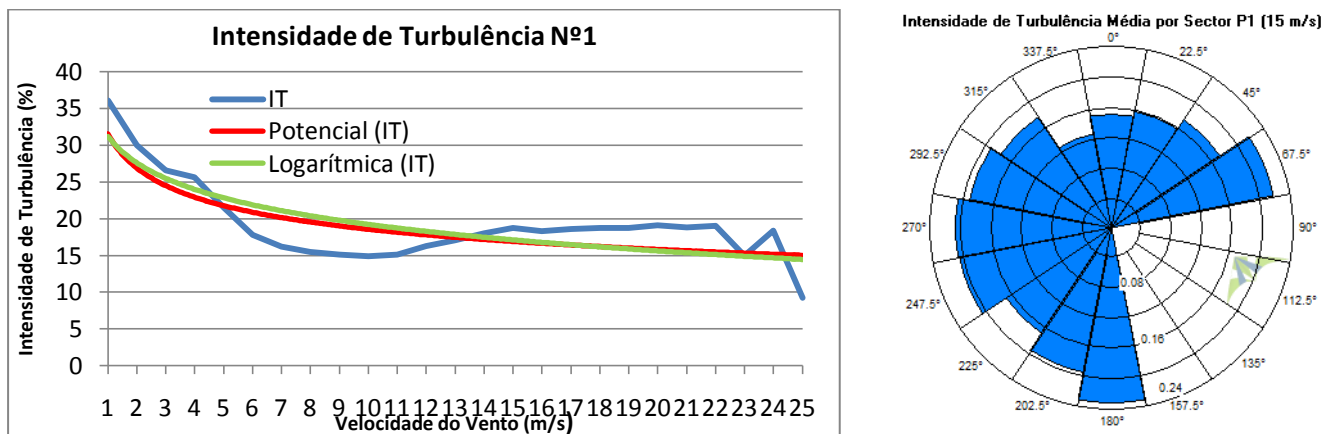
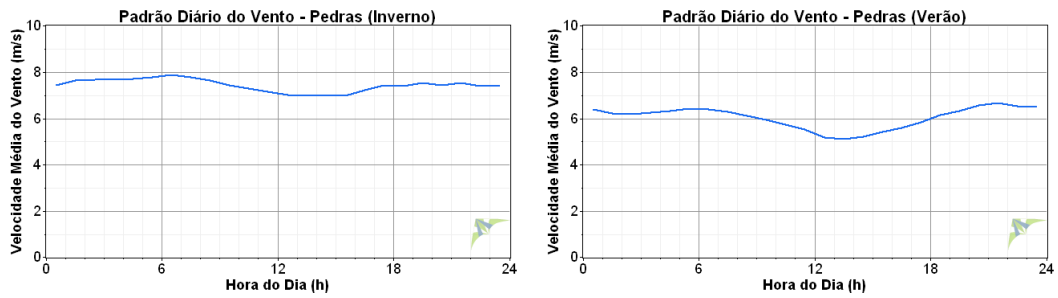


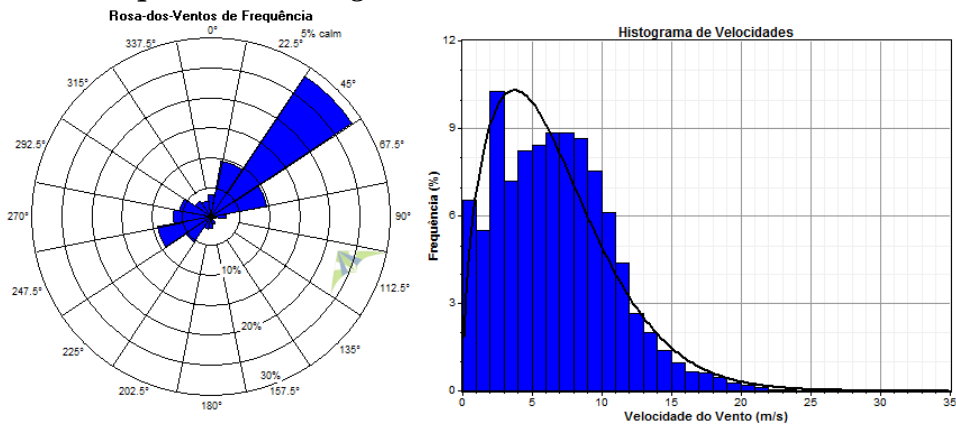
Figura 36: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°1

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°2

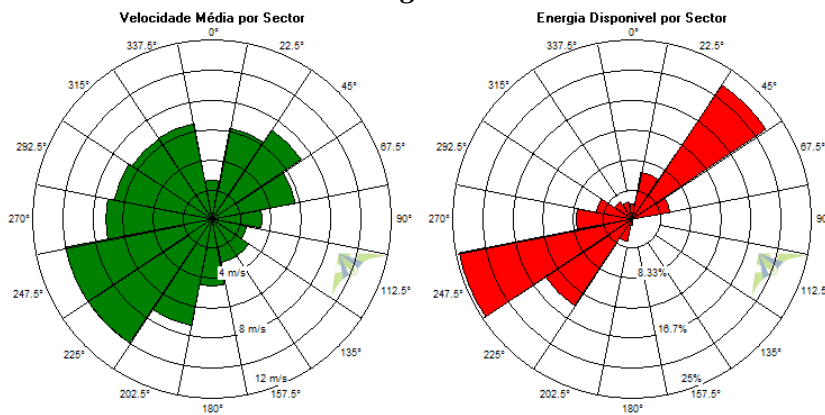
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

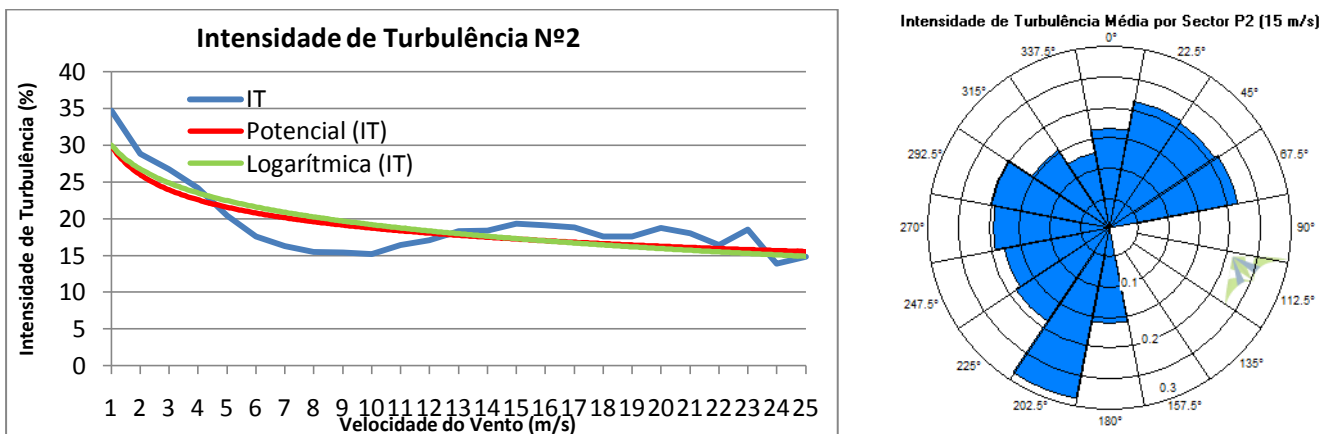
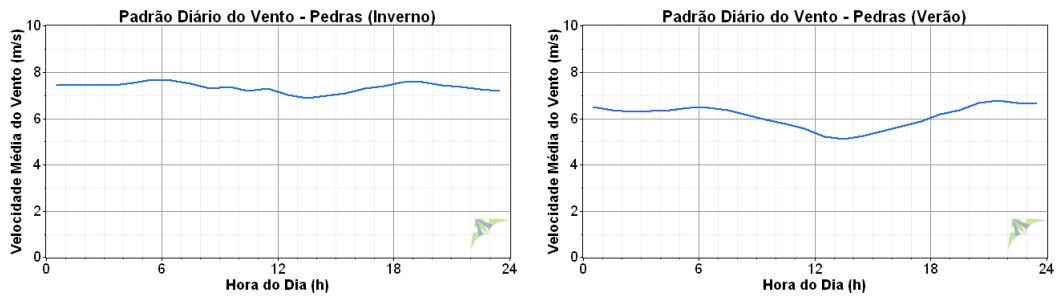


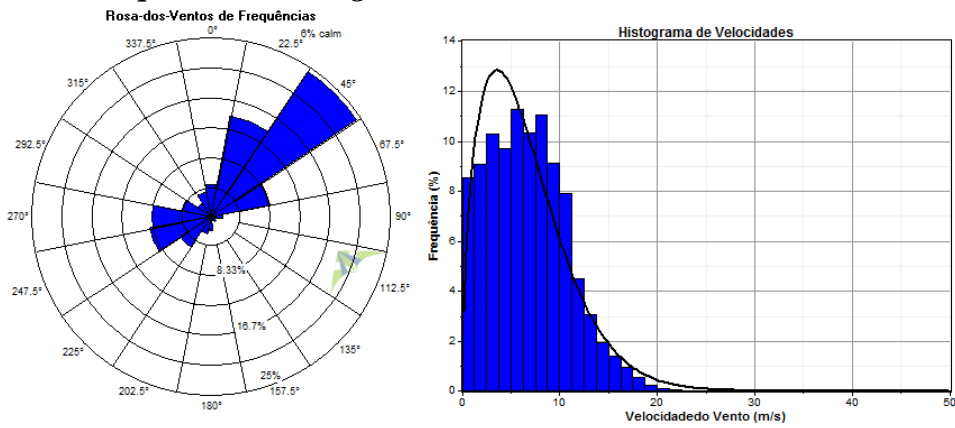
Figura 37: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°2

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°3

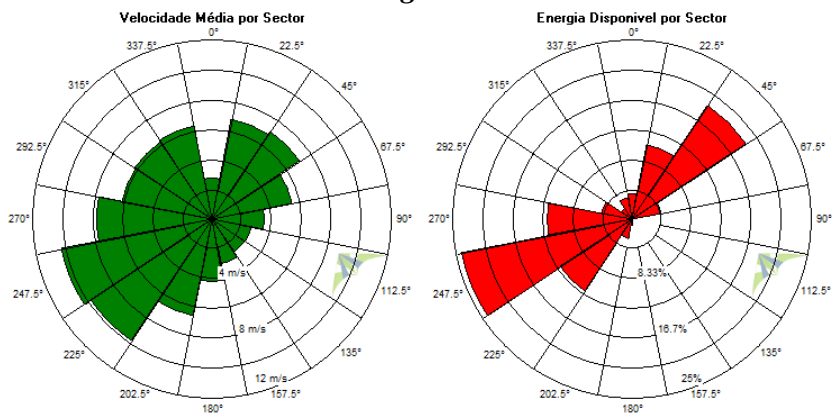
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

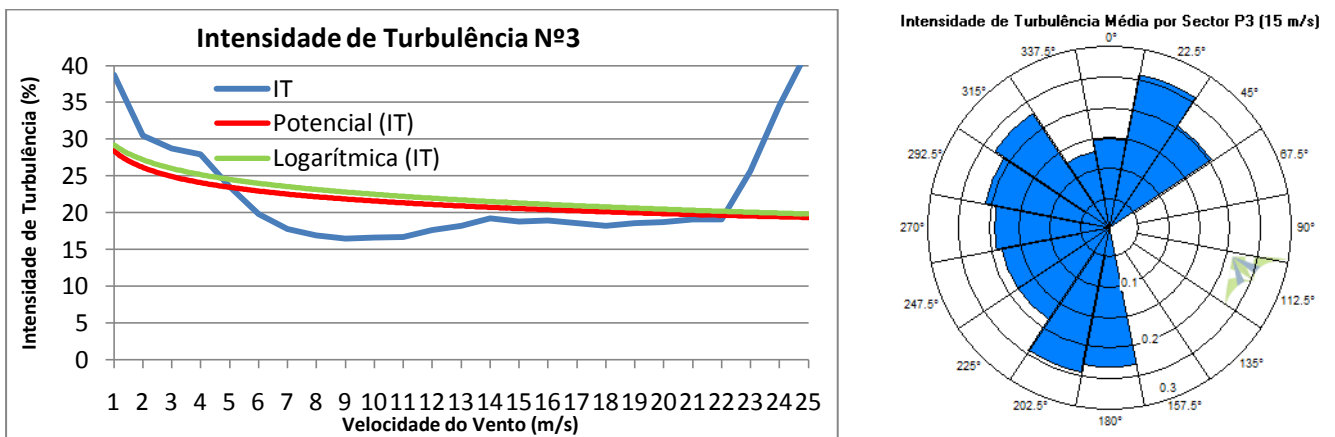
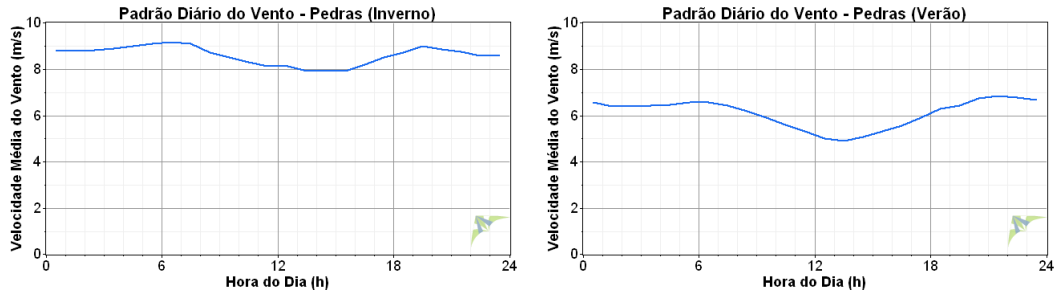


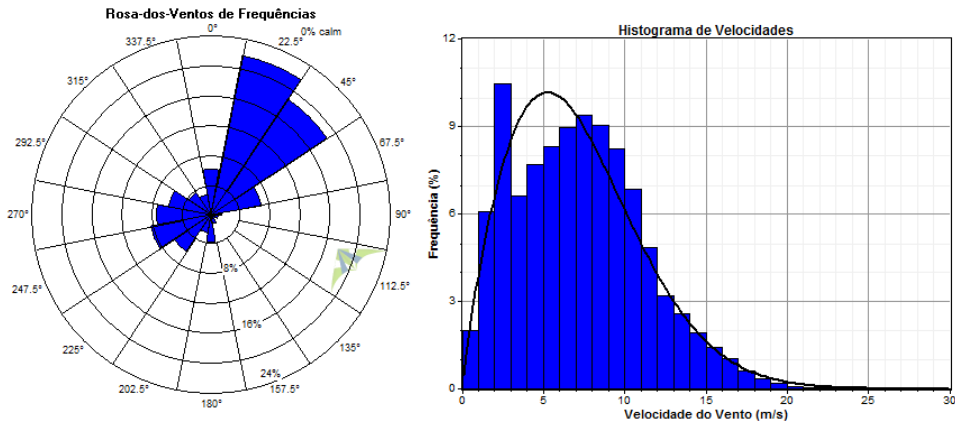
Figura 38: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°3

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°4

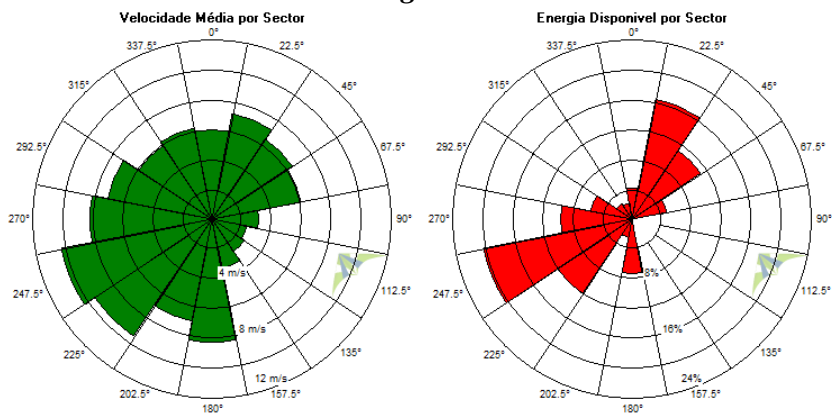
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

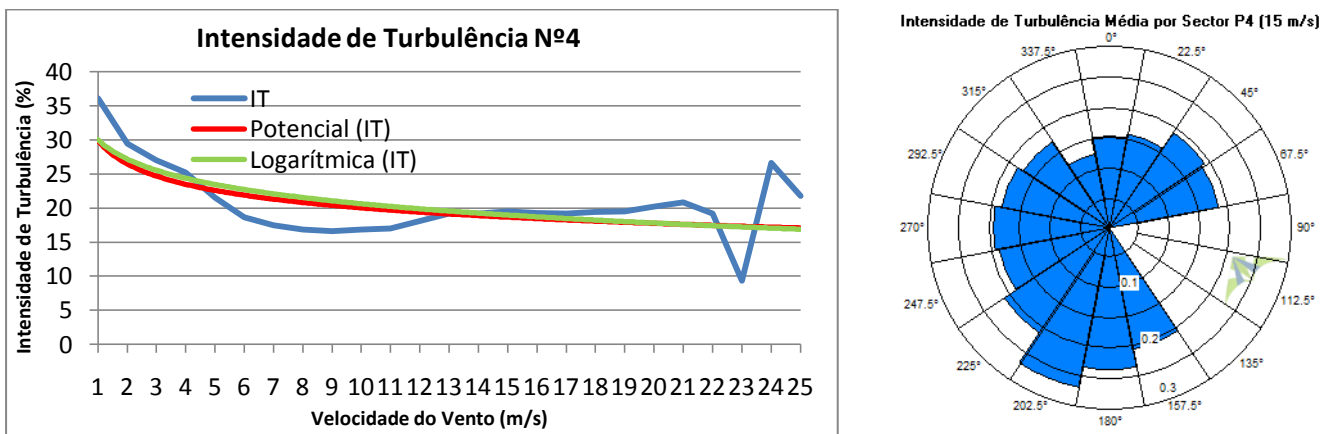
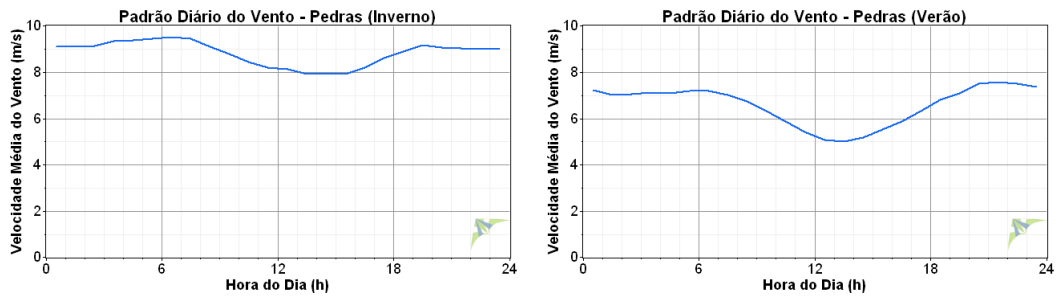


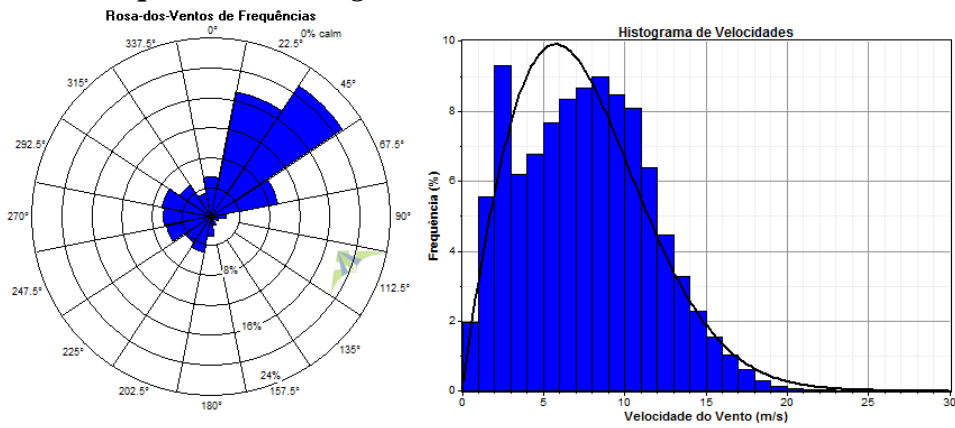
Figura 39: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°4

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°5

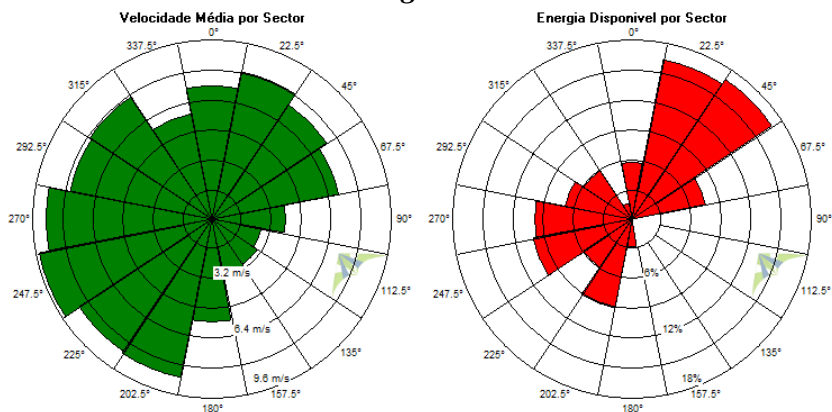
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

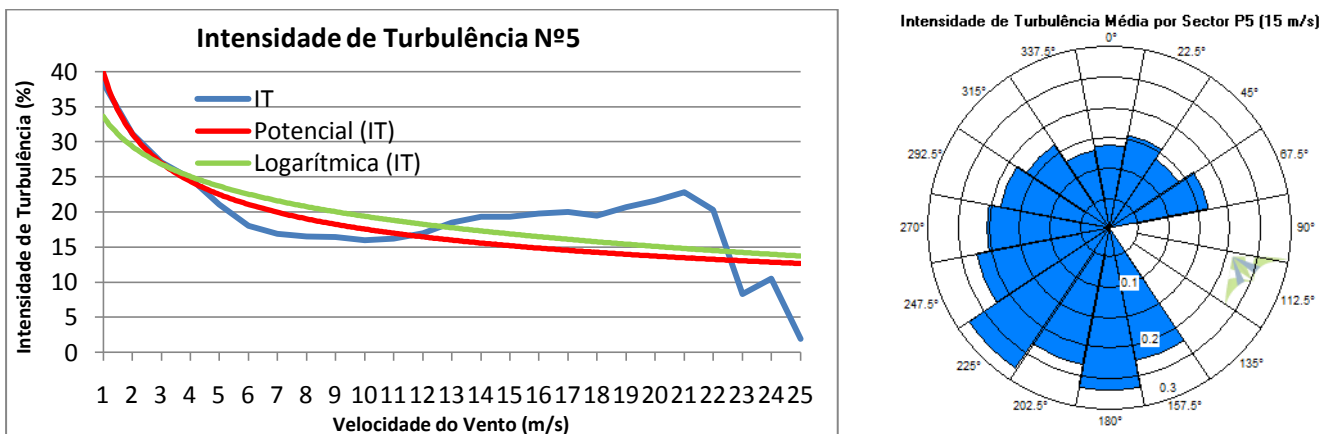
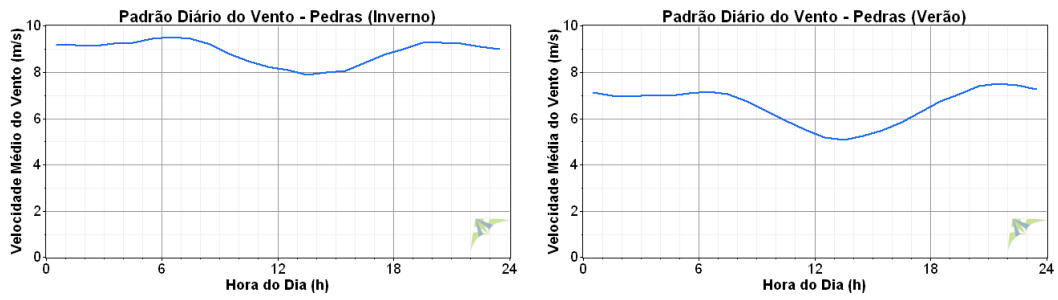


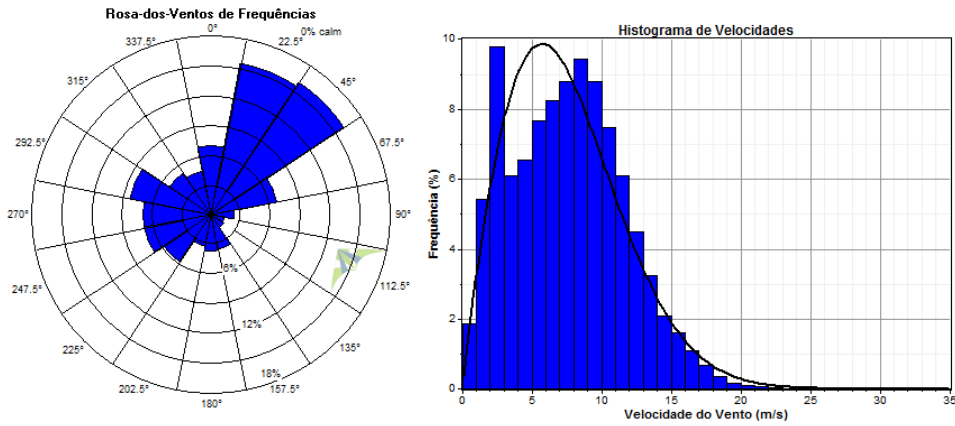
Figura 40: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°5

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°6

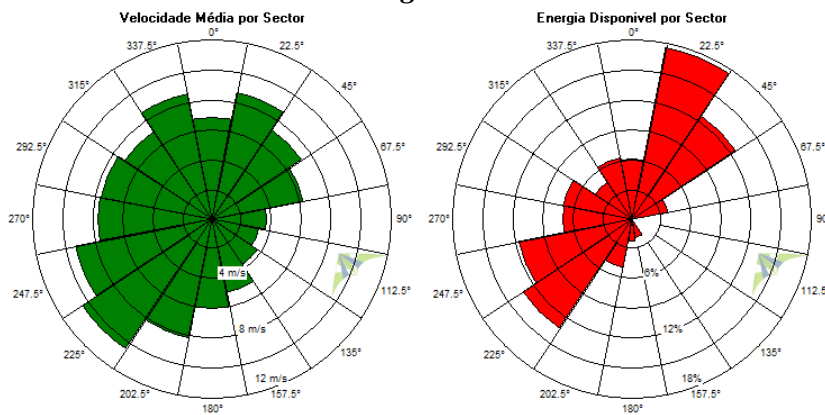
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

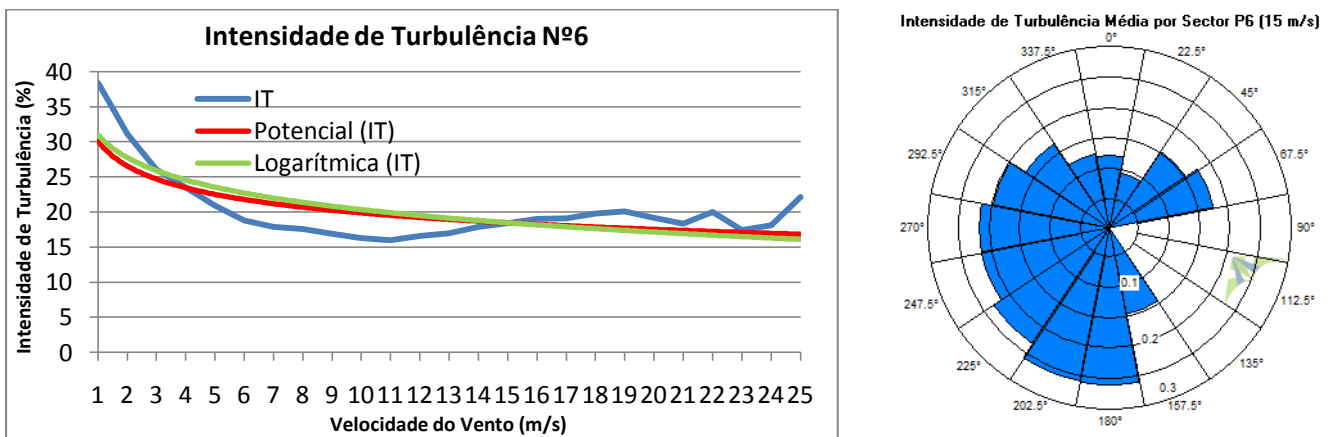
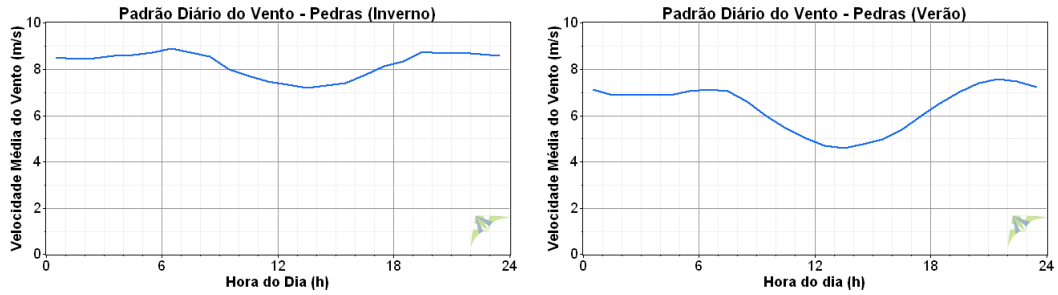


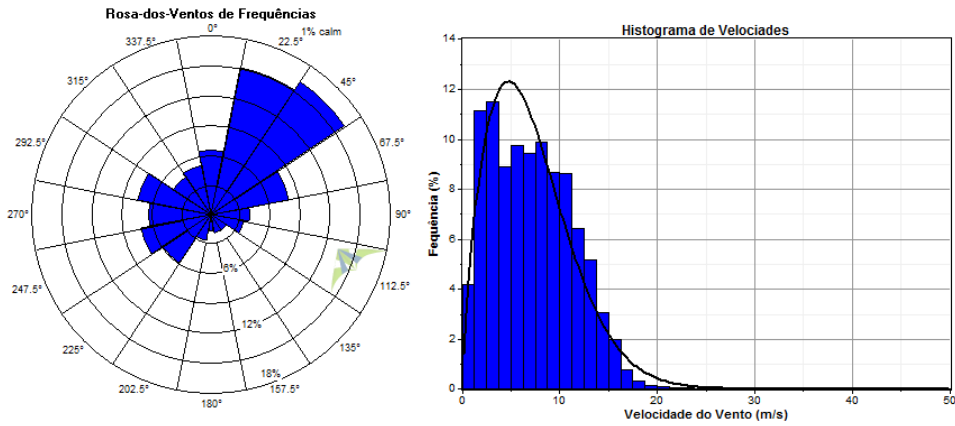
Figura 41: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°6

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°7

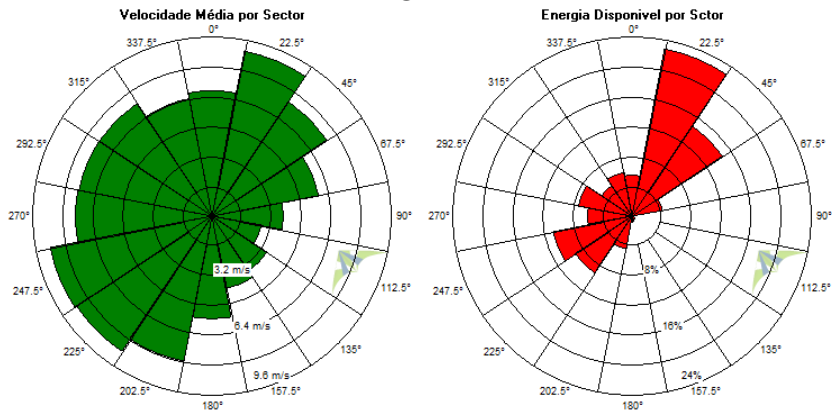
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

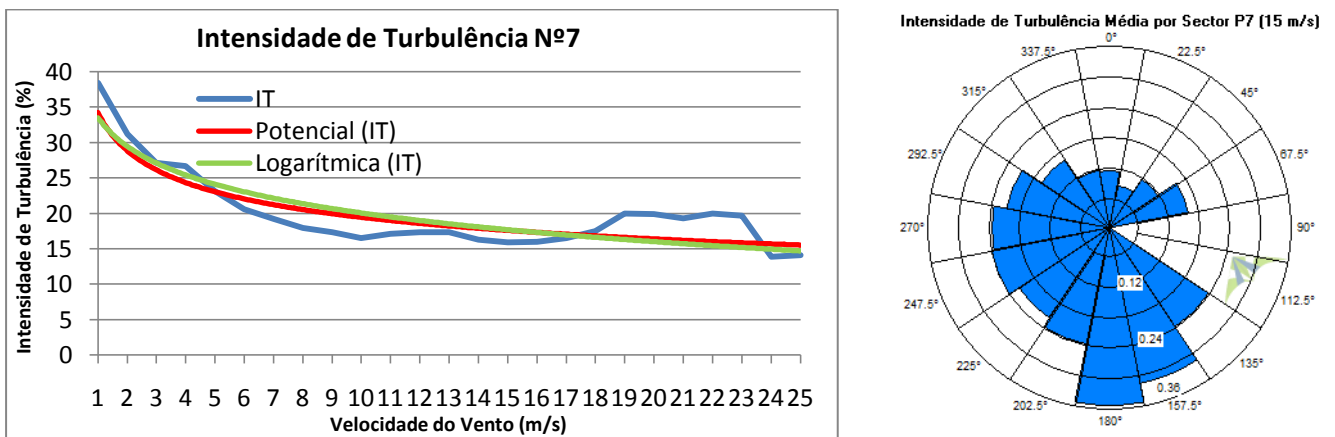
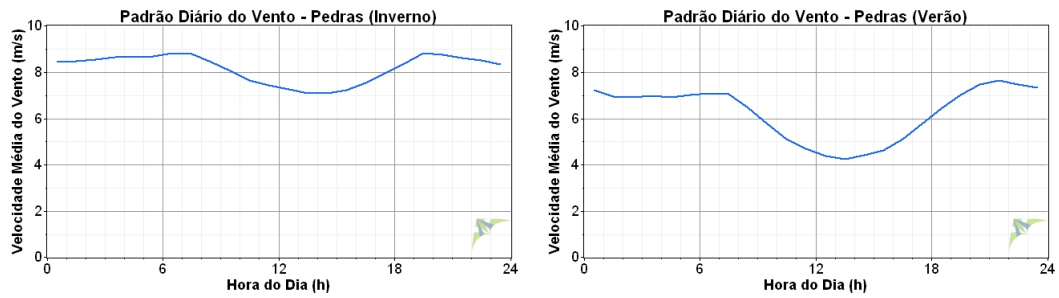


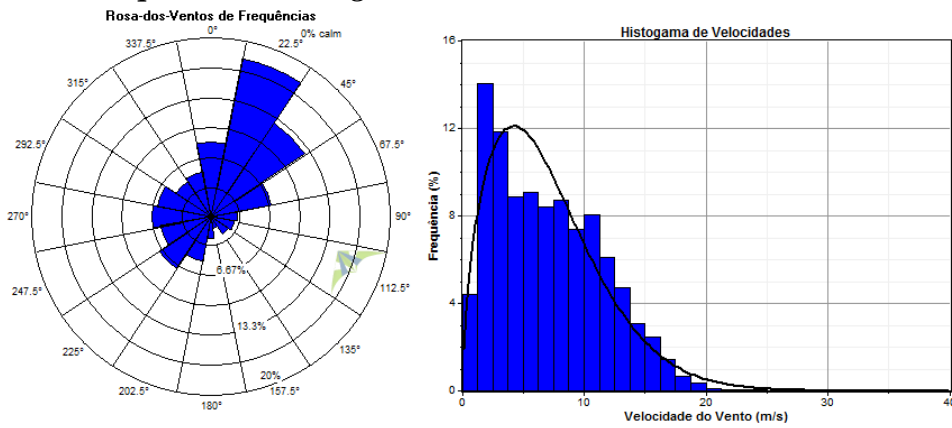
Figura 42: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°7

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°8

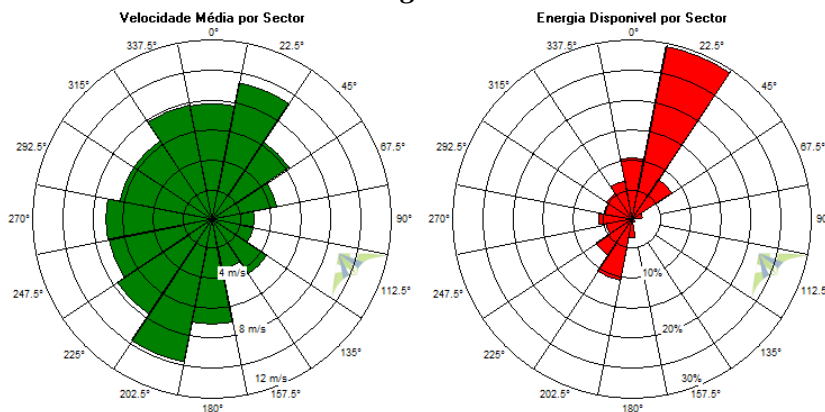
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

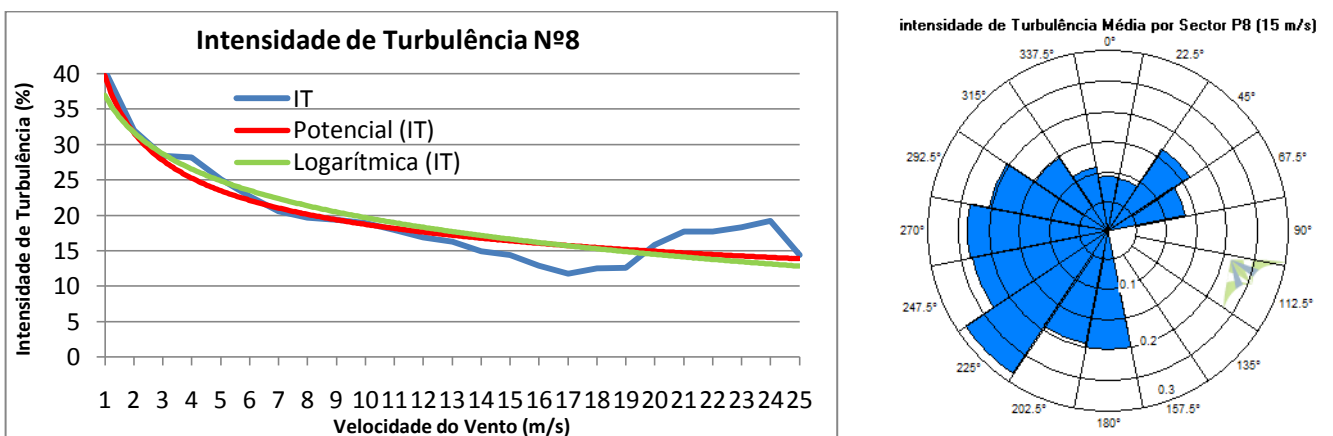
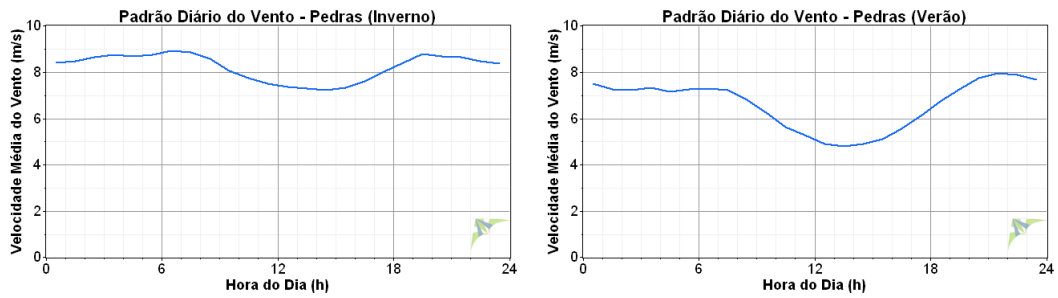


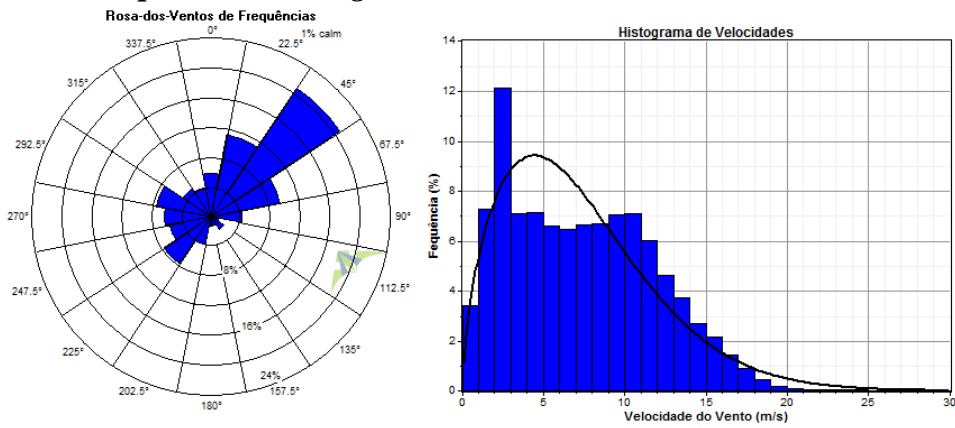
Figura 43: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°8

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°9

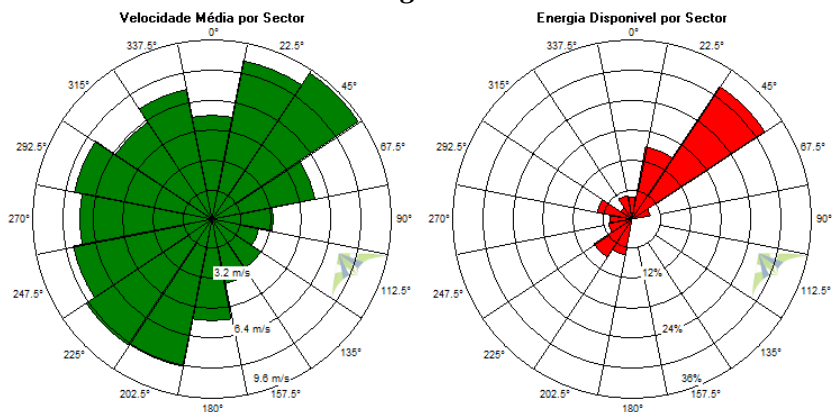
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

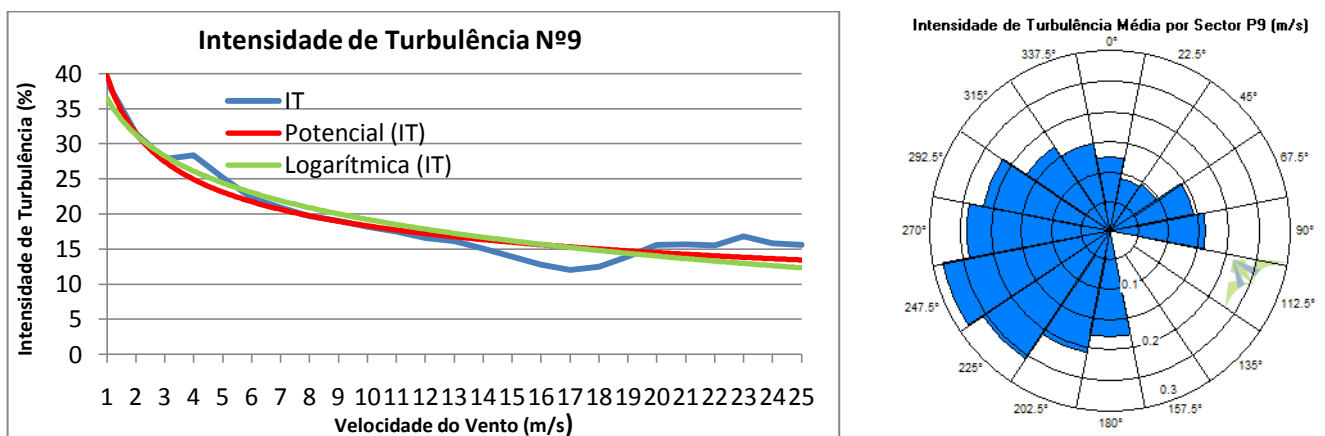
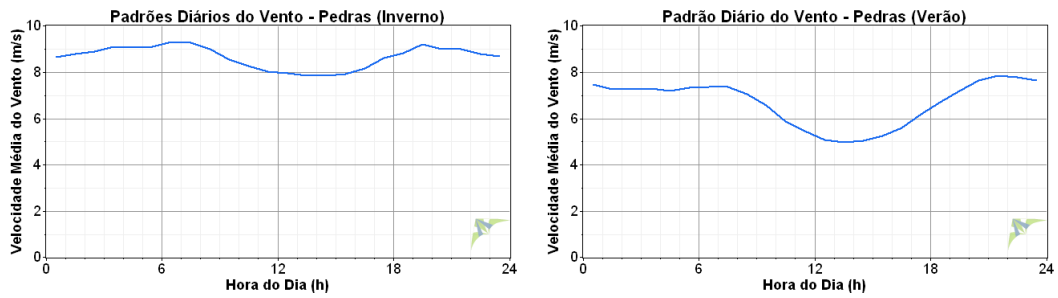


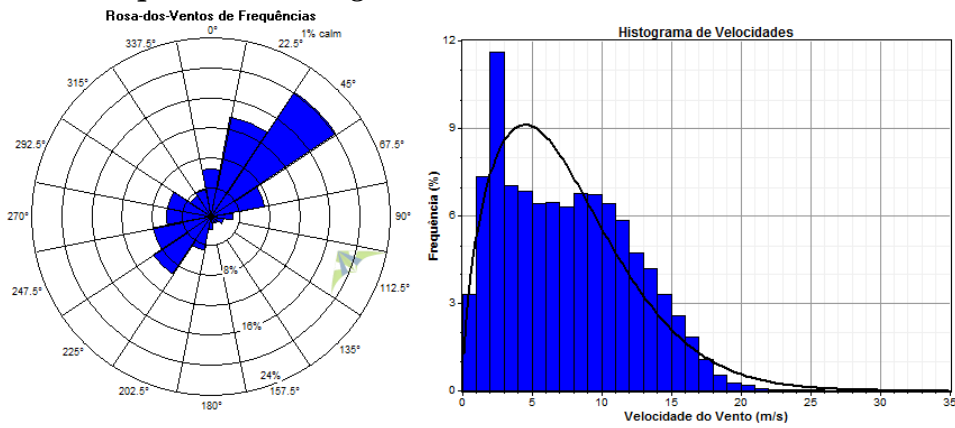
Figura 44: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°9

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°10

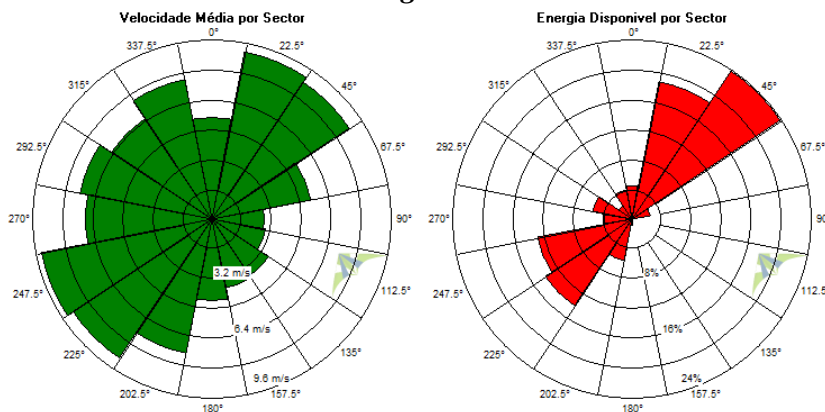
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

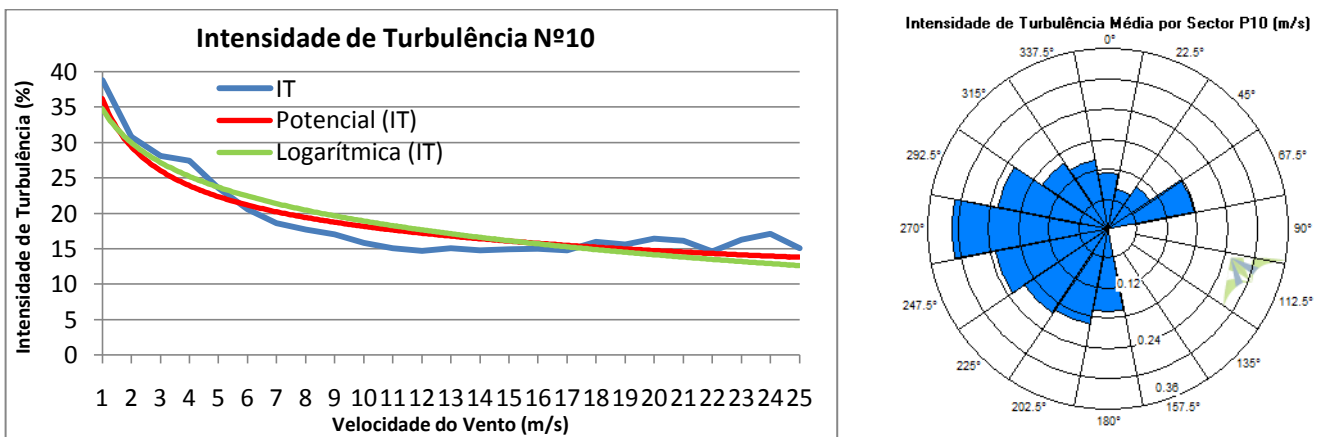
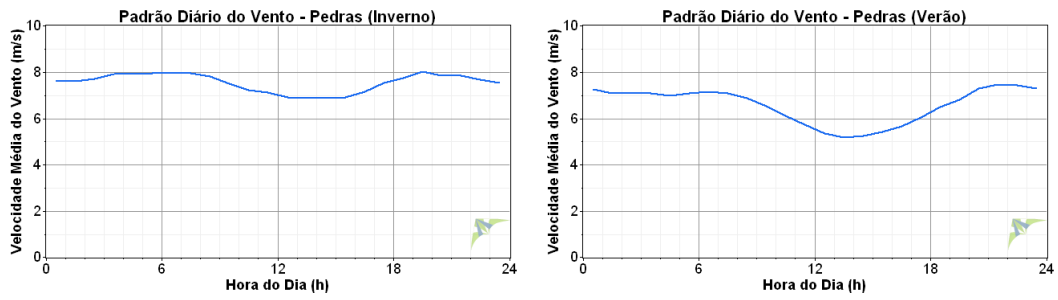


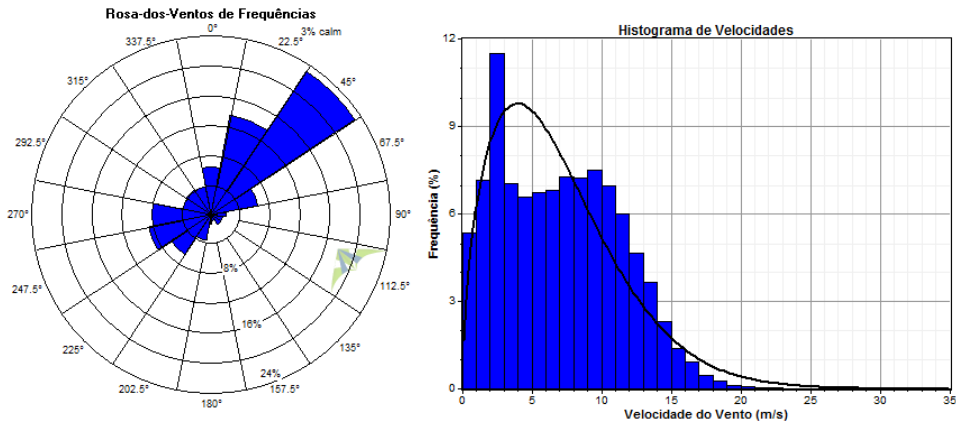
Figura 45: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°10

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°11

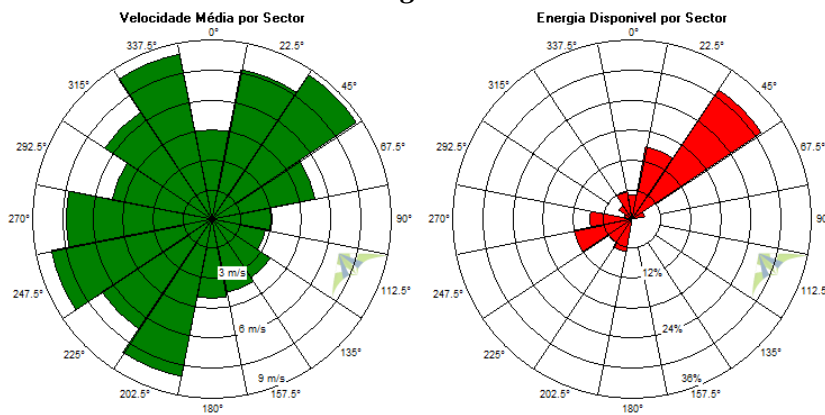
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

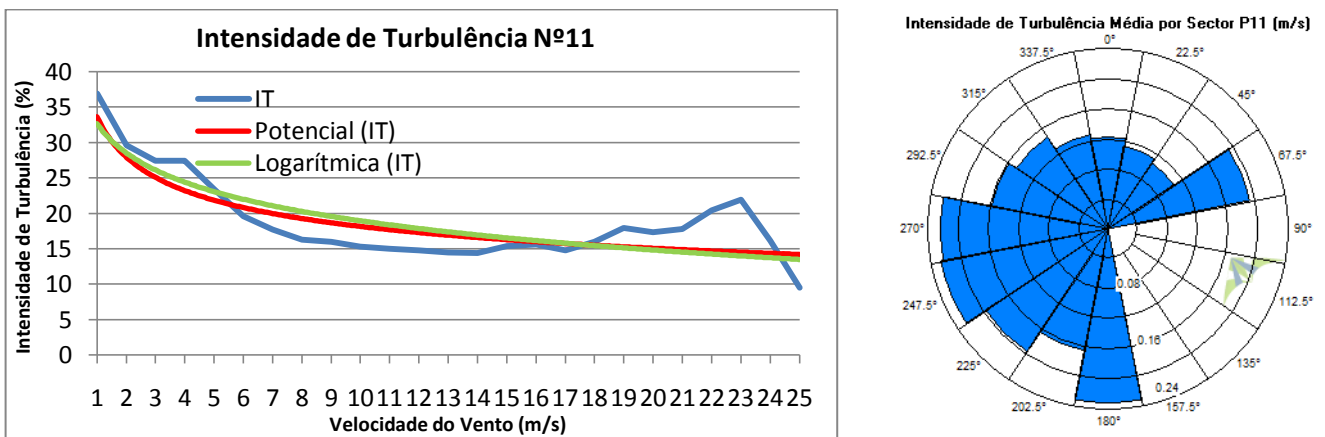
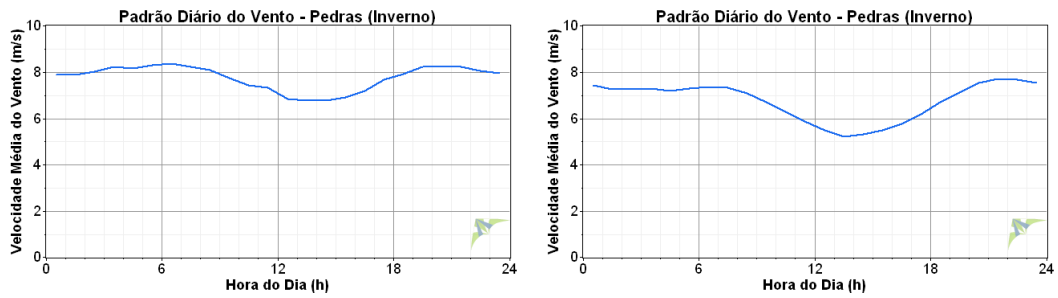


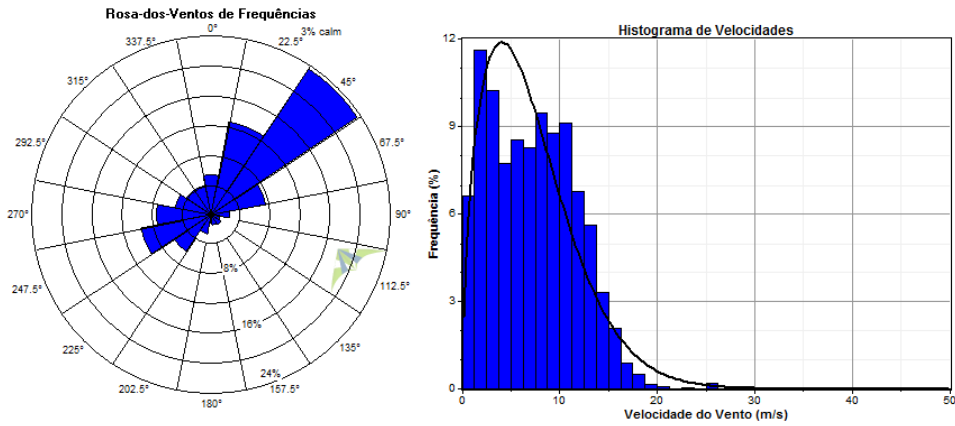
Figura 46: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°11

Parque Eólico 2 - Aerogerador N°12

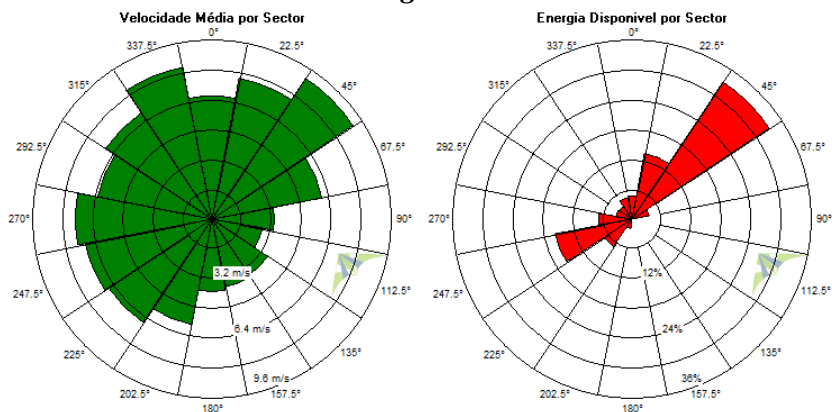
Padrão Diário do Vento



Rosa-dos-Ventos de Frequências e Histograma de Velocidades



Rosa-dos-Ventos da Velocidade Média e da Energia



Intensidade de Turbulência

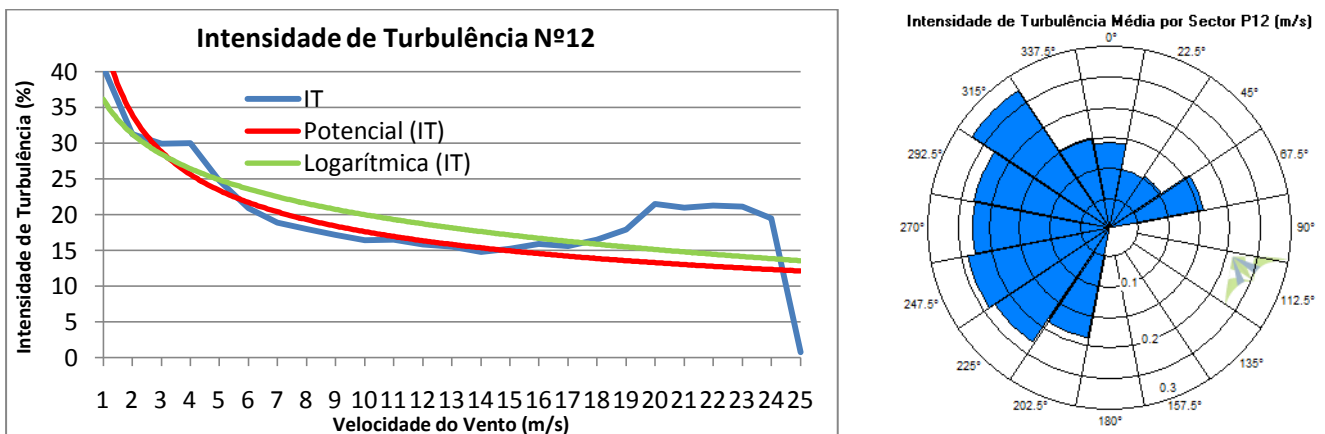


Figura 47: Caracterização do recurso eólico da aerogerador N°12

Anexo C: Rosas-dos-Ventos Mensais

Parque Eólico 1 SETEMBRO

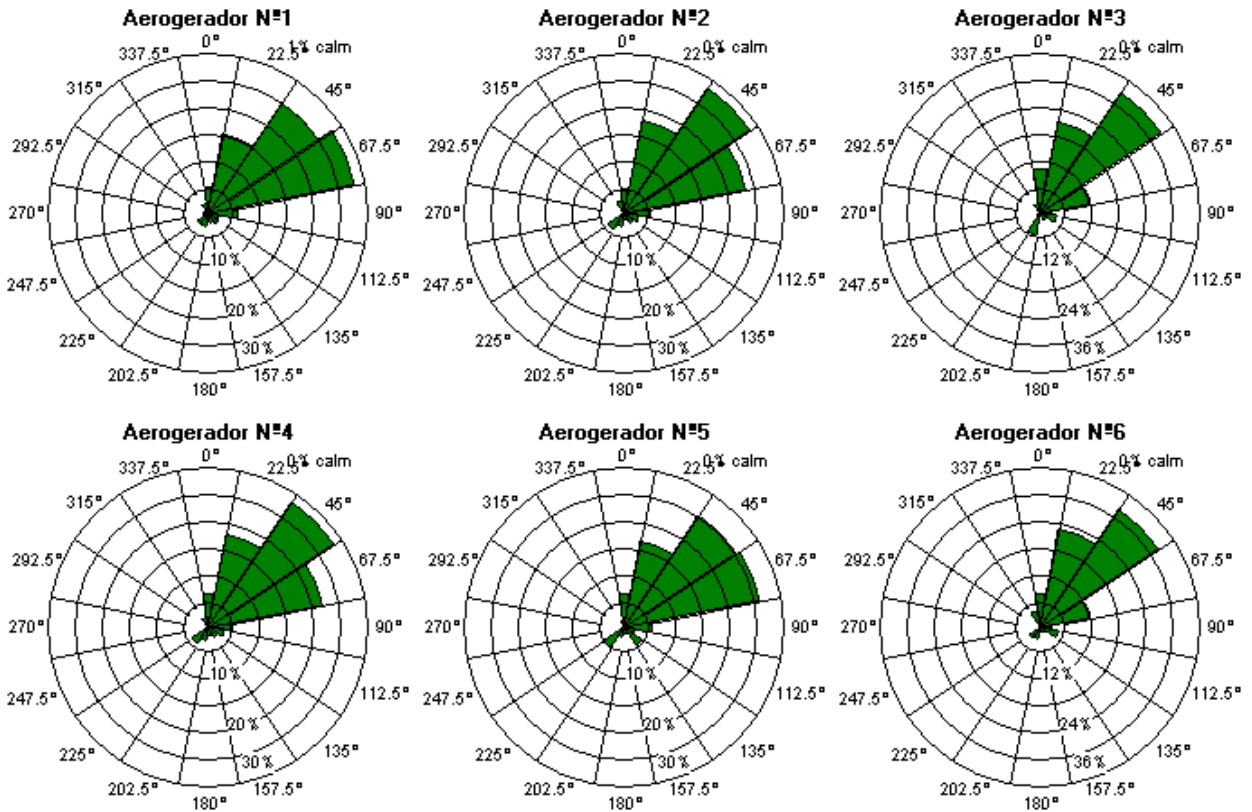


Figura 48: Rosas-dos-ventos do mês de Setembro dos aerogeradores do parque 1

OUTUBRO

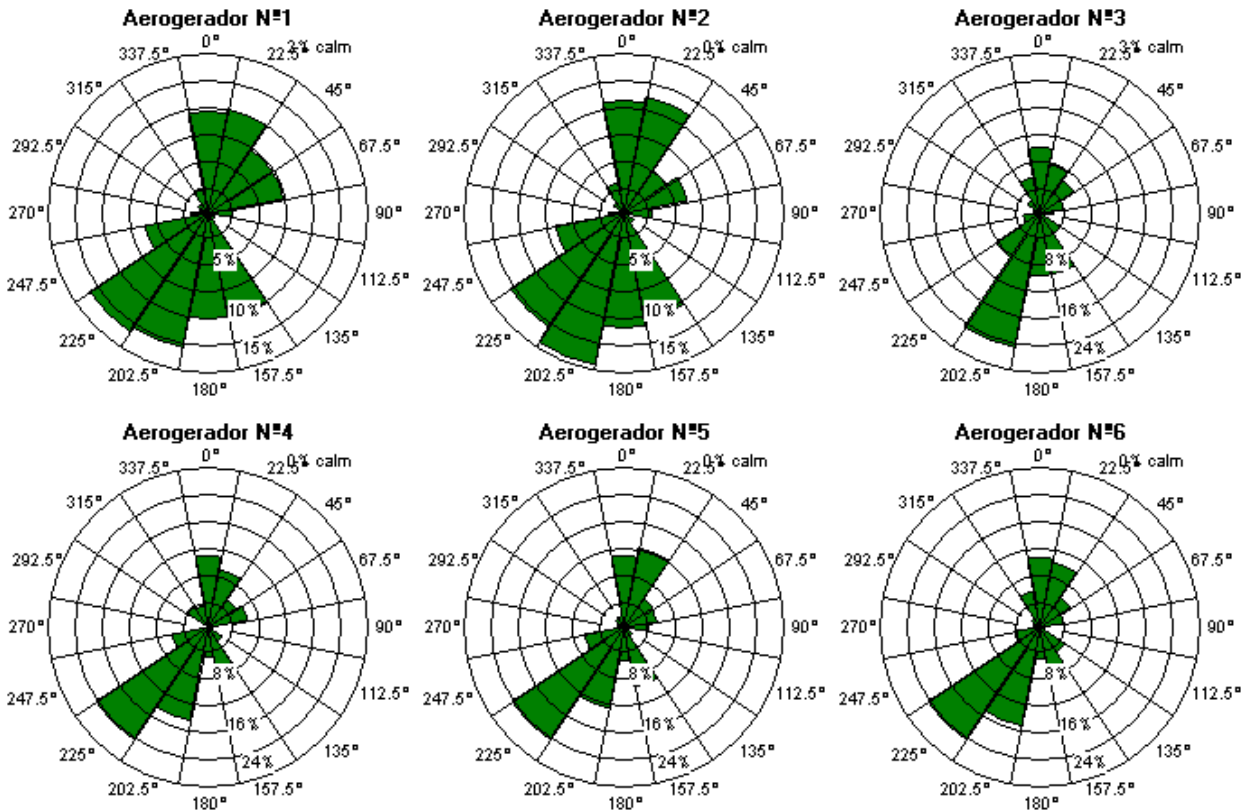


Figura 49: Rosas-dos-ventos do mês de Outubro dos aerogeradores do parque 1

NOVEMBRO

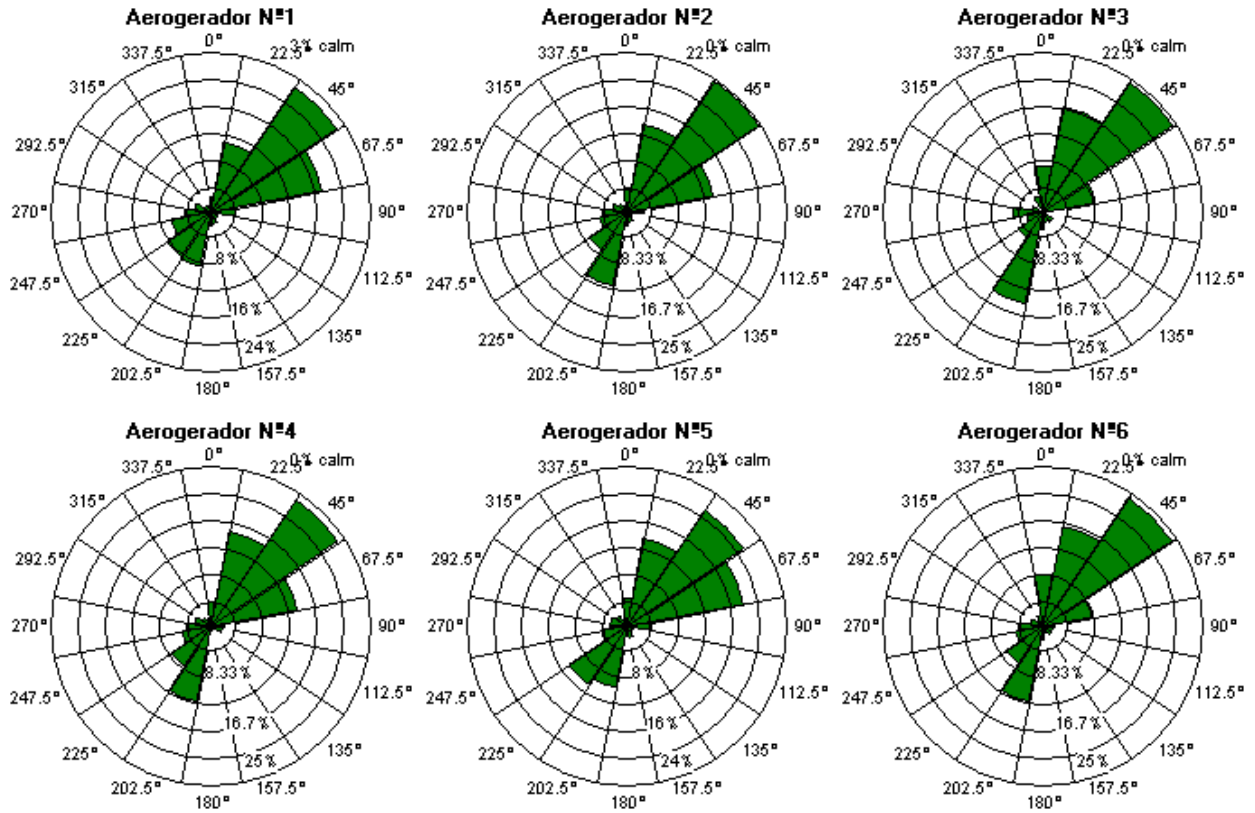


Figura 50: Rosas-dos-ventos do mês de Novembro dos aerogeradores do parque 1

DEZEMBRO

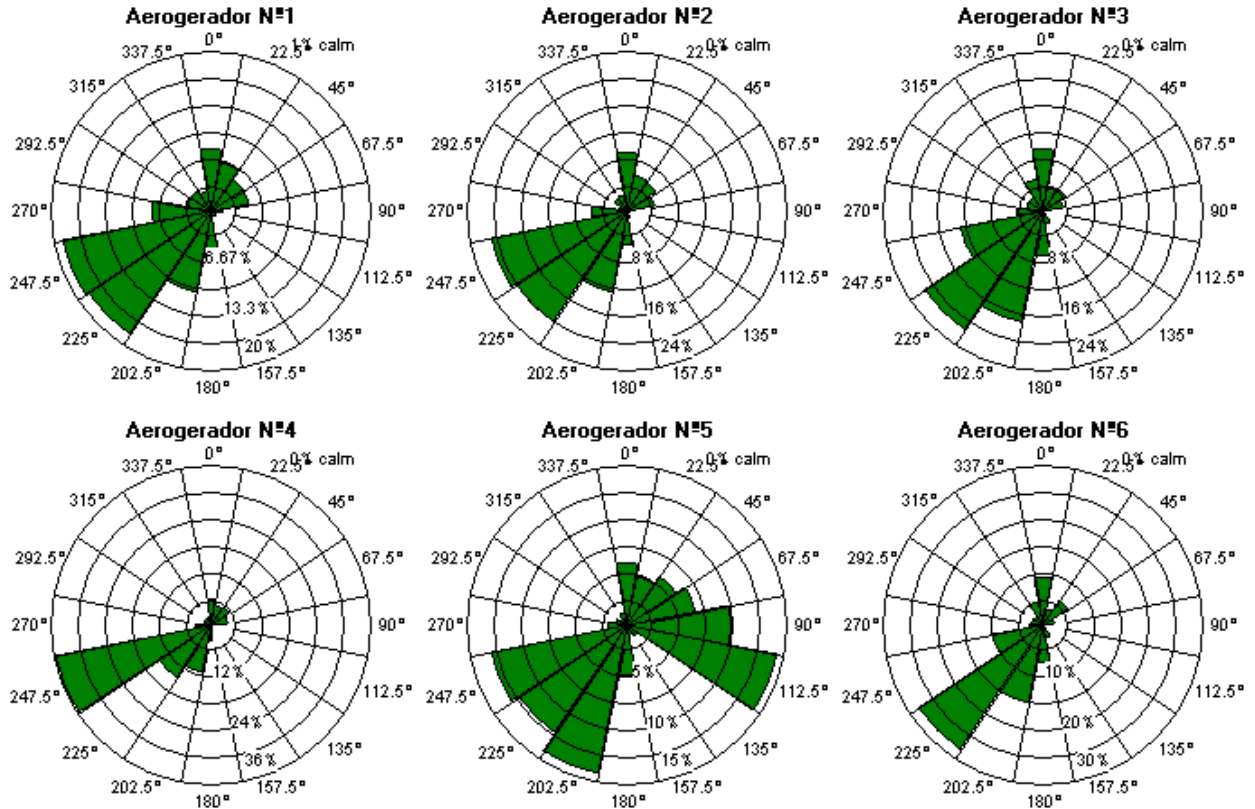


Figura 51: Rosas-dos-ventos do mês de Dezembro dos aerogeradores do parque 1

JANEIRO

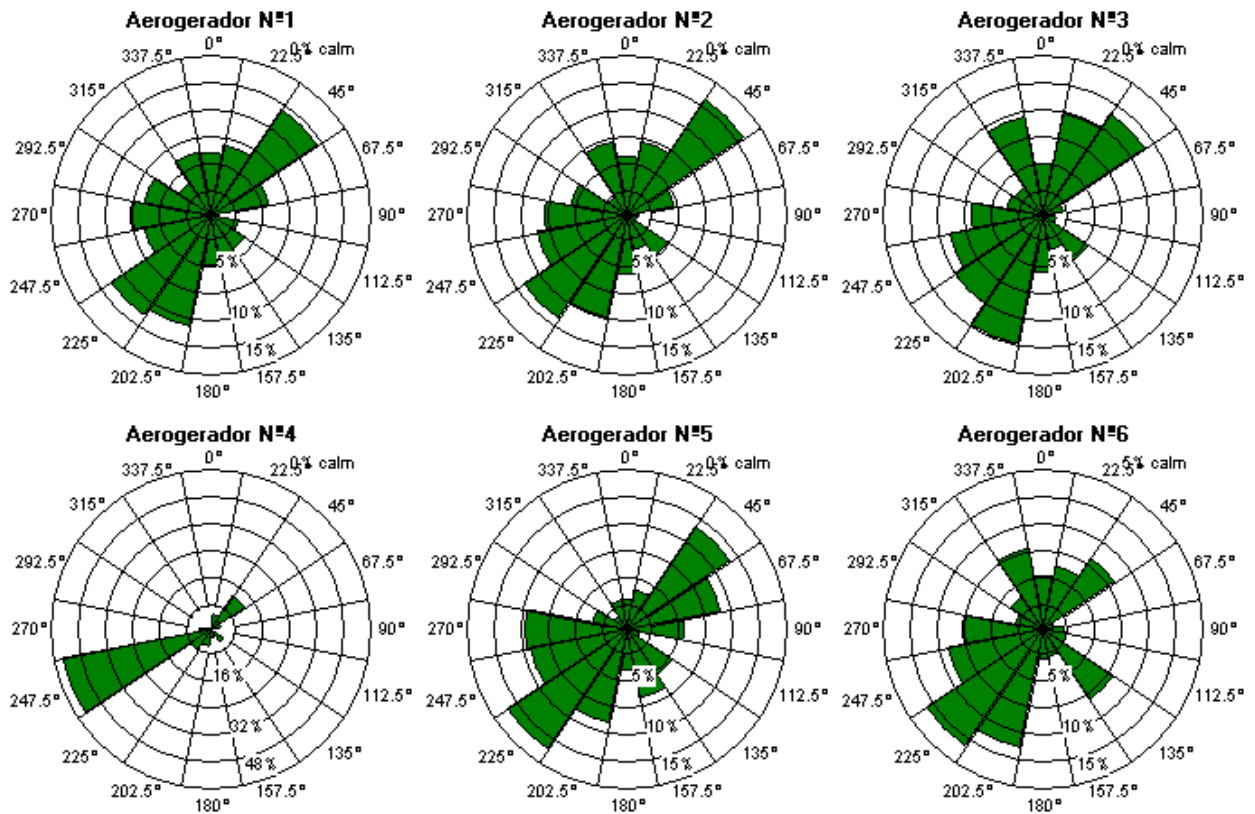


Figura 52: Rosas-dos-ventos do mês de Janeiro dos aerogeradores do parque 1

FEVEREIRO

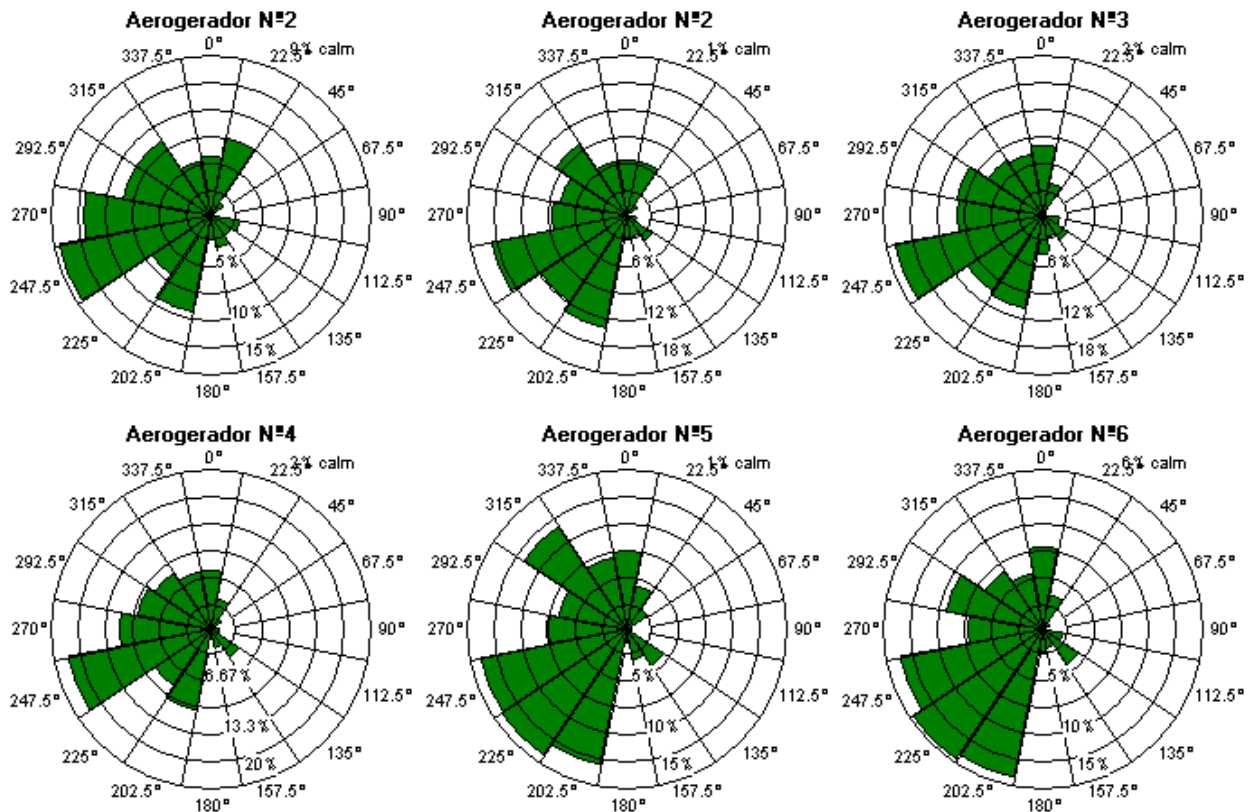


Figura 53: Rosas-dos-ventos do mês de Fevereiro dos aerogeradores do parque 1

MARÇO

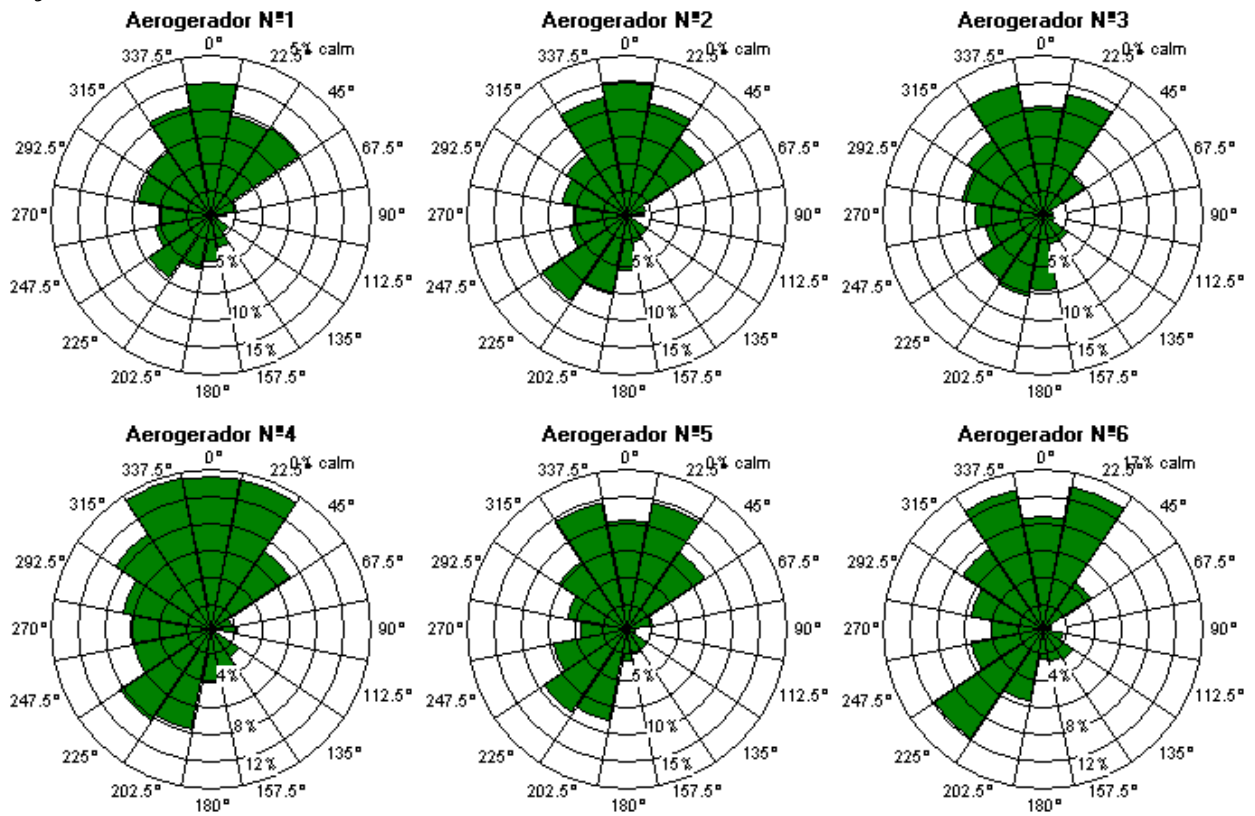


Figura 54: Rosas-dos-ventos do mês de Março dos aerogeradores do parque 1

ABRIL

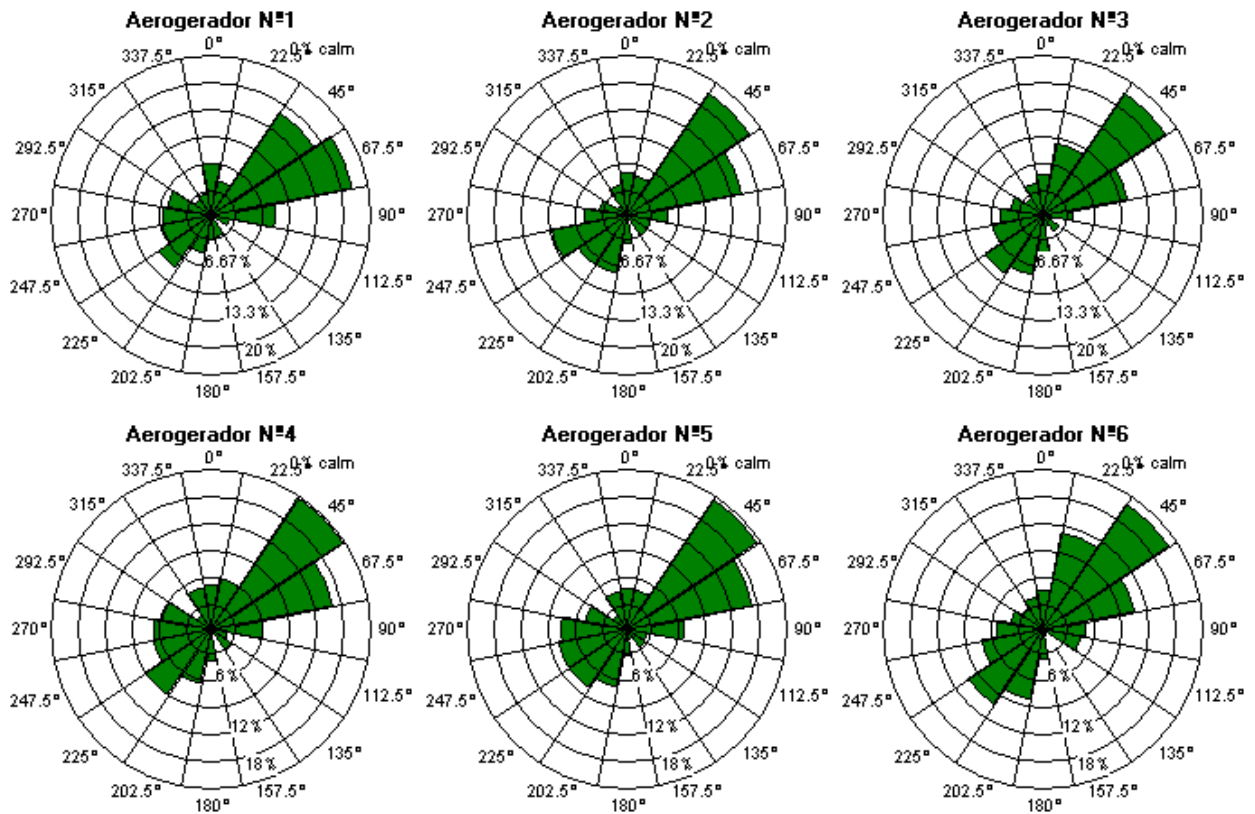


Figura 55: Rosas-dos-ventos do mês de Abril dos aerogeradores do parque 1

MAIO

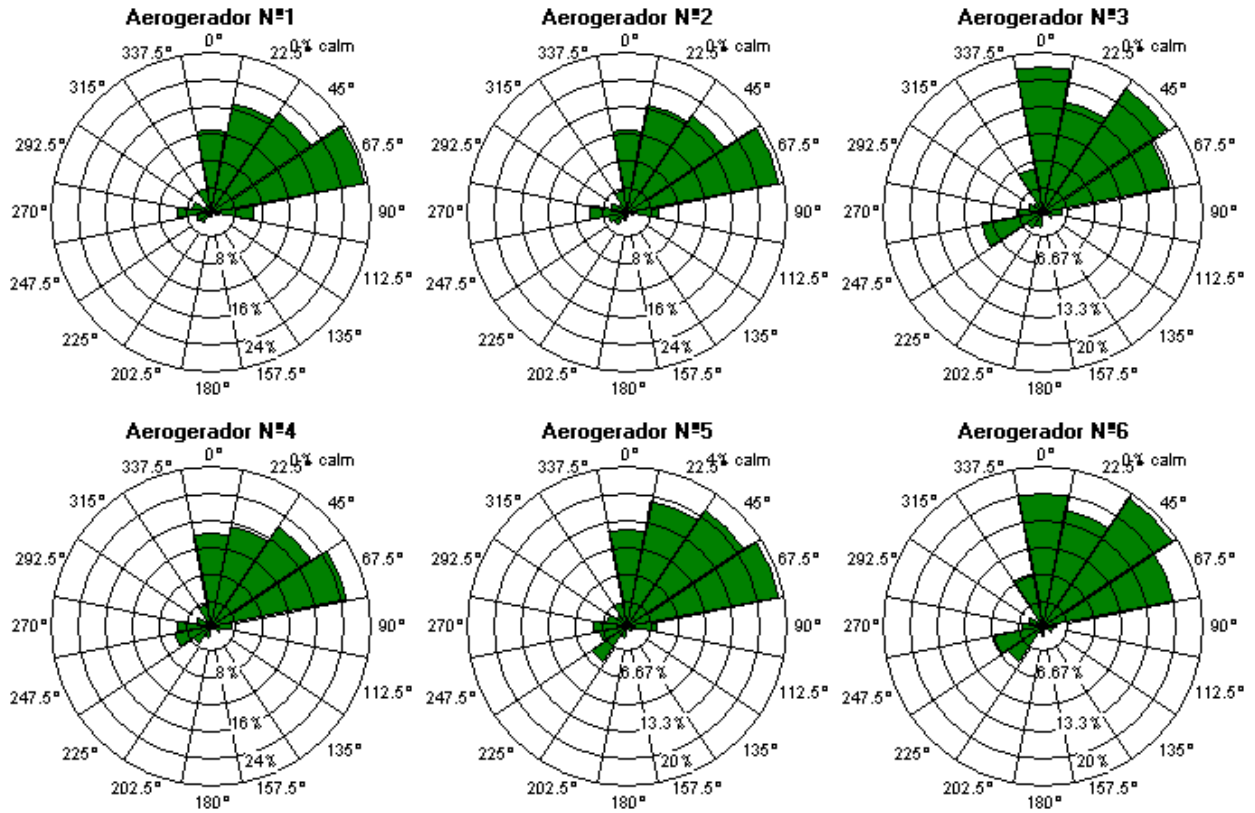


Figura 56: Rosas-dos-ventos do mês de Maio dos aerogeradores do parque 1

JUNHO

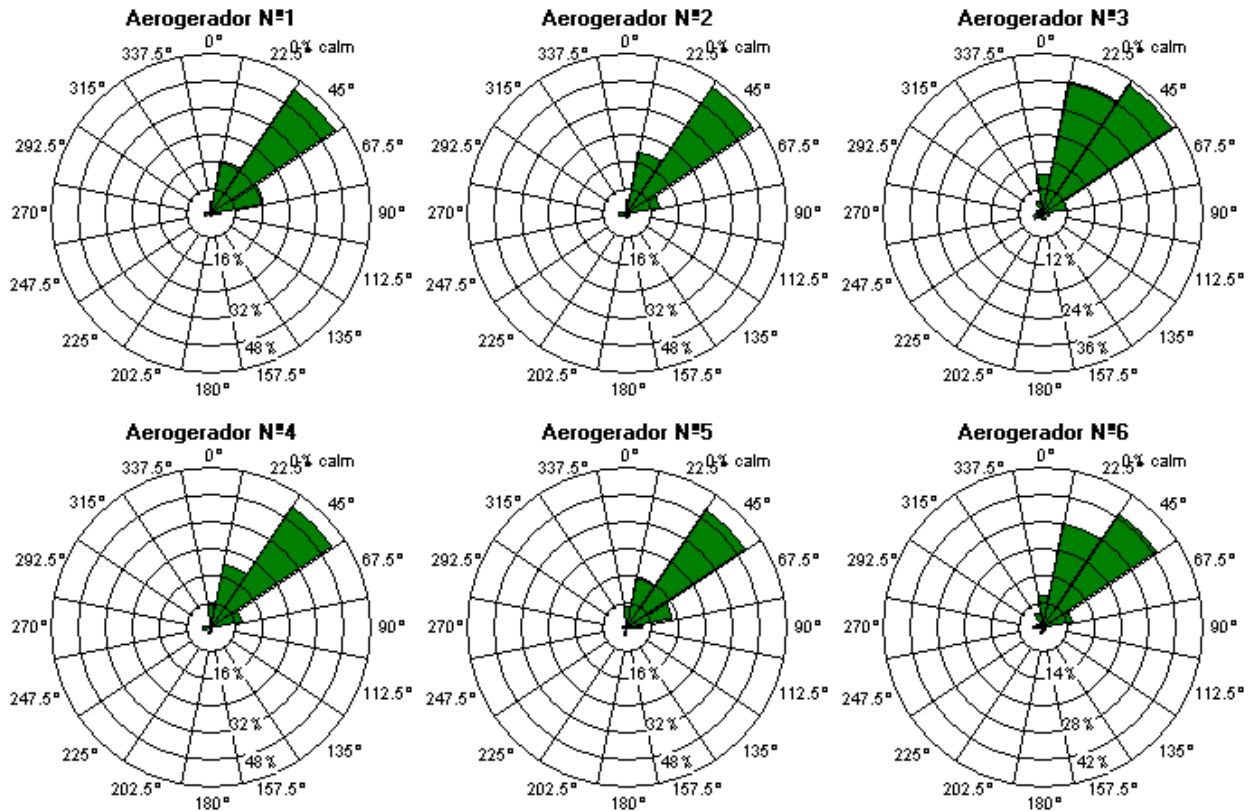


Figura 57: Rosas-dos-ventos do mês de Junho dos aerogeradores do parque 1

JULHO

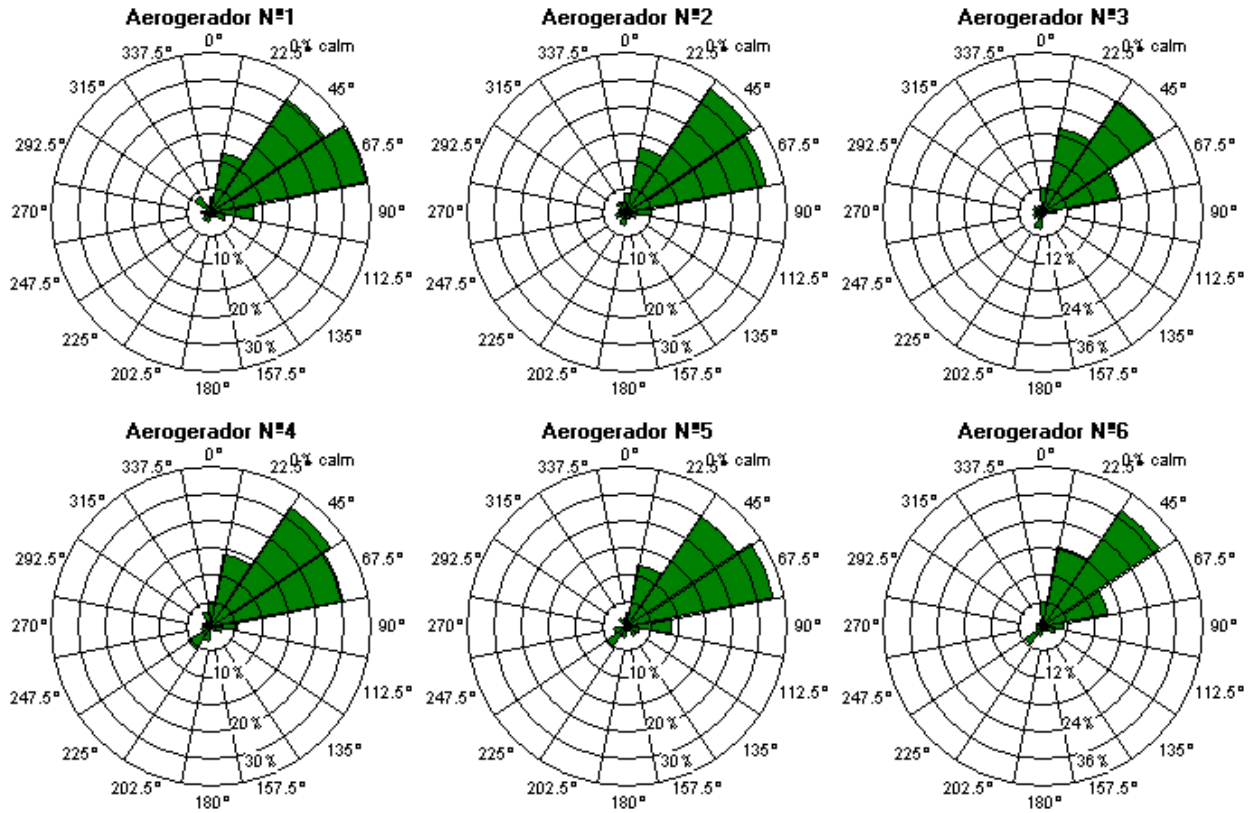


Figura 58: Rosas-dos-ventos do mês de Julho dos aerogeradores do parque 1

AGOSTO

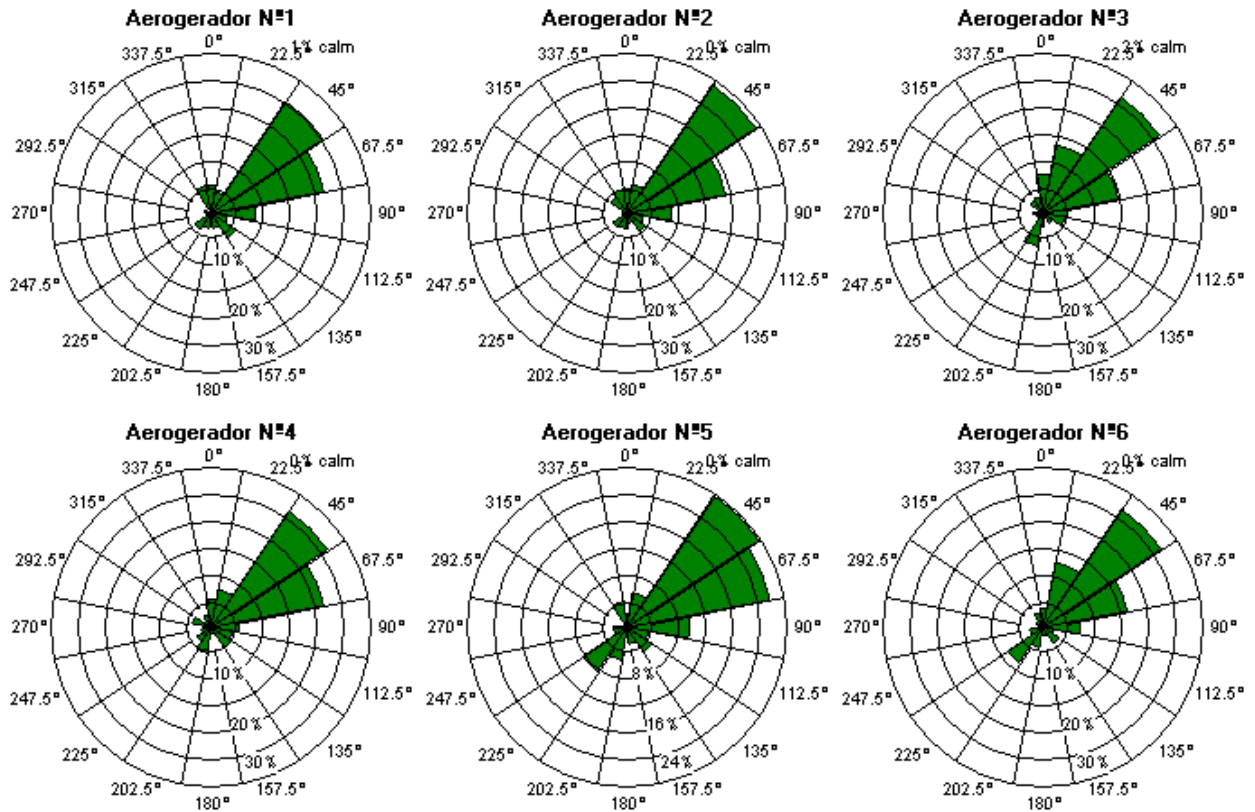


Figura 59: Rosas-dos-ventos do mês de Agosto dos aerogeradores do parque 1

Parque Eólico 2

SETEMBRO

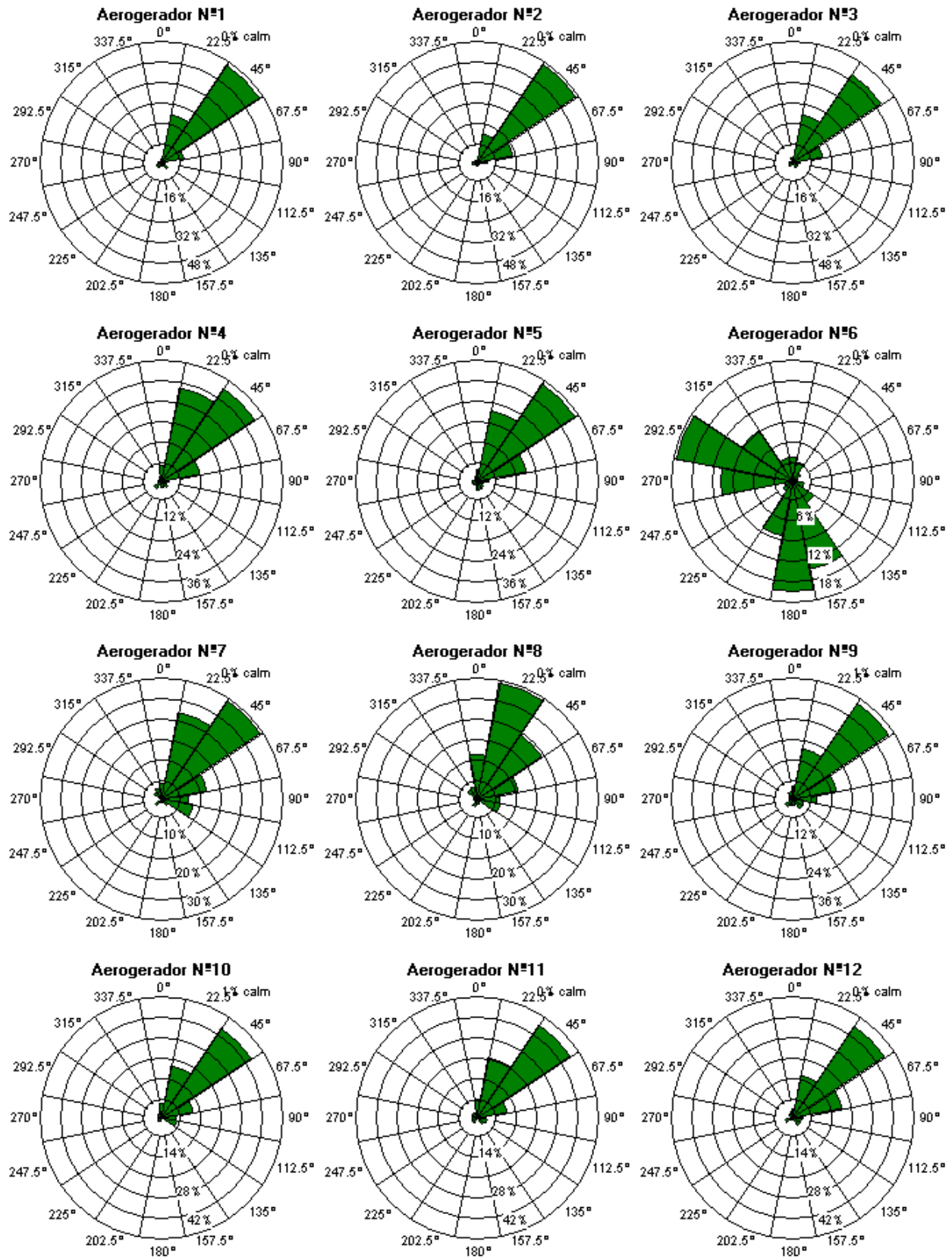


Figura 60: Rosas-dos-ventos do mês de Setembro dos aerogeradores do parque 2

OUTUBRO

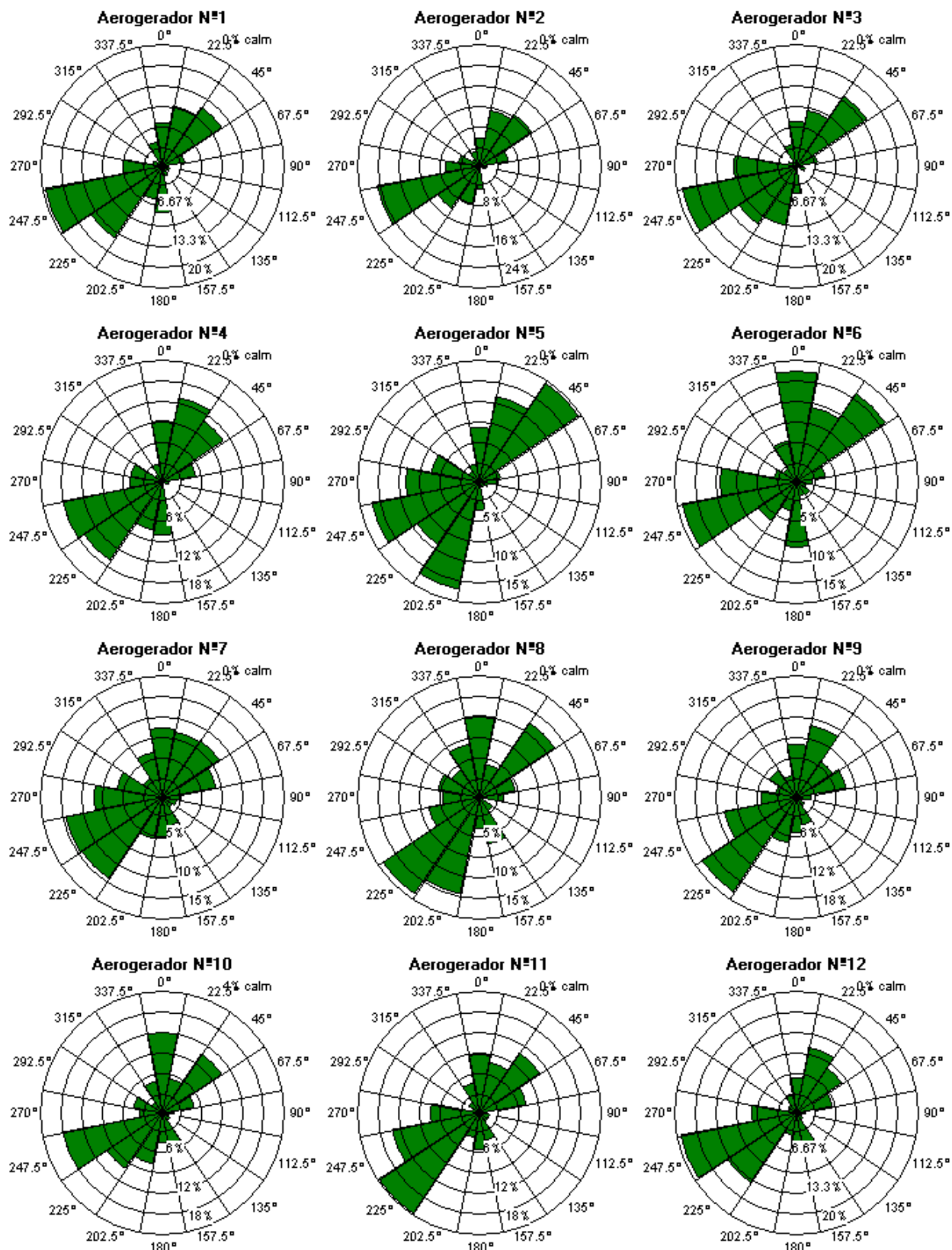


Figura 61: Rosas-dos-ventos do mês de Outubro dos aerogeradores do parque 2

NOVEMBRO

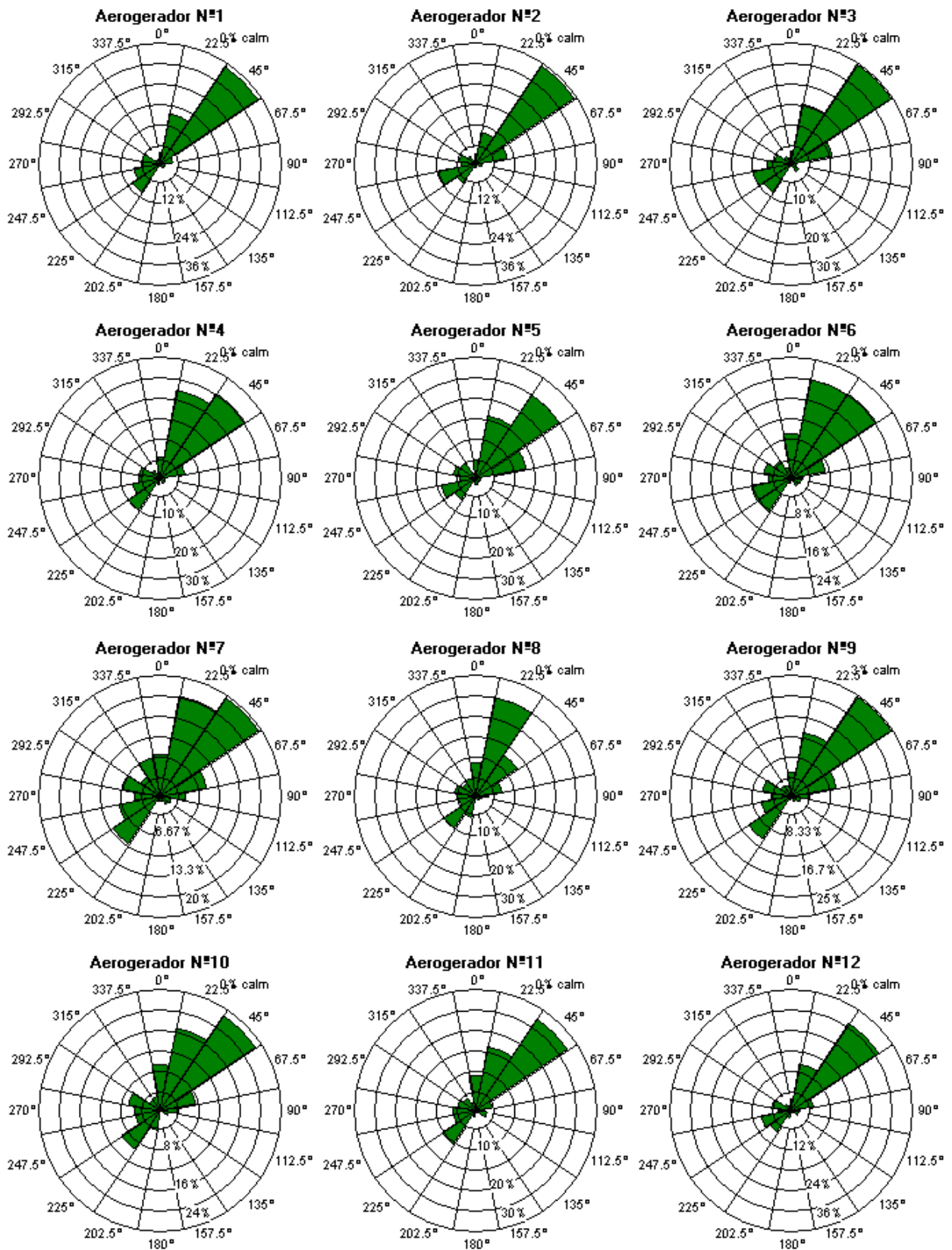


Figura 62: Rosas-dos-ventos do mês de Novembro dos aerogeradores do parque 2

DEZEMBRO

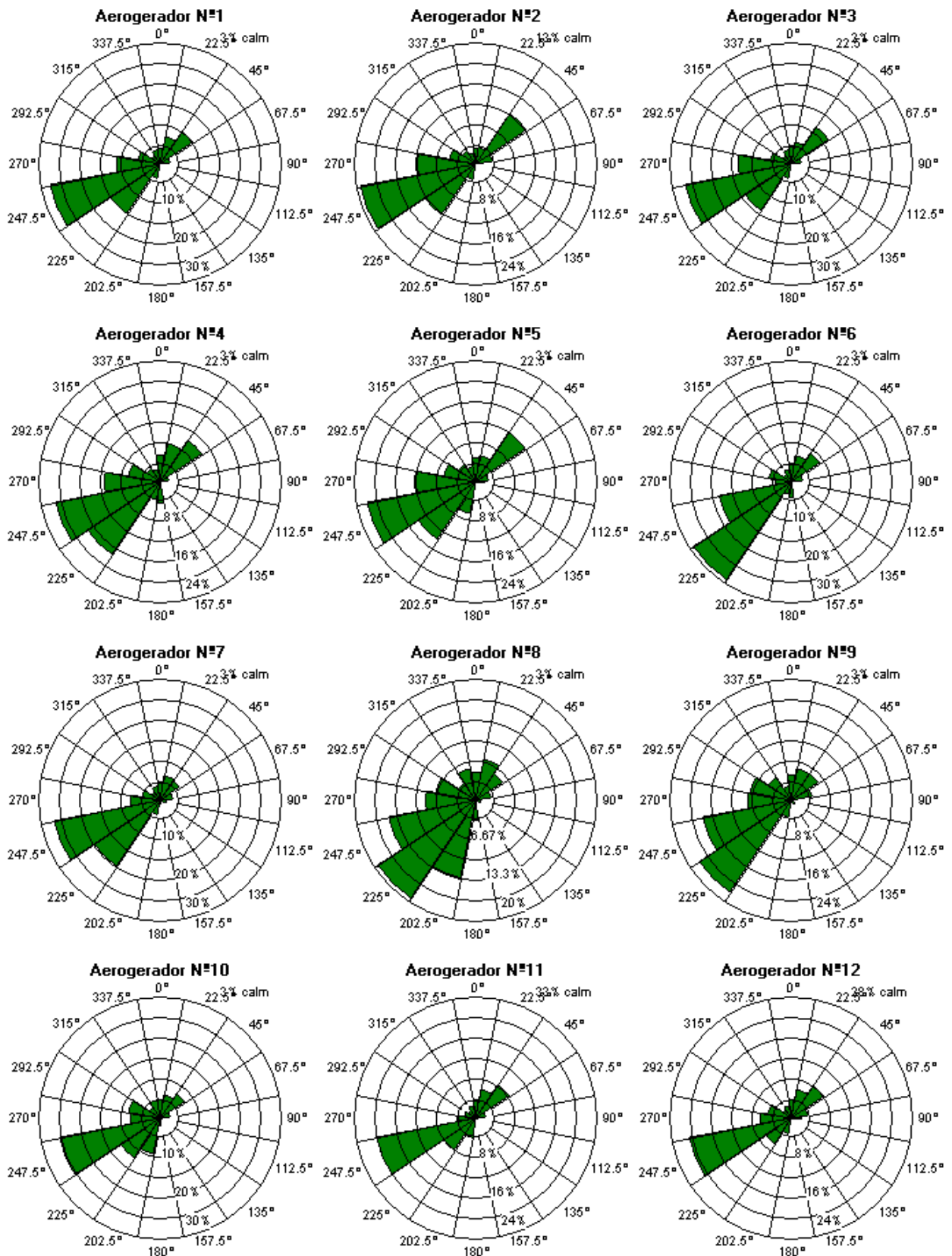


Figura 63: Rosas-dos-ventos do mês de Dezembro dos aerogeradores do parque 2

JANEIRO

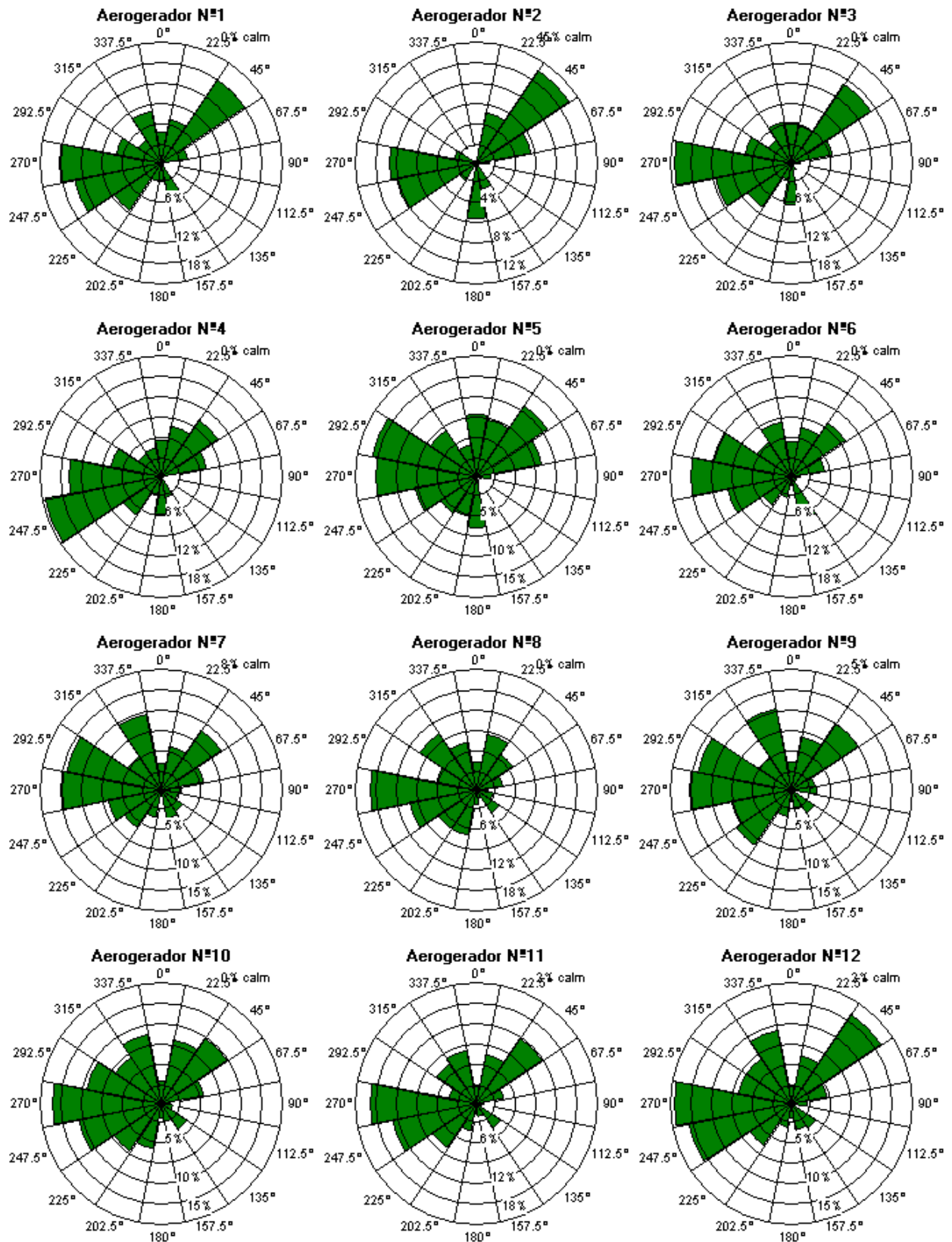


Figura 64: Rosas-dos-ventos do mês de Janeiro dos aerogeneradores do parque 2

FEVEREIRO

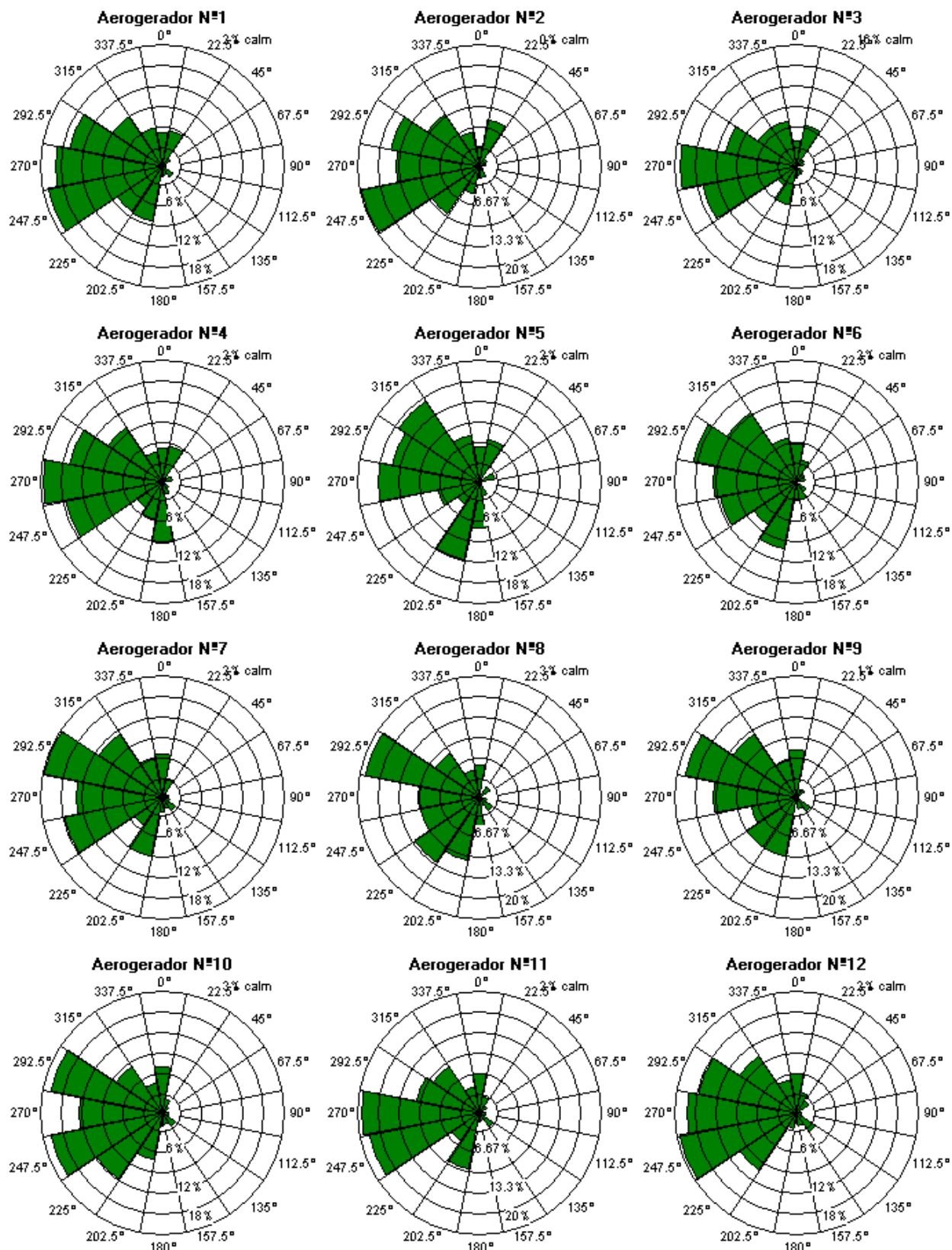


Figura 65: Rosas-dos-ventos do mês de Fevereiro dos aerogeradores do parque 2

MARÇO

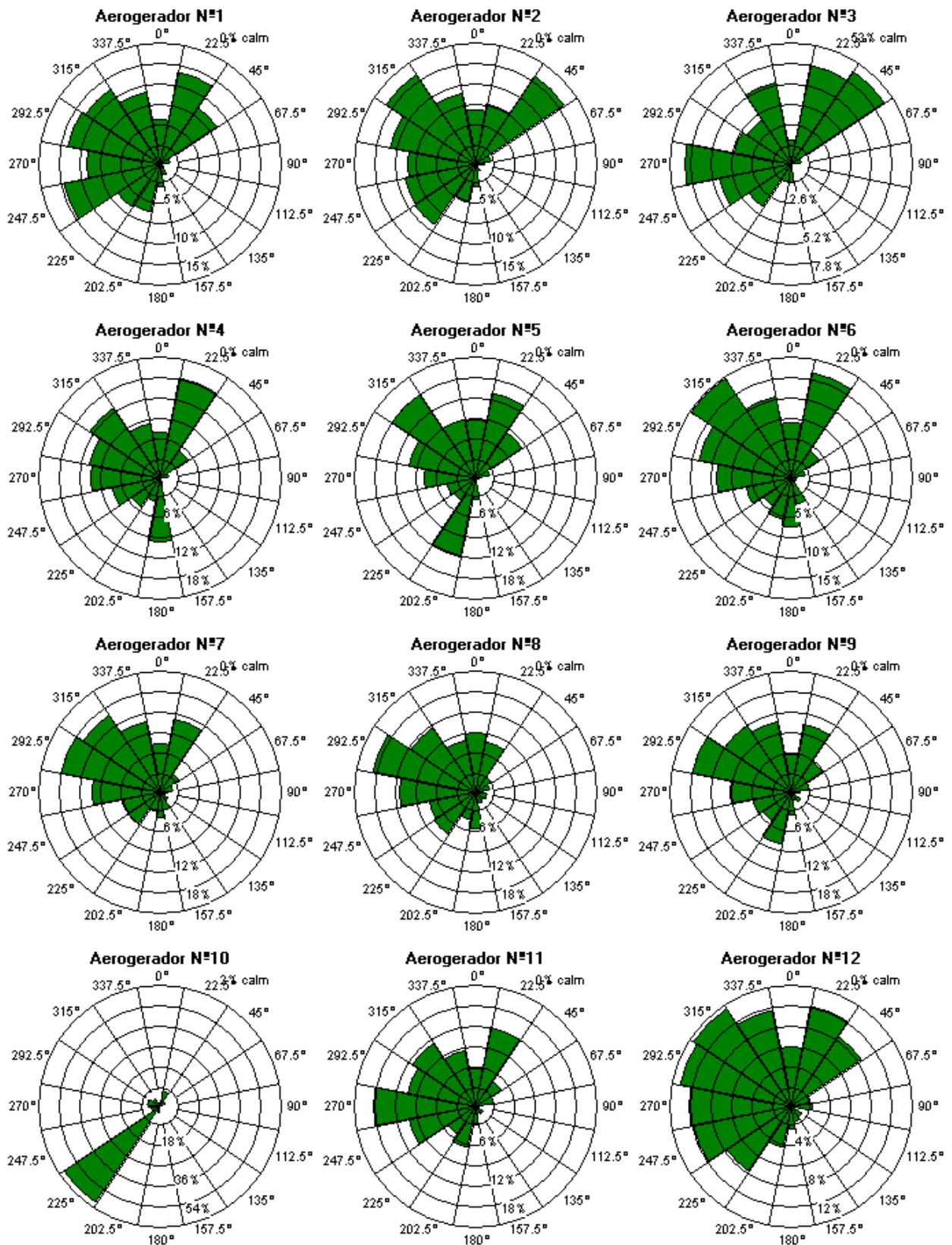


Figura 66: Rosas-dos-ventos do mês de Março dos aerogeradores do parque 2

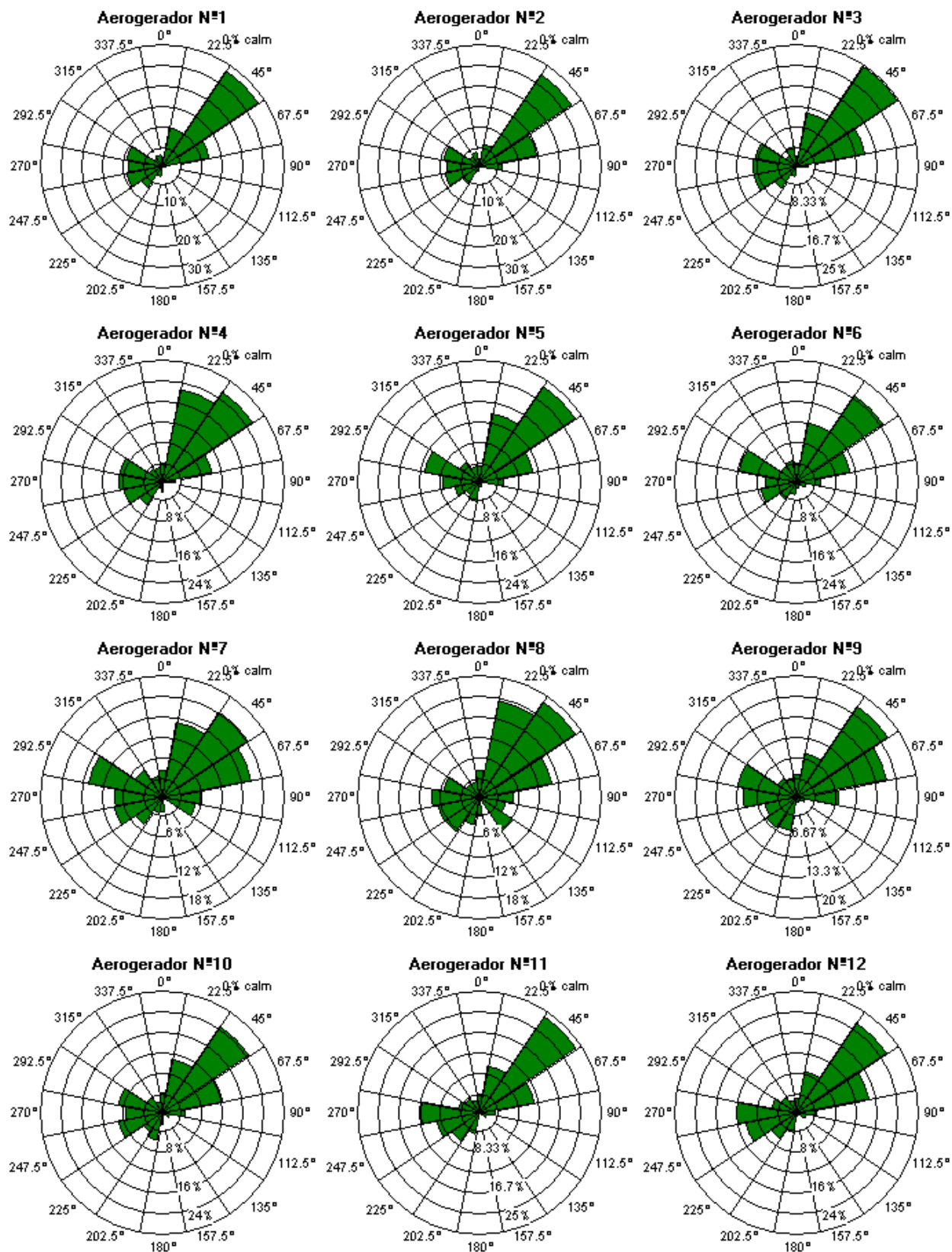


Figura 67: Rosas-dos-ventos do mês de Abril dos aerogeradores do parque 2

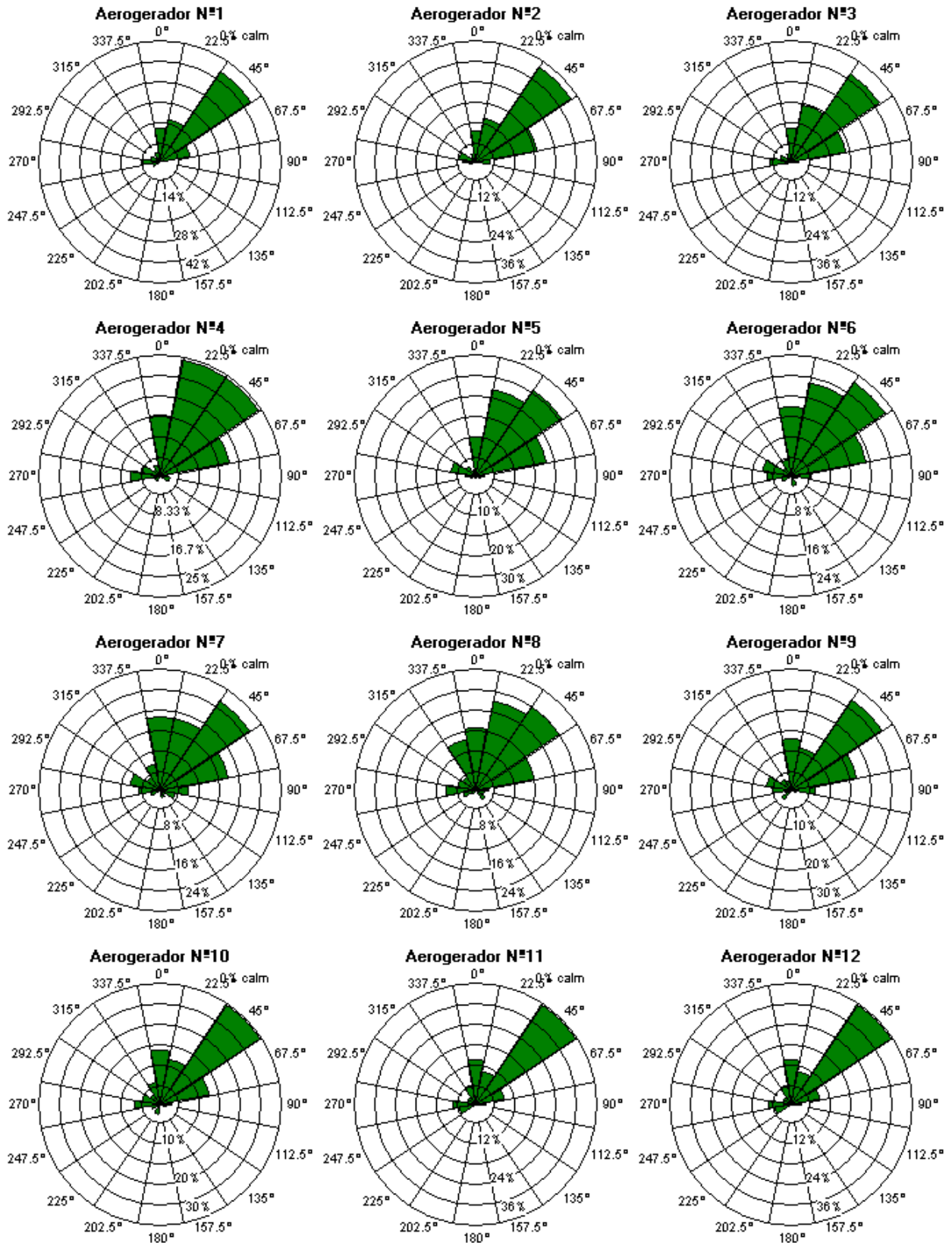


Figura 68: Rosas-dos-ventos do mês de Maio dos aerogeradores do parque 2

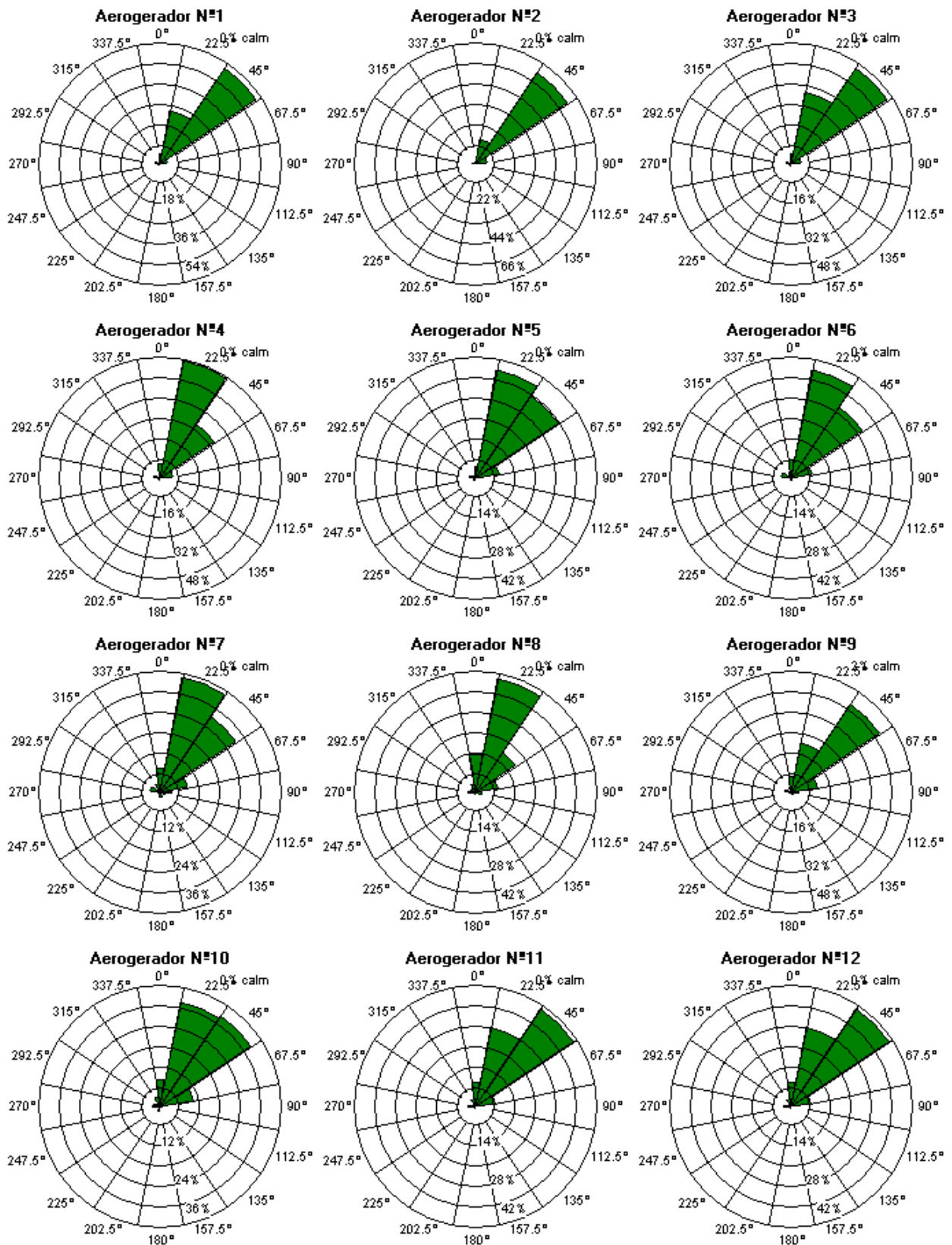


Figura 69: Rosas-dos-ventos do mês de Junho dos aerogeneradores do parque 2

JULHO

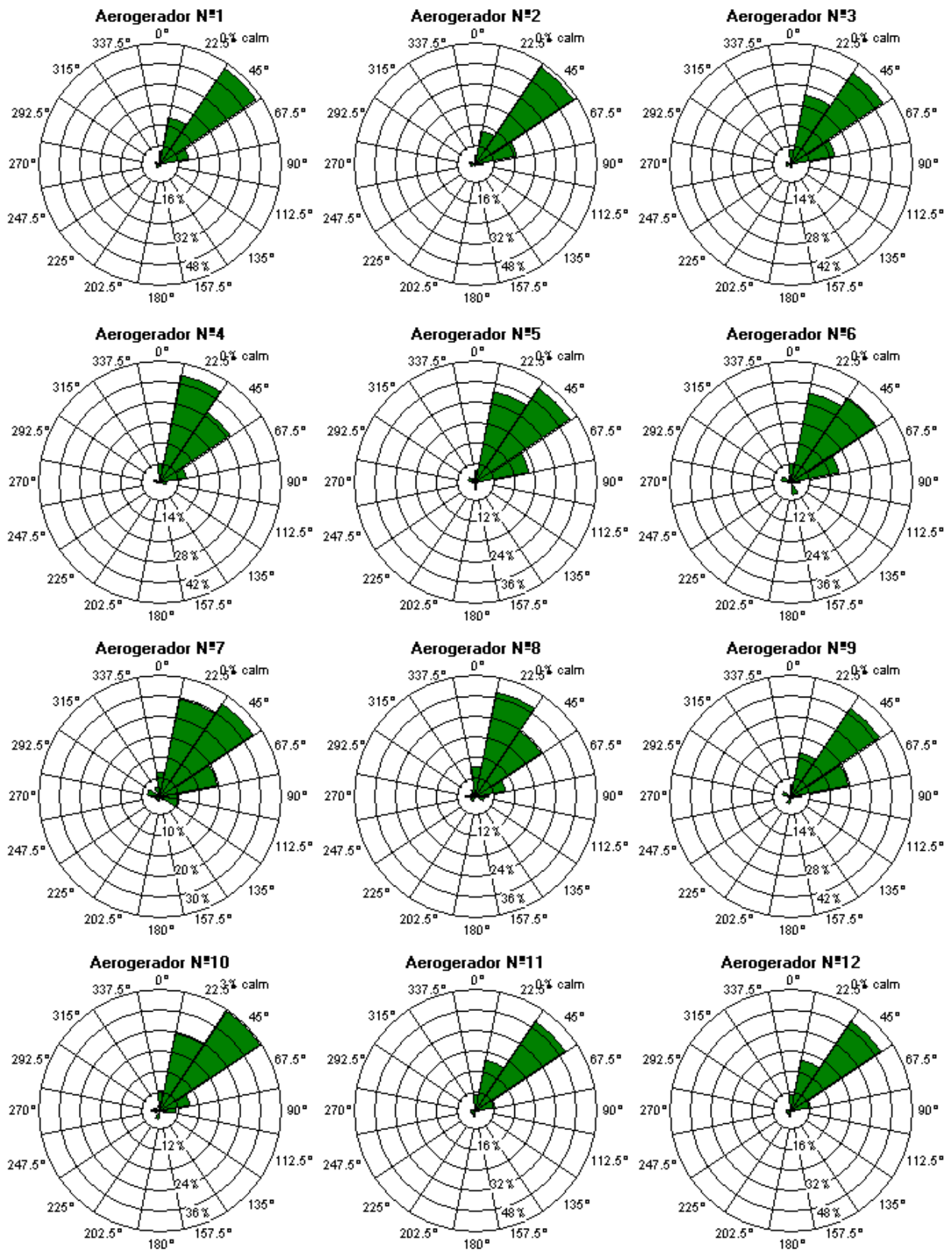


Figura 70: Rosas-dos-ventos do mês de Julho dos aerogeradores do parque 2

AGOSTO

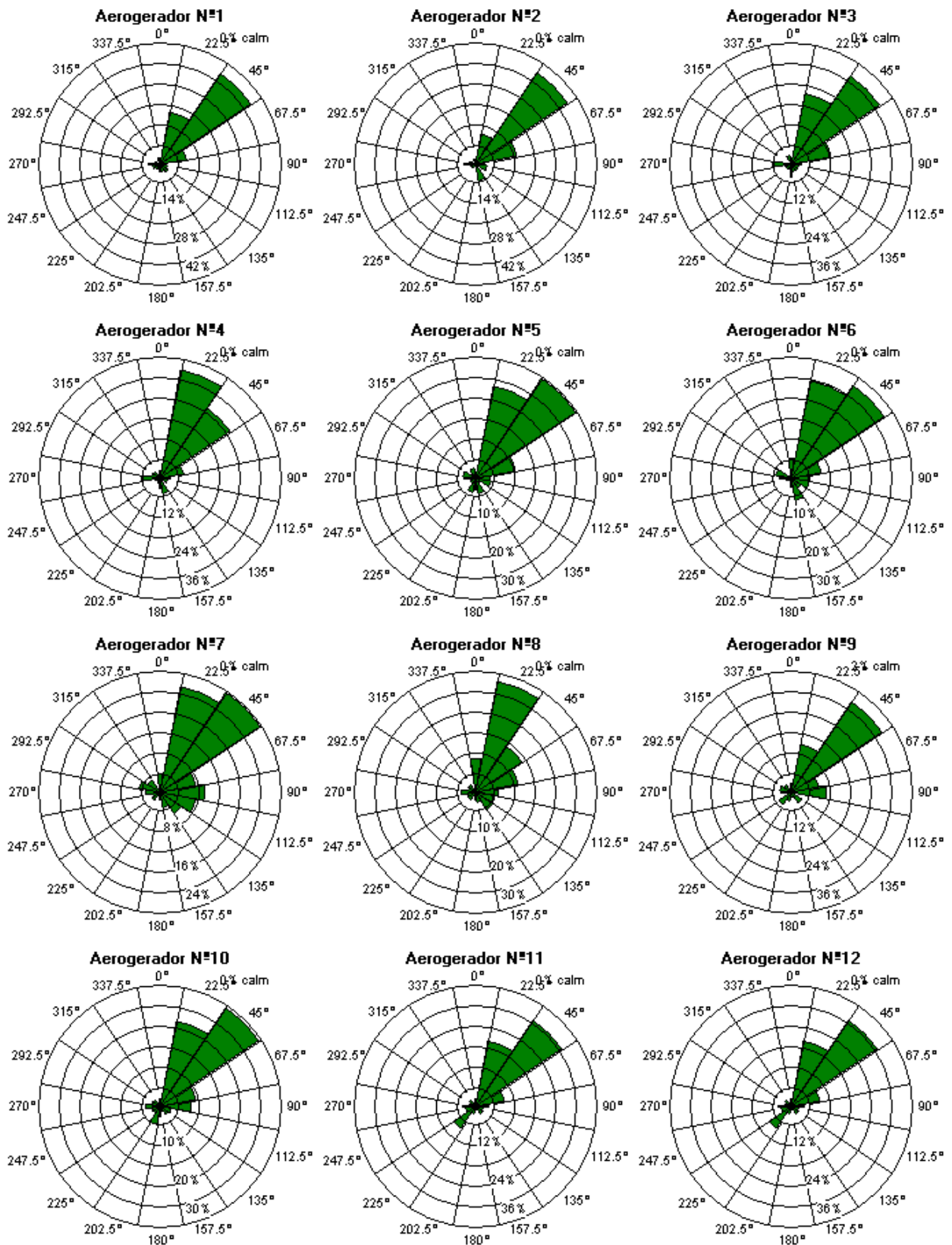
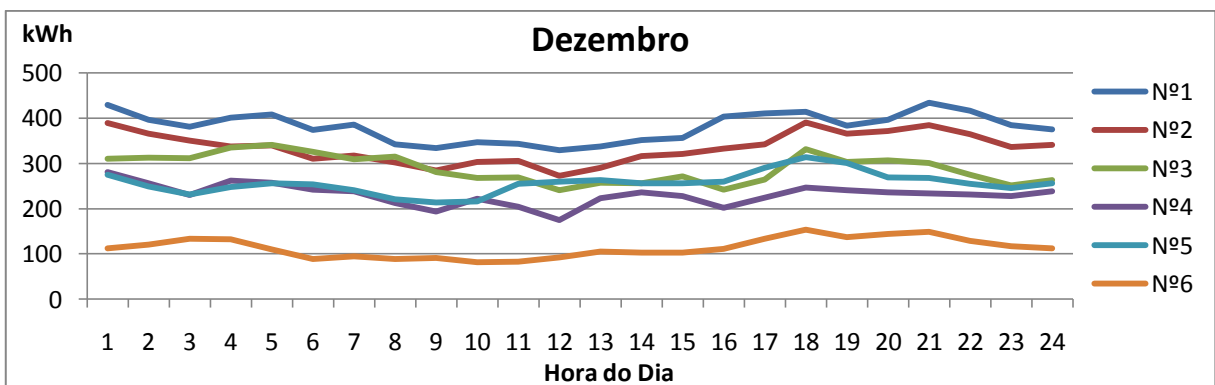
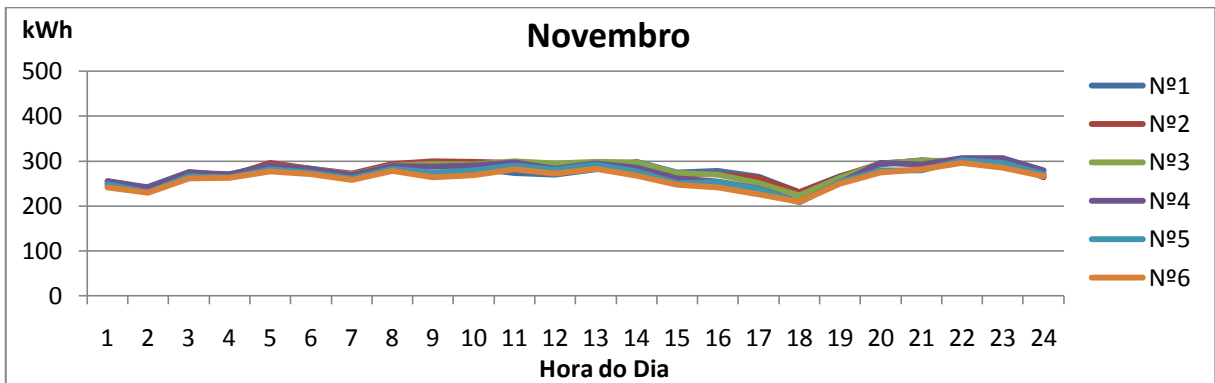
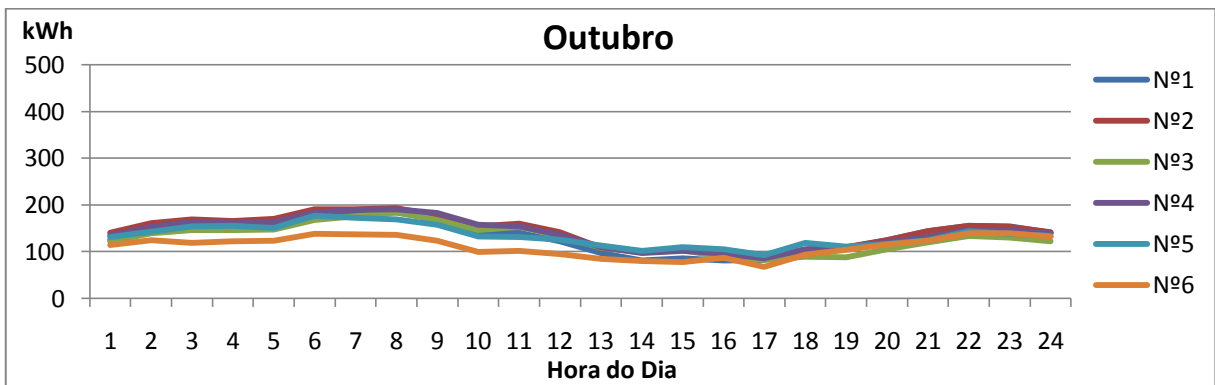
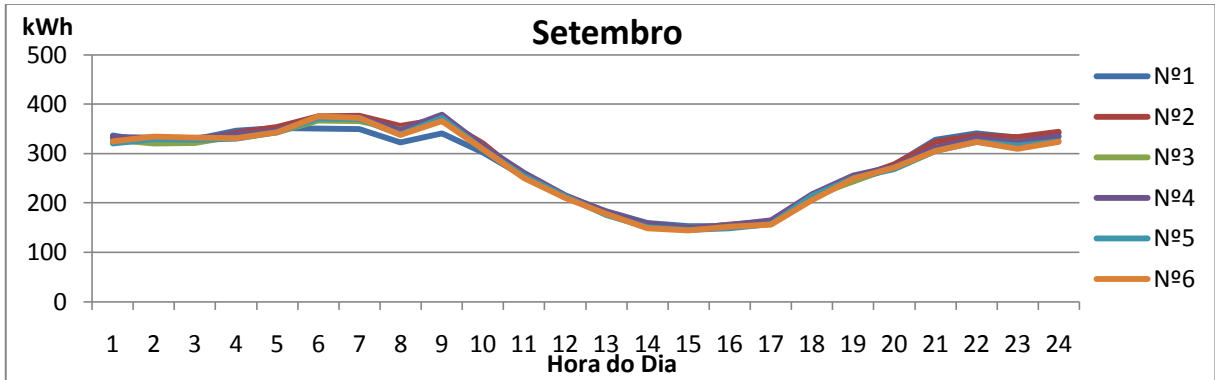
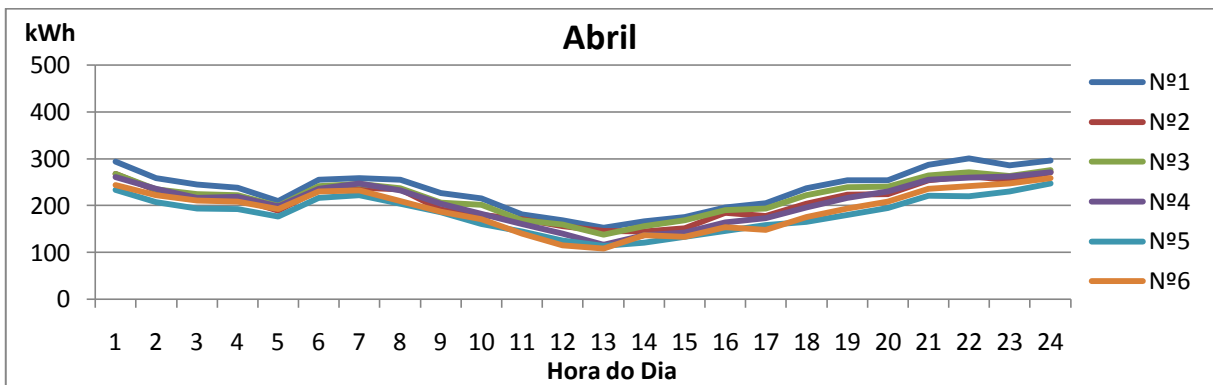
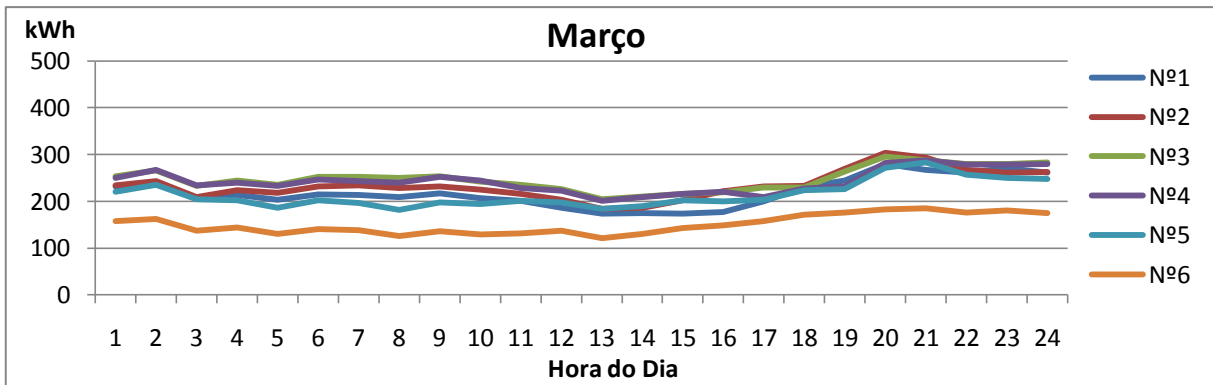
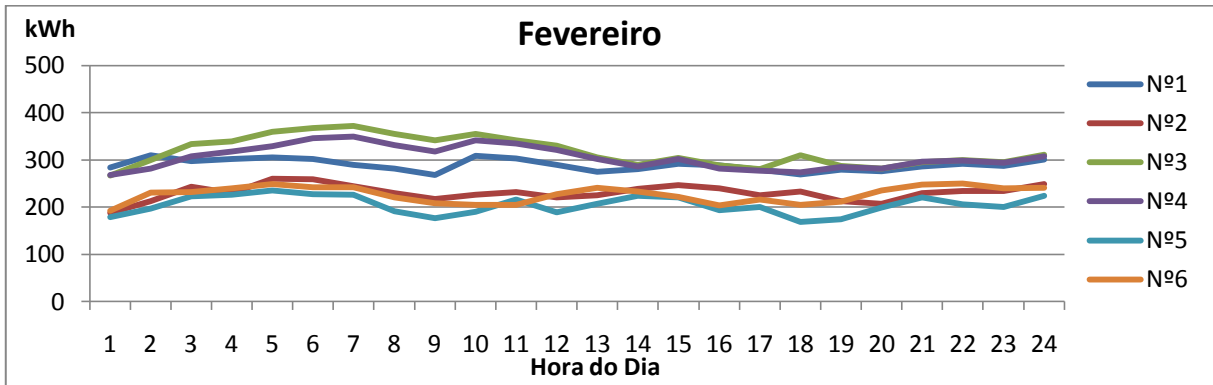
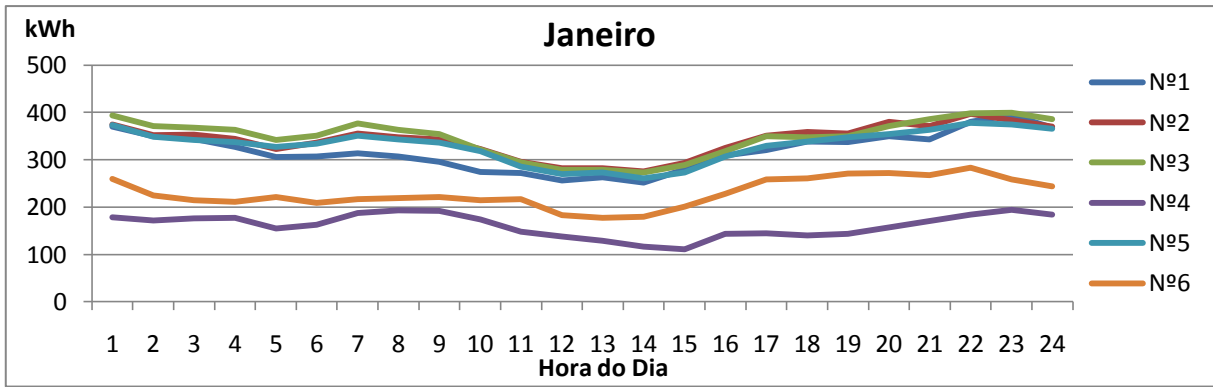


Figura 71: Rosas-dos-ventos do mês de Agosto dos aerogeradores do parque 2

Anexo D: Padrões Diários Médios Mensais da Produção

Parque Eólico 1





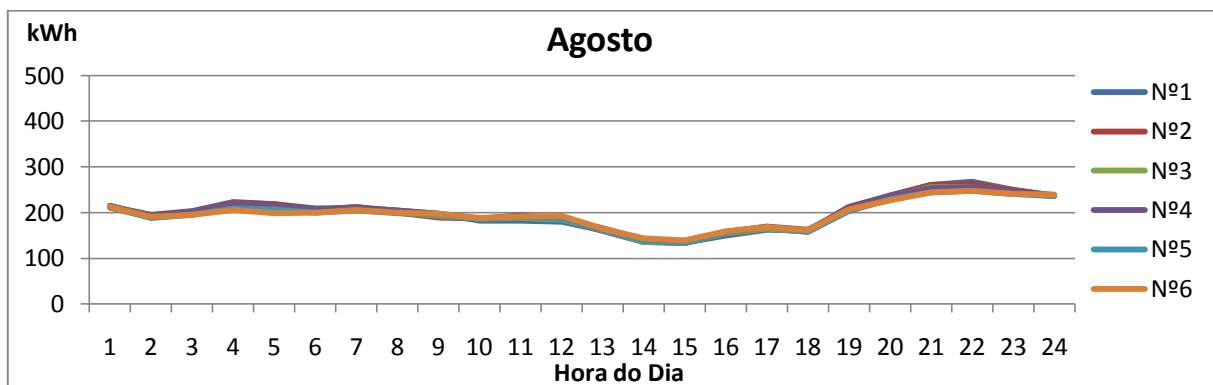
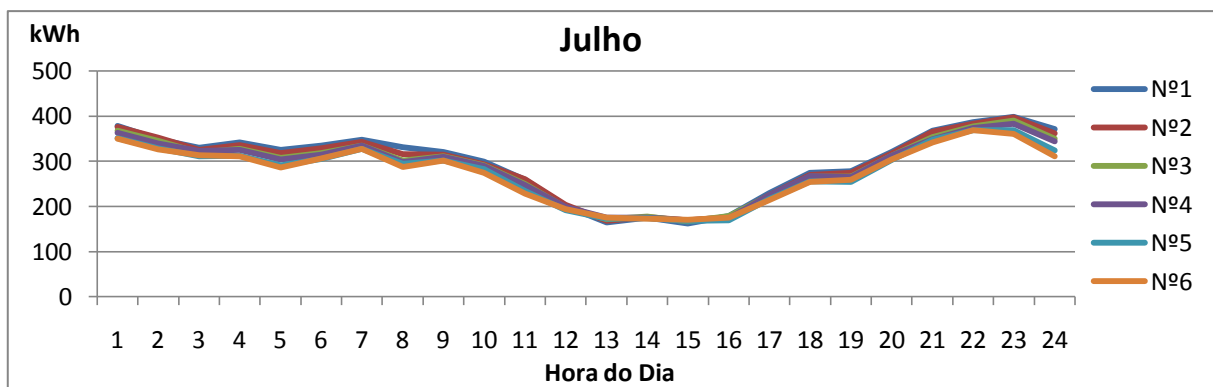
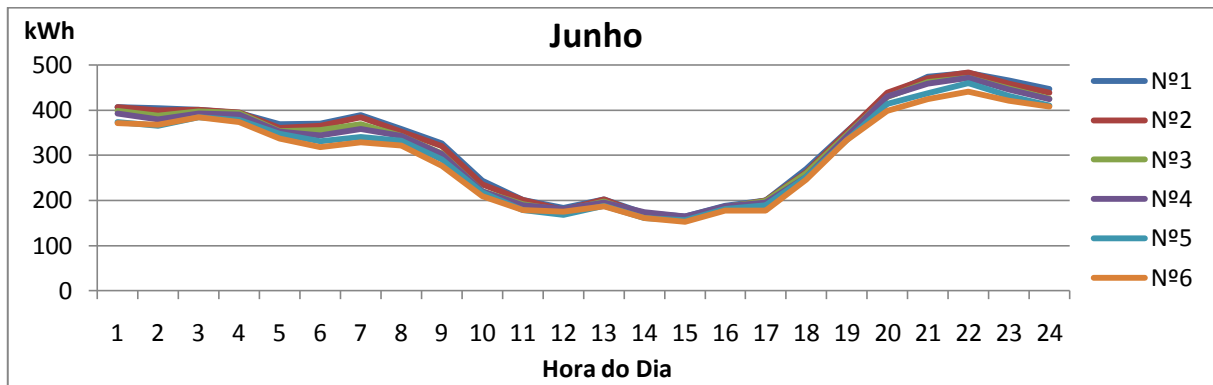
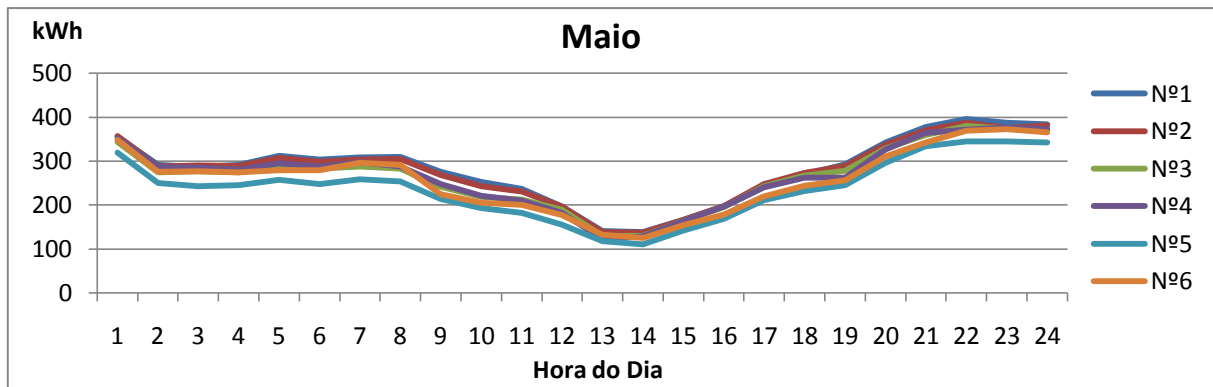
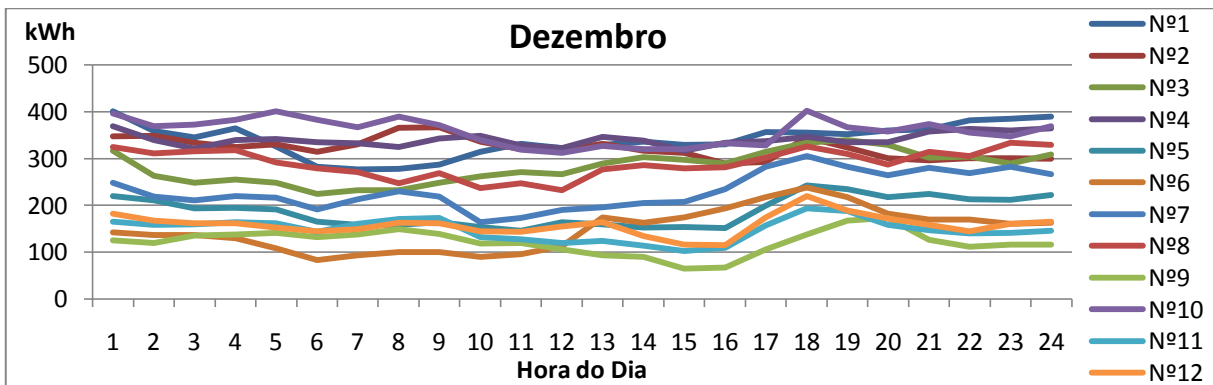
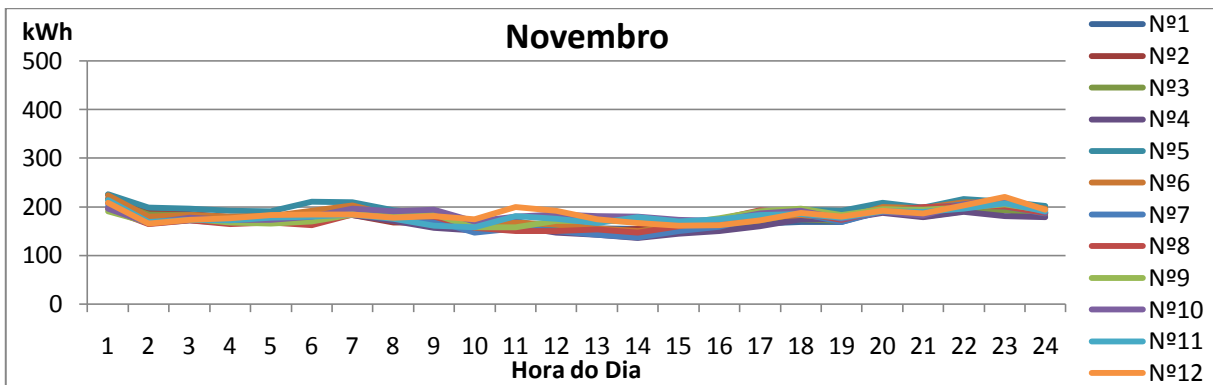
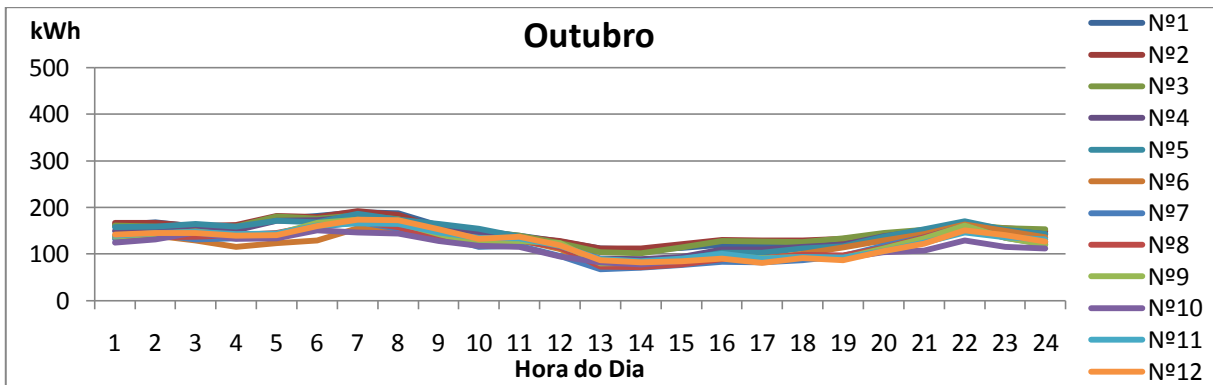
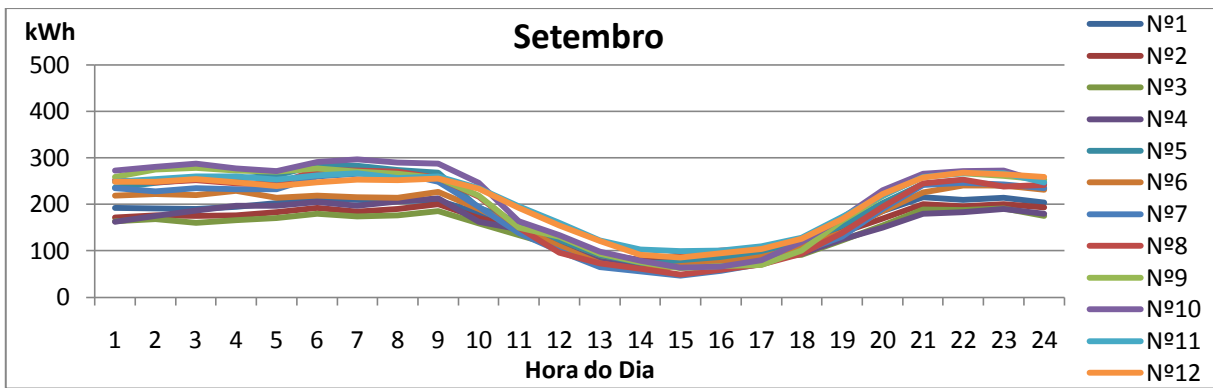
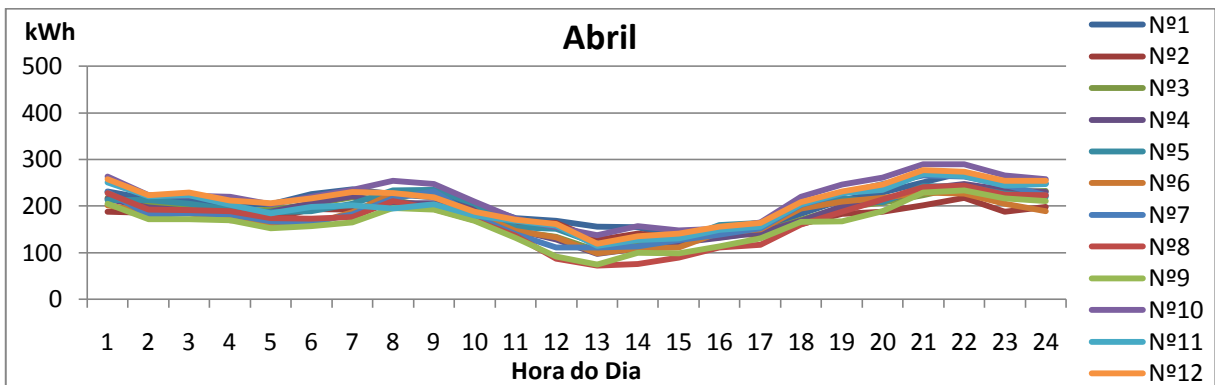
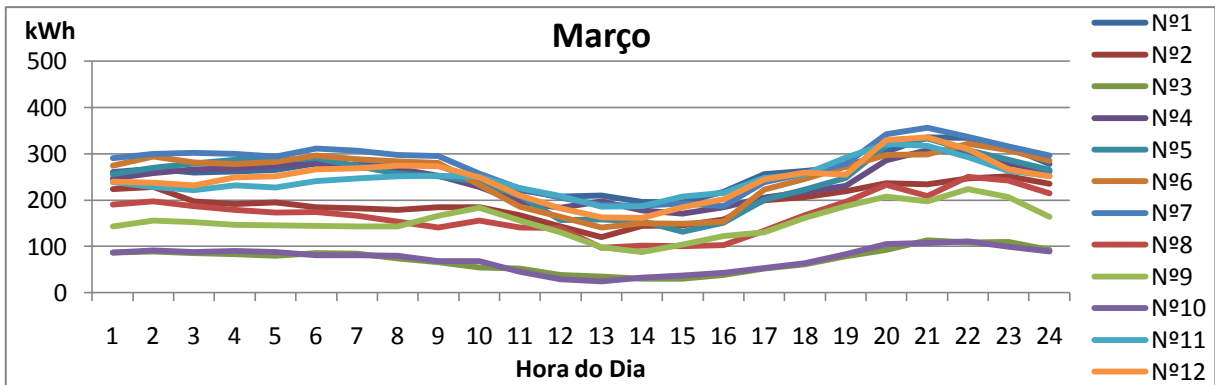
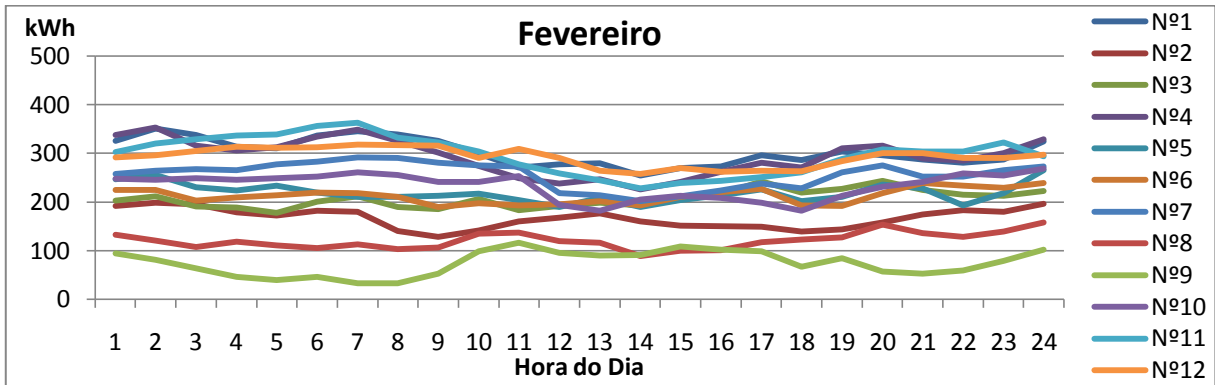
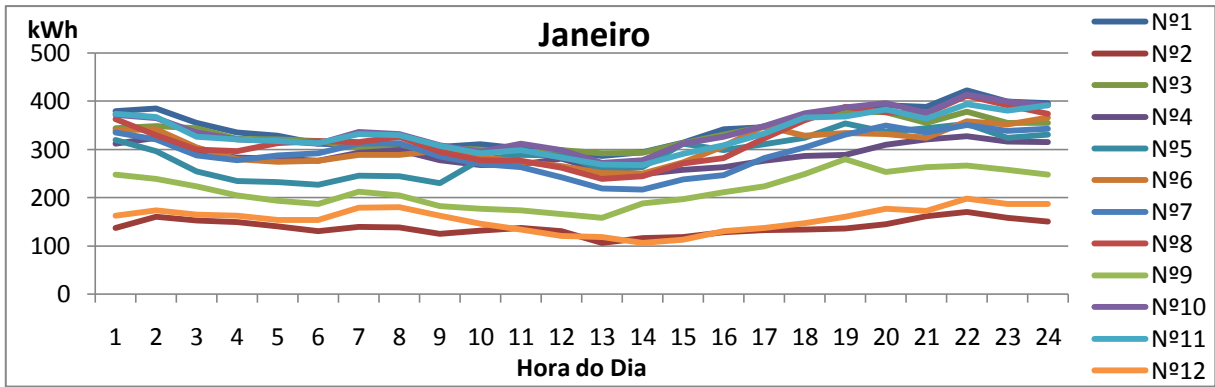


Figura 72: Padrões diários médios mensais da produção do parque 1

Parque Eólico 2





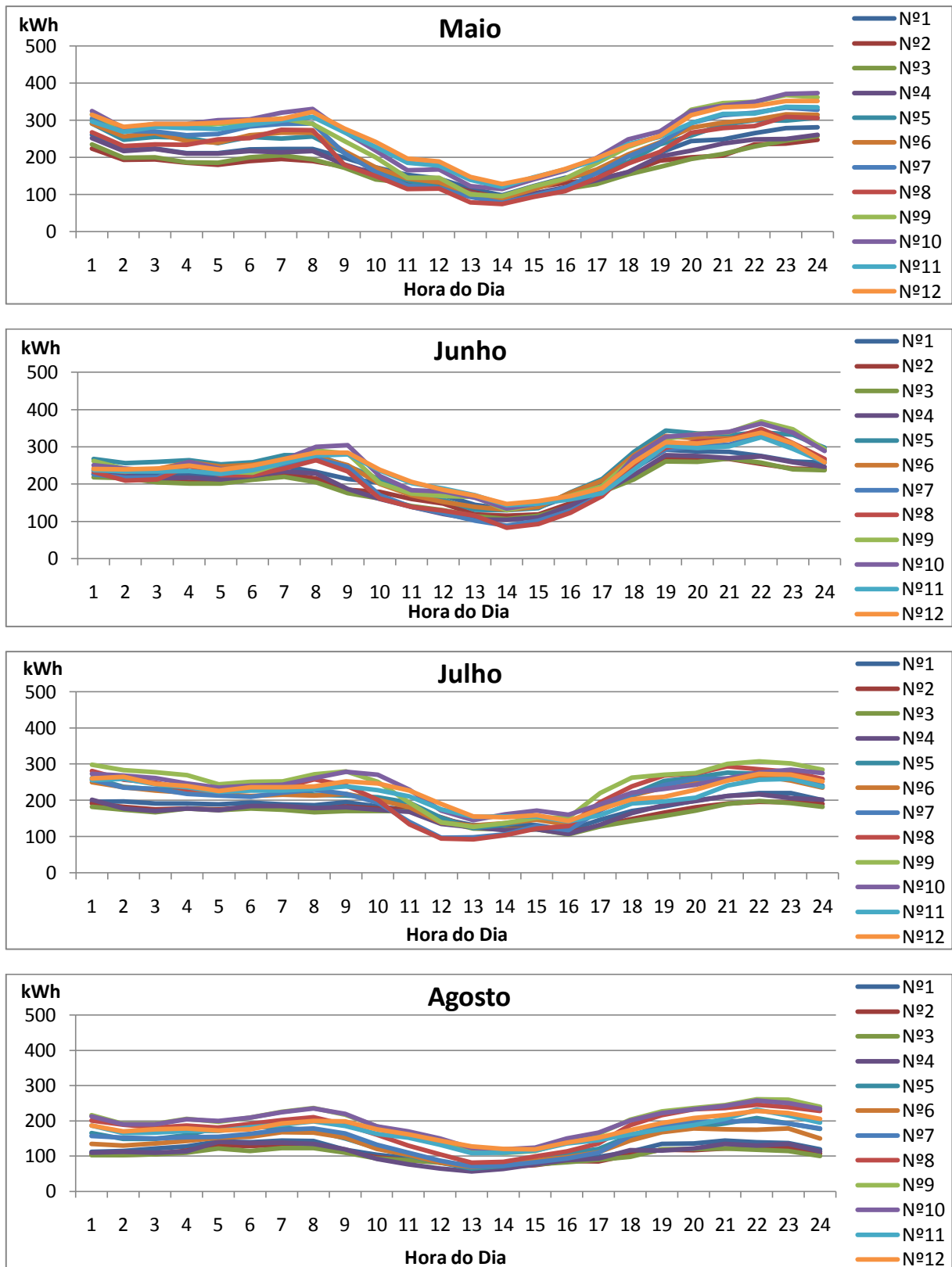
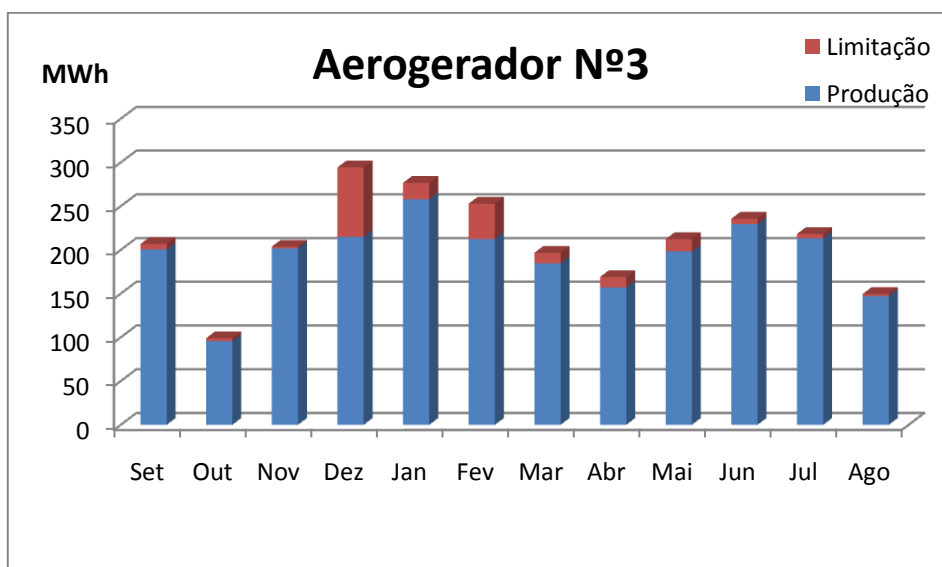
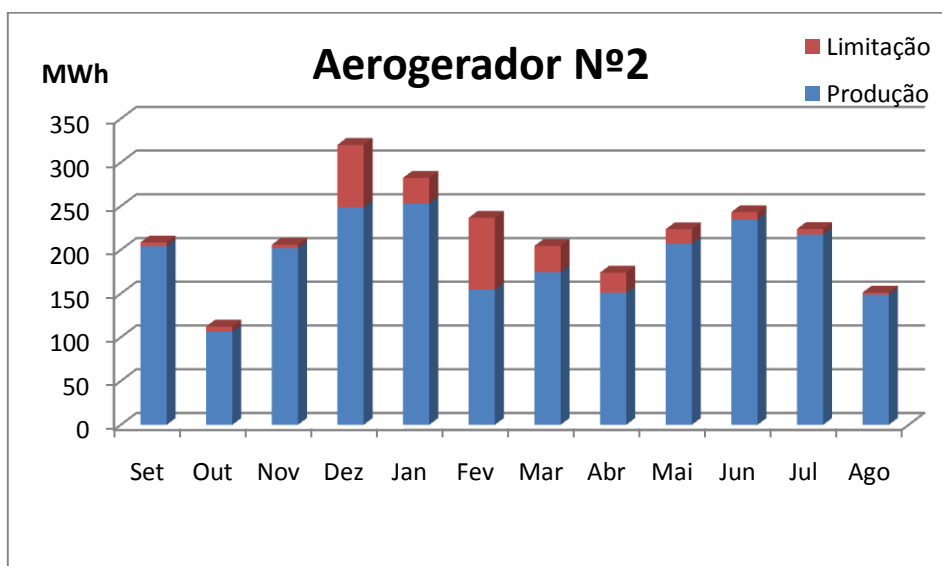
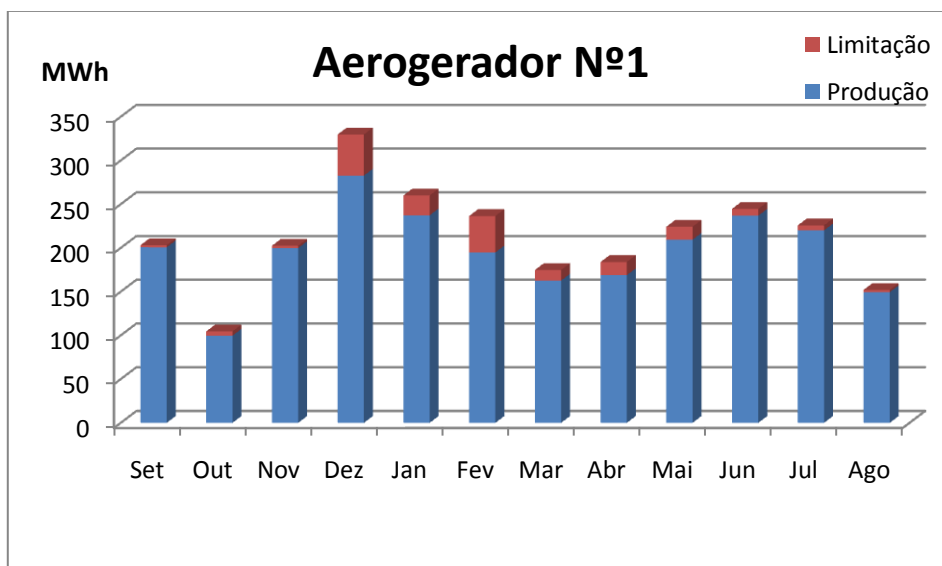


Figura 73: Padrões diários médios mensais da produção do parque 2

Anexo E: Produções e Limitações Mensais dos Parques Eólicos

Parque Eólico 1



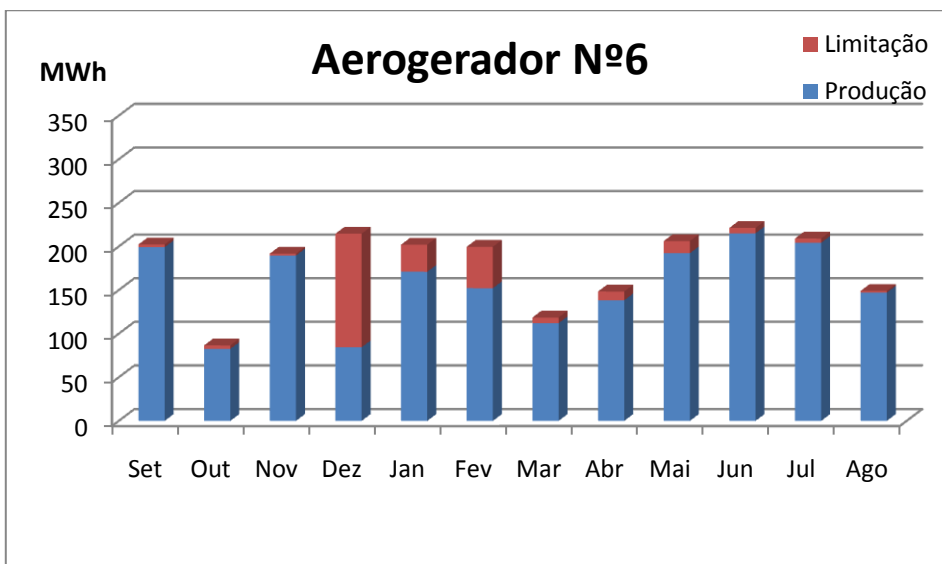
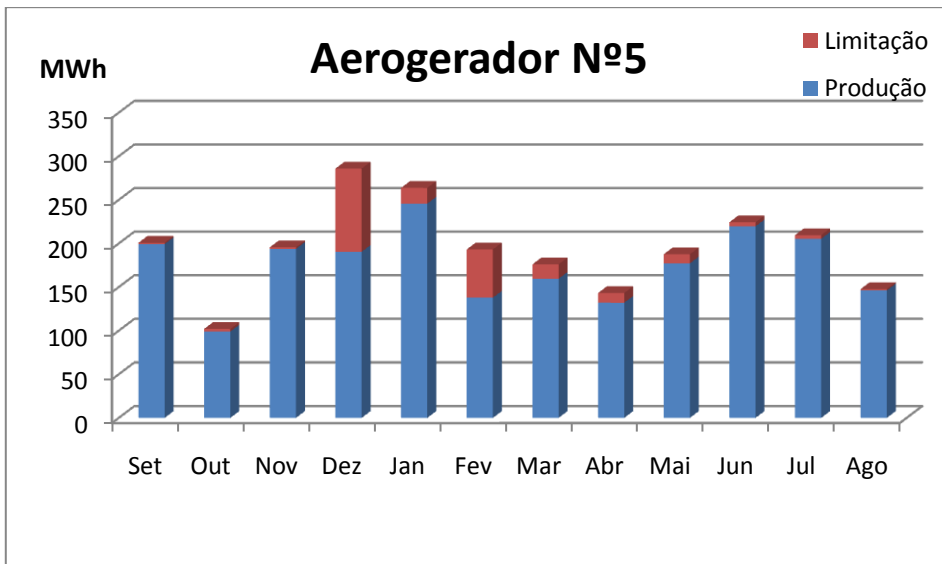
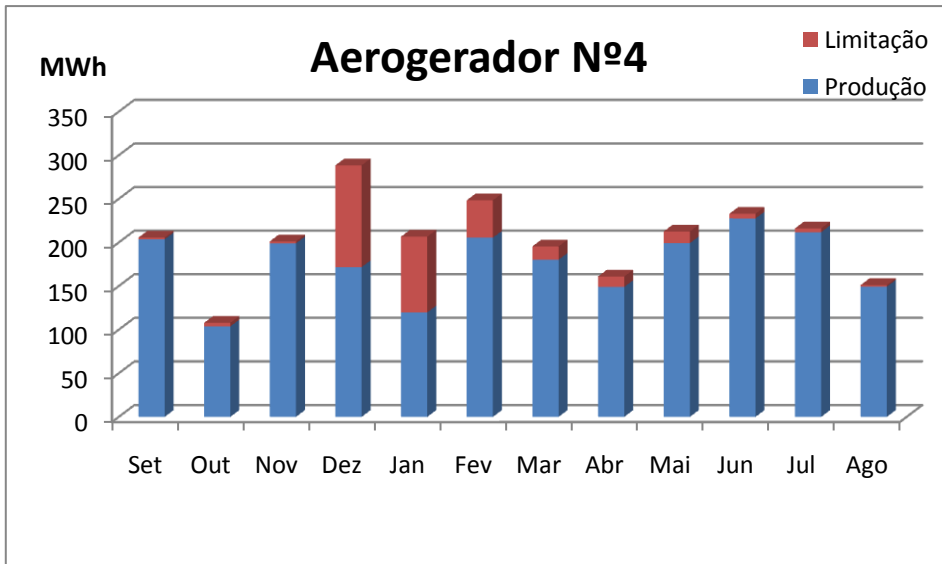


Figura 74: Produções e limitações mensais do parque 1

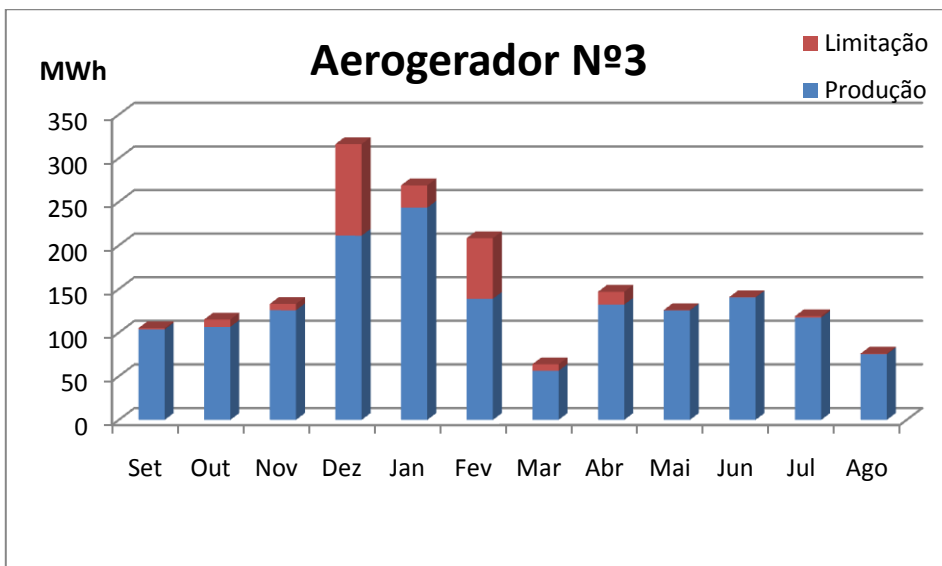
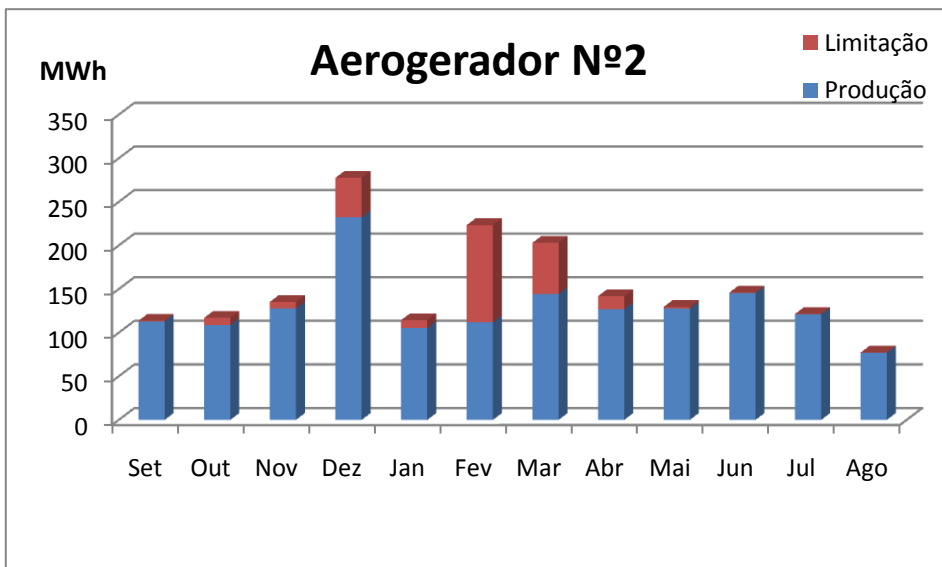
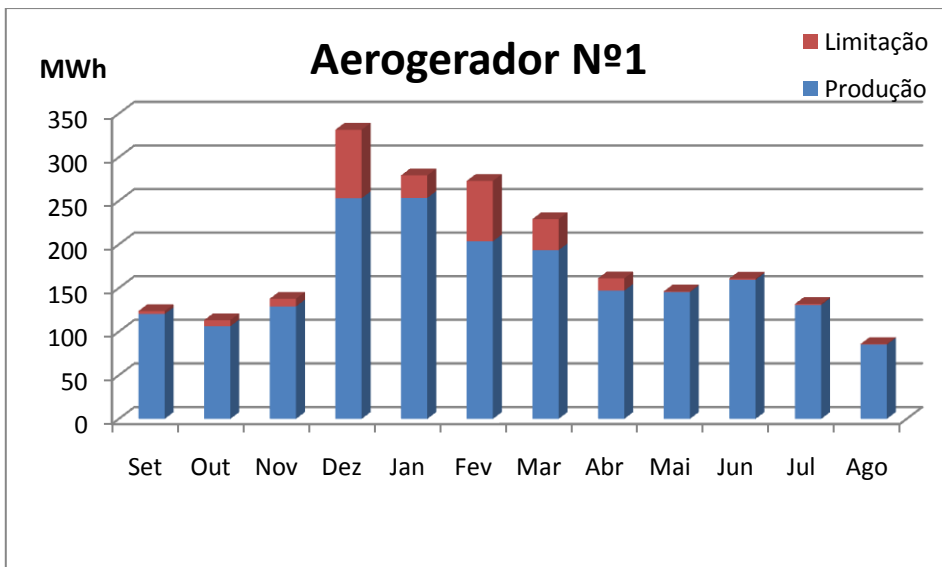
Parque Eólico 1							
Aerogeradores	Vestas V52 - 850 [kW]						
Nº	1	2	3	4	5	6	TOTAL
PRODUÇÃO [MWh]							
Set-09	200,7	204,2	200,7	203,7	199,3	199,2	1207,8
Out-09	99,7	106,6	95,7	103,8	99,1	82,6	587,5
Nov-09	199,9	202,1	201,6	199,0	193,9	189,7	1186,0
Dez-09	282,7	248,7	215,0	171,7	190,5	84,4	1192,9
Jan-10	237,3	253,2	257,9	119,8	245,7	171,0	1285,0
Fev-10	194,9	154,5	212,4	205,5	137,9	152,2	1057,4
Mar-10	162,7	174,6	184,8	180,2	159,5	112,0	973,7
Abr-10	168,8	151,0	157,1	149,0	132,1	138,3	896,3
Mai-10	209,4	207,2	198,3	199,2	177,2	192,3	1183,6
Jul-10	236,9	234,7	229,4	227,6	219,7	215,1	1363,4
Jul-10	220,0	217,7	213,2	211,8	205,4	204,3	1272,3
Ago-10	149,5	148,9	147,3	149,4	146,2	147,1	888,3
Total	2362,4	2303,4	2313,4	2120,6	2106,4	1888,1	13094,3

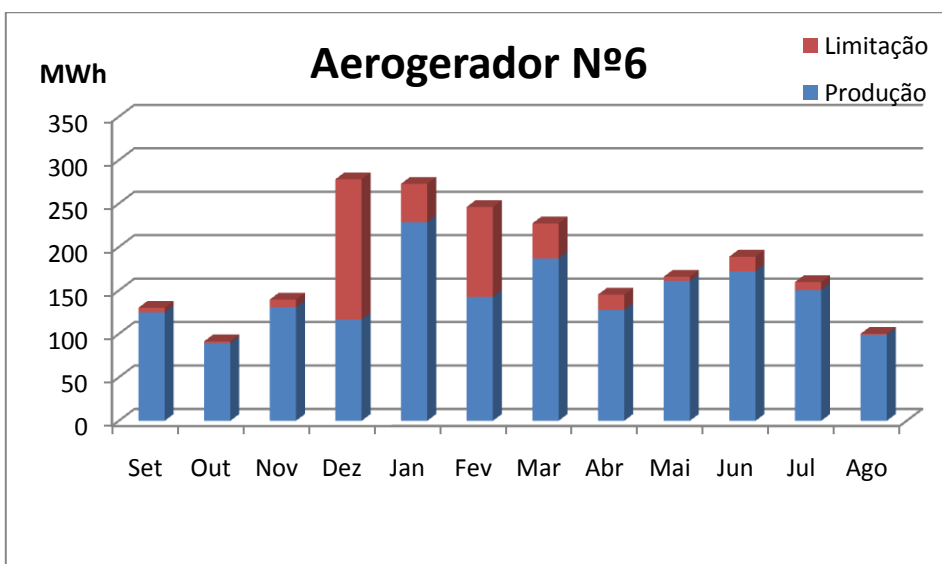
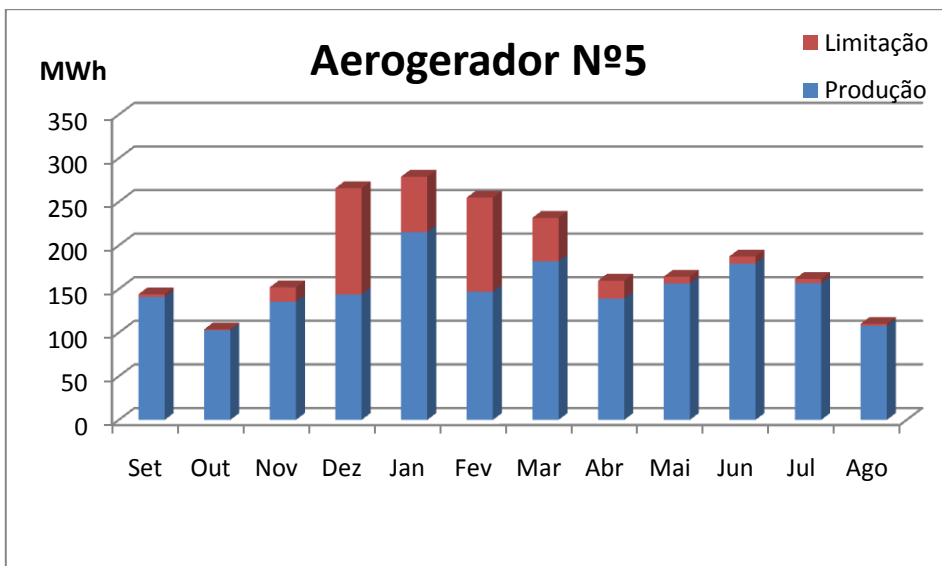
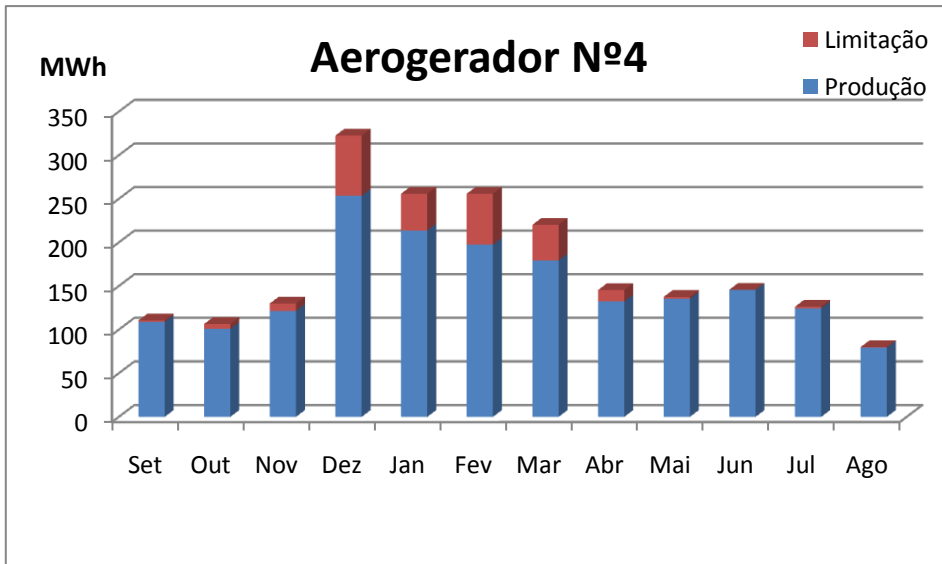
Tabela 16: Produção do parque eólico 1

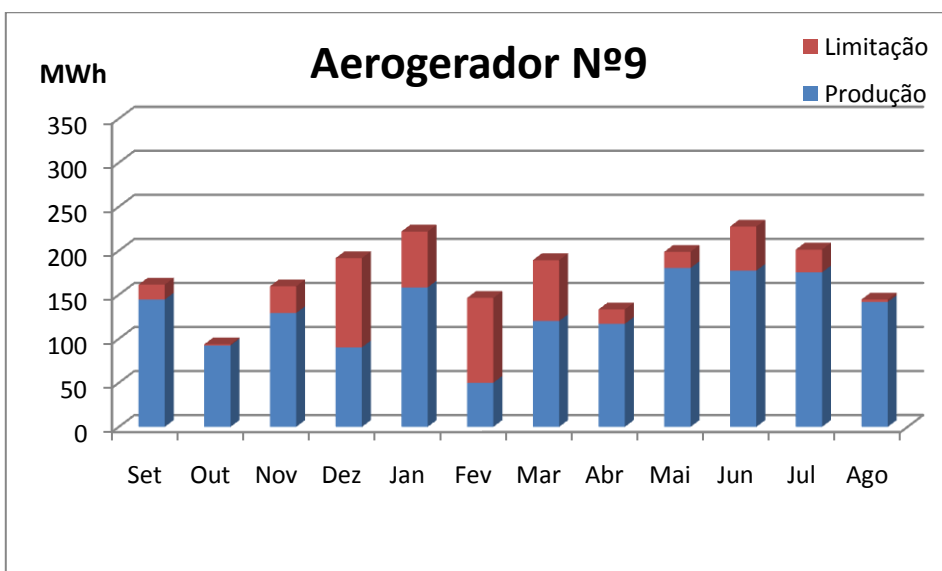
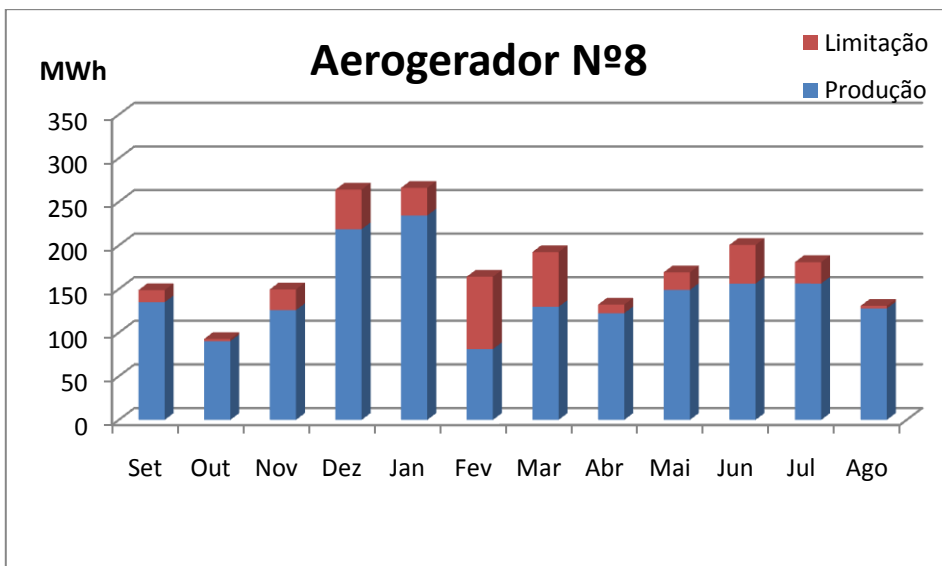
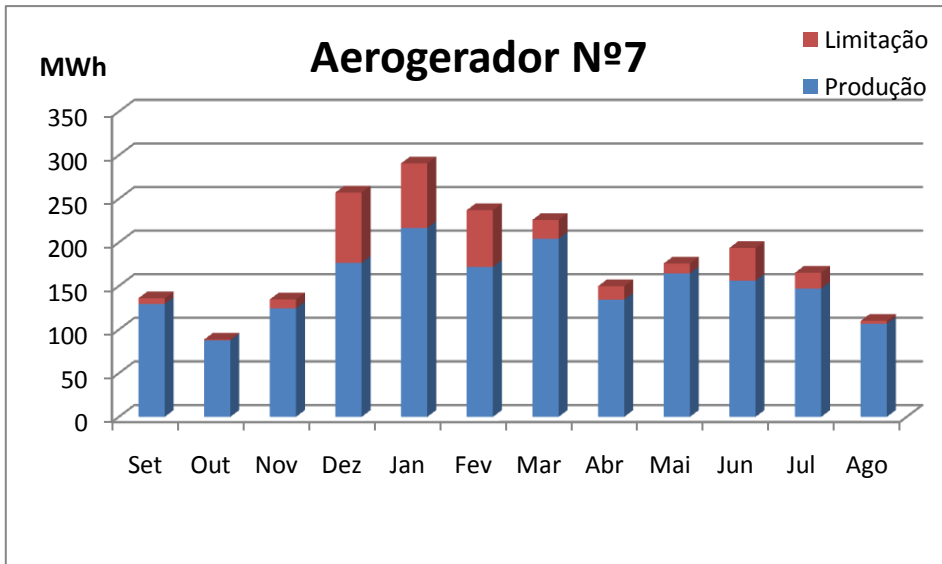
DIFERENÇA ENTRE A PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL E A PRODUÇÃO (%)							
Parque Eólico 1							
Aerogeradores	Vestas V52 - 850 [kW]						
Nº	1	2	3	4	5	6	
Set-09	102,0	106,4	104,1	115,2	113,6	126,6	
Out-09	50,6	55,6	49,6	58,7	56,4	52,5	
Nov-09	101,5	105,3	104,6	112,6	110,4	120,5	
Dez-09	143,6	129,6	111,5	97,2	108,5	53,6	
Jan-10	120,5	131,9	133,8	67,8	140,0	108,7	
Fev-10	99,0	80,5	110,2	116,3	78,6	96,7	
Mar-10	82,6	90,9	95,8	102,0	90,9	71,2	
Abr-10	85,8	78,7	81,5	84,3	75,2	87,9	
Mai-10	106,4	107,9	102,8	112,7	101,0	122,2	
Jun-10	120,3	122,3	119,0	128,8	125,1	136,7	
Jul-10	111,8	113,4	110,6	119,8	117,0	129,8	
Ago-10	75,9	77,6	76,4	84,5	83,3	93,5	

Tabela 17: Diferença entre a produção média mensal e a produção no parque eólico 1

Parque Eólico 2







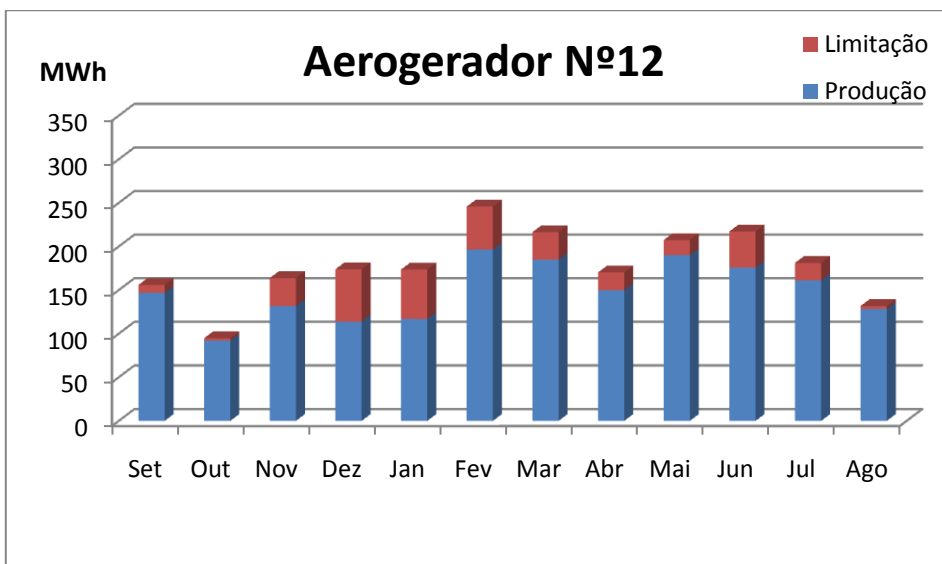
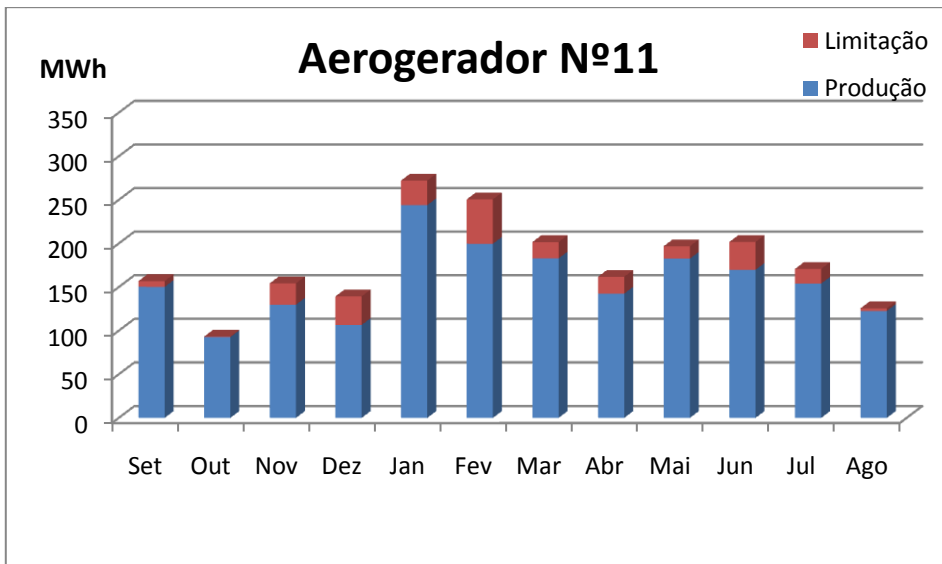
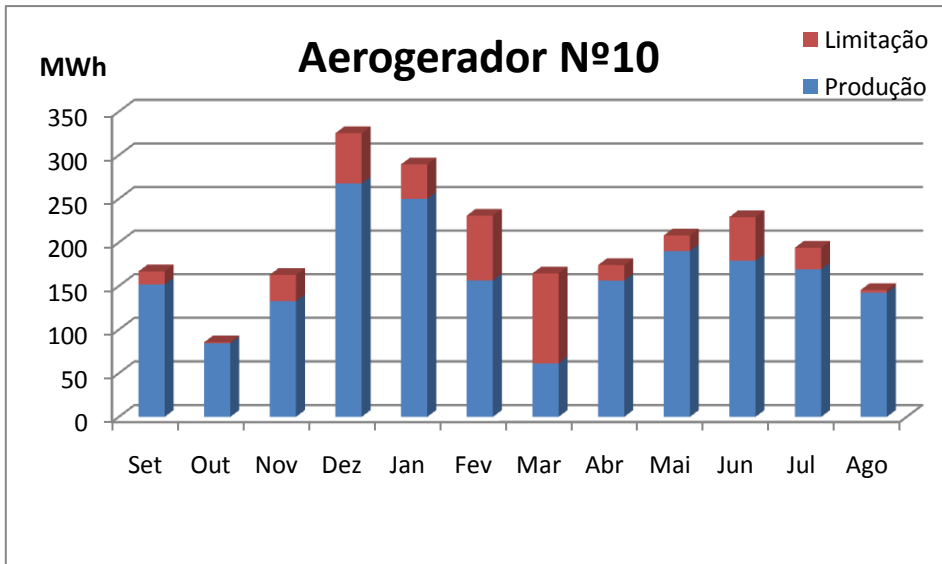


Figura 75: Produções e limitações mensais do parque 2

Parque Eólico 2													
Aerogeradores	Vestas V52 - 850 [kW]												
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
PRODUÇÃO [MWh]													
Set-10	120	113	104	109	141	125	129	135	145	152	150	147	1570
Out-10	106	109	107	101	103	90	88	90	93	84	93	92	1155
Nov-10	129	128	126	121	136	131	125	126	129	133	130	132	1544
Dez-10	253	232	211	254	144	116	177	219	90	268	107	114	2184
Jan-10	253	105	243	214	215	228	217	234	158	250	244	117	2480
Fev-10	204	112	139	198	147	143	172	81	50	157	200	196	1798
Mar-10	193	144	56	179	182	187	204	130	120	61	183	185	1826
Abr-10	147	127	132	132	139	128	134	122	117	156	143	150	1628
Mai-10	145	128	126	135	156	161	165	149	180	190	183	190	1909
Jun-10	160	145	140	146	179	172	156	156	177	179	170	176	1957
Jul-10	131	121	117	124	157	151	147	156	175	169	154	161	1765
Ago-10	85	77	75	79	108	99	107	128	142	142	123	128	1294
Total	1927	1542	1577	1793	1807	1731	1821	1727	1578	1942	1877	1788	21110

Tabela 18: Produção do parque eólico 2

DIFERENÇA ENTRE A PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL E A PRODUÇÃO (%)													
Parque Eólico 2													
Aerogeradores	Vestas V52 - 850 [kW]												
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Set-10	74,9	87,9	78,9	73,0	93,7	86,6	85,3	93,8	110,0	93,9	96,1	98,5	
Out-10	66,2	84,7	81,2	67,5	68,2	62,1	57,9	62,8	70,4	52,2	59,2	61,8	
Nov-10	80,3	99,5	95,7	81,3	90,0	90,6	82,1	87,5	98,3	82,0	83,0	88,4	
Dez-10	157,5	180,8	160,8	169,7	95,5	80,7	116,5	152,0	68,7	165,5	68,1	76,4	
Jan-10	157,8	82,1	185,2	143,1	143,0	158,4	142,8	162,9	120,5	154,6	156,0	78,5	
Fev-10	126,8	87,2	105,7	132,2	97,6	98,9	113,3	56,4	38,1	96,8	127,7	131,9	
Mar-10	120,5	112,4	42,8	120,1	120,8	129,6	134,6	90,1	91,4	37,9	116,9	124,1	
Abr-10	91,6	98,7	100,6	88,6	92,4	88,5	88,5	85,0	89,0	96,6	91,1	100,6	
Mai-10	90,6	99,4	95,6	90,7	103,9	111,7	108,5	103,6	137,2	117,5	116,7	127,7	
Jun-10	99,3	113,2	106,8	97,5	119,0	119,3	102,9	108,6	134,9	110,7	108,6	118,0	
Jul-10	81,4	94,4	89,2	83,3	104,1	104,5	97,0	108,7	133,4	104,6	98,5	108,2	
Ago-10	53,1	60,0	57,3	53,1	71,8	68,8	70,4	88,8	107,9	88,0	78,4	86,1	

Tabela 19: Diferença entre a produção média mensal e a produção no parque eólico 2

Anexo F: Dados Horários do Funcionamento dos Aerogeradores

Parque Eólico 2

PARQUE EÓLICO 1						
MÊS	HORAS EM MANUTENÇÃO (h)					
	AEROGERADOR					
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6
Set-09	0	0	0	0	3	0
Out-09	0	0	19	0	0	1
Nov-09	0	5	6	8	4	7
Dez-09	0	0	20	38	0	28
Jan-10	2	0	0	305	0	23
Fev-10	0	0	0	0	0	1
Mar-10	1	0	0	0	0	1
Abr-10	0	0	0	0	0	0
Mai-10	0	0	7	10	10	12
Jun-10	0	7	3	0	0	0
Jul-10	0	0	0	0	0	0
Ago-10	0	0	5	0	0	0
Total	3	12	60	361	17	73

PARQUE EÓLICO 1						
MÊS	HORAS COM VENTO ENTRE 3-25 (m/s) (h)					
	AEROGERADOR					
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6
Set-09	297	509	505	492	492	491
Out-09	378	403	368	381	385	383
Nov-09	393	503	488	486	479	482
Dez-09	577	591	588	586	585	584
Jan-10	597	607	596	599	597	558
Fev-10	0	581	576	577	574	552
Mar-10	513	553	539	541	537	421
Abr-10	500	501	487	485	479	474
Mai-10	587	588	579	577	548	578
Jun-10	552	577	572	569	567	563
Jul-10	508	507	498	488	493	493
Ago-10	342	364	355	355	357	358
Total	5244	6284	6151	6136	6093	5937

PARQUE EÓLICO 1						
MÊS	DISPONIBILIDADE DA REDE (h)					
	AEROGERADOR					
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6
Set-09	351	716	716	716	712	712
Out-09	728	743	723	743	743	727
Nov-09	525	712	711	710	713	711
Dez-09	725	735	717	672	732	712
Jan-10	741	744	744	438	743	680
Fev-10	0	613	659	659	608	600
Mar-10	703	743	743	743	743	618
Abr-10	719	718	718	718	719	718
Mai-10	744	744	735	733	705	731
Jun-10	630	711	716	720	720	720
Jul-10	744	744	744	744	744	744
Ago-10	717	742	720	742	742	742
Total	7327	8665	8646	8338	8624	8415

PARQUE EÓLICO 1						
MÊS	HORAS EM SERVIÇO (h)					
	AEROGERADOR					
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6
Set-09	351	713	707	709	705	709
Out-09	710	727	706	726	735	694
Nov-09	525	711	710	710	710	709
Dez-09	671	627	568	510	551	391
Jan-10	614	730	743	438	741	592
Fev-10	0	544	649	641	489	499
Mar-10	701	726	743	740	713	512
Abr-10	713	693	715	706	688	704
Mai-10	743	743	721	732	703	729
Jun-10	630	711	715	720	719	720
Jul-10	742	740	741	739	743	742
Ago-10	714	740	712	739	740	739
Total	7114	8405	8430	8110	8237	7740

Parque Eólico 2

PARQUE EÓLICO 2												
MÊS	HORAS EM MANUTENÇÃO (h)											
	AEROGERADOR											
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8	Nº9	Nº10	Nº11	N12
Set-09	0	0	0	2	1	3	7	6	1	7	0	3
Out-09	0	0	4	4	5	4	6	0	0	2	0	0
Nov-09	3	5	0	0	0	0	0	1	0	0	4	3
Dez-09	0	0	0	0	16	1	0	0	1	6	0	11
Jan-10	0	13	0	56	2	5	60	6	68	0	0	220
Fev-10	5	6	6	6	0	5	6	1	0	131	5	6
Mar-10	0	0	7	0	0	0	0	0	1	357	1	0
Abr-10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0
Mai-10	0	0	0	0	1	0	0	1	0	11	0	0
Jun-10	0	8	7	7	7	7	7	13	0	7	0	0
Jul-10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6
Ago-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Total	15	32	24	75	32	25	86	28	76	523	18	249

PARQUE EÓLICO 2												
MÊS	HORAS COM VENTO ENTRE 3-25 (m/s) (h)											
	AEROGERADOR											
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8	Nº9	Nº10	Nº11	N12
Set-09	509	500	501	499	520	521	492	476	378	494	514	522
Out-09	419	412	417	409	429	426	380	367	369	294	359	377
Nov-09	528	516	524	531	544	544	507	479	126	487	479	489
Dez-09	624	397	620	619	622	620	594	573	315	591	365	401
Jan-10	652	338	647	648	663	656	566	604	305	614	608	578
Fev-10	607	614	510	605	619	616	609	580	600	584	580	588
Mar-10	589	582	257	582	596	594	564	526	535	531	534	544
Abr-10	541	527	527	522	539	539	511	468	491	503	509	514
Mai-10	611	598	600	591	610	618	588	547	564	576	593	594
Jun-10	637	628	629	616	638	631	579	531	274	581	600	602
Jul-10	566	551	561	560	574	572	530	486	522	511	537	534
Ago-10	369	344	362	349	376	375	333	305	328	331	350	359
Total	6652	6007	6155	6531	6730	6712	6253	5942	4807	6097	6028	6102

PARQUE EÓLICO 2												
MÊS	HORAS DE DISPONIBILIDADE DA REDE (h)											
	AEROGERADOR											
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8	Nº9	Nº10	Nº11	N12
Set-09	717	717	717	716	717	714	710	711	484	702	718	714
Out-09	743	743	739	739	737	738	736	743	743	609	743	743
Nov-09	713	712	717	717	715	717	717	716	143	715	713	713
Dez-09	717	497	717	721	666	683	718	716	324	713	494	633
Jan-10	744	399	744	687	741	737	682	737	283	744	731	491
Fev-10	647	592	547	618	596	590	596	582	591	514	619	625
Mar-10	743	742	342	743	743	743	743	742	741	370	741	743
Abr-10	718	718	718	716	718	716	717	718	710	718	716	718
Mai-10	744	743	744	744	742	743	743	741	743	732	744	744
Jun-10	720	711	711	712	711	712	712	706	315	711	720	719
Jul-10	736	744	744	744	744	744	744	744	743	724	735	735
Ago-10	743	743	743	743	743	743	743	743	732	740	743	743
Total	8685	8061	8183	8600	8573	8580	8561	8599	6552	7992	8417	8321

PARQUE EÓLICO 2												
MÊS	HORAS EM SERVIÇO (h)											
	AEROGERADOR											
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8	Nº9	Nº10	Nº11	N12
Set-09	716	716	716	713	715	694	709	707	481	699	715	699
Out-09	743	742	739	738	736	684	735	742	743	609	730	741
Nov-09	710	710	716	717	714	717	717	713	143	713	709	712
Dez-09	658	474	611	667	478	450	561	639	46	683	440	455
Jan-10	722	398	715	676	652	658	676	708	229	730	720	476
Fev-10	607	419	497	574	505	496	561	398	287	506	615	596
Mar-10	717	654	341	715	693	703	738	638	620	370	721	722
Abr-10	704	684	704	705	690	667	696	702	660	712	705	712
Mai-10	743	731	744	743	725	743	743	717	737	728	740	741
Jun-10	719	709	711	711	710	712	710	705	315	711	720	719
Jul-10	736	743	744	743	744	743	743	742	742	723	735	735
Ago-10	743	743	743	742	743	742	742	741	730	737	740	742
Total	8518	7723	7981	8444	8105	8009	8331	8152	5733	7921	8290	8050

Tabela 20: Dados horários do funcionamento dos parques eólicos 1 e 2

Anexo G: Curvas de Potência

Parque Eólico 1

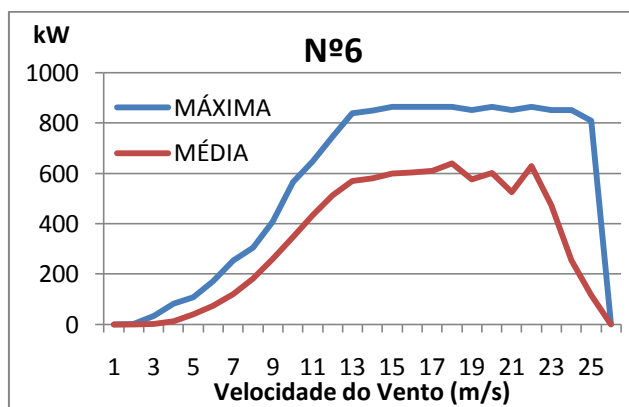
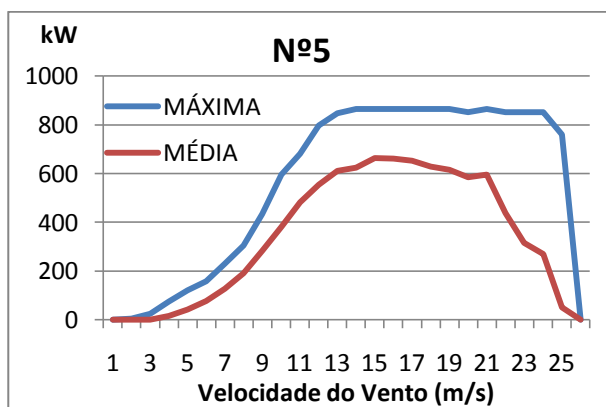
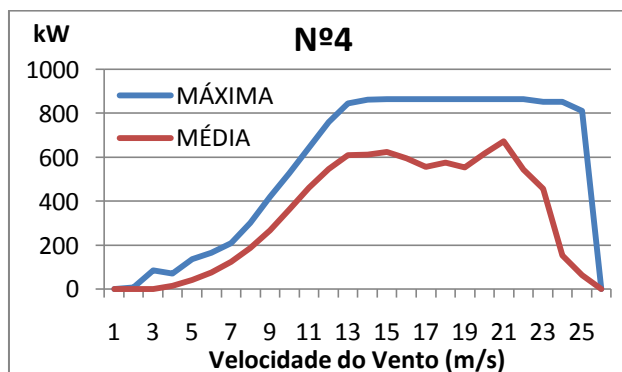
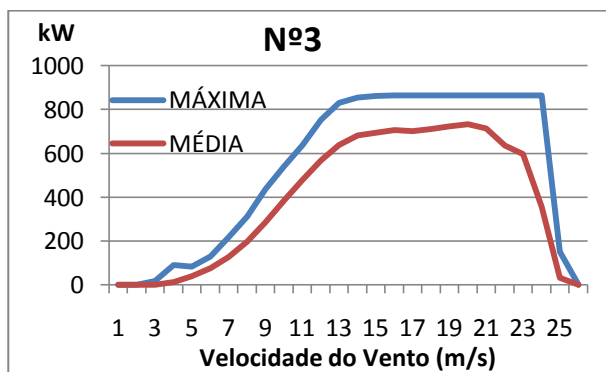
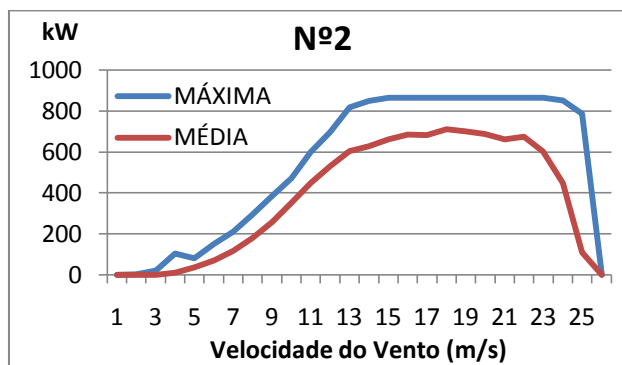
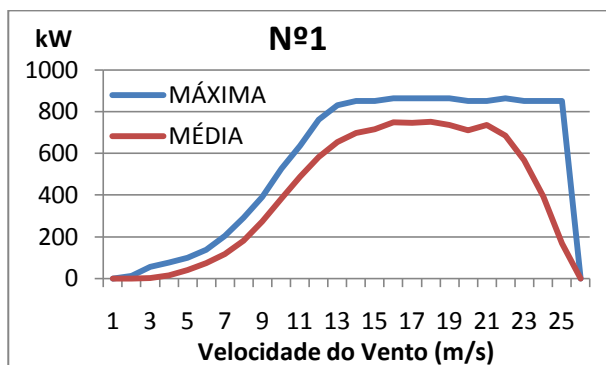
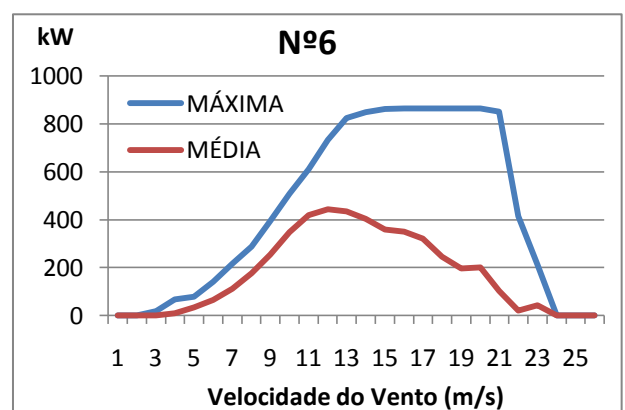
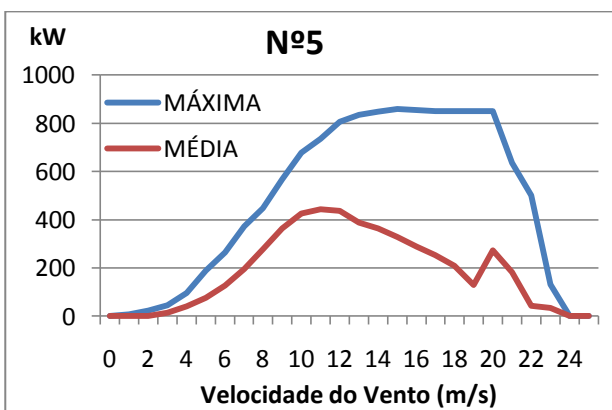
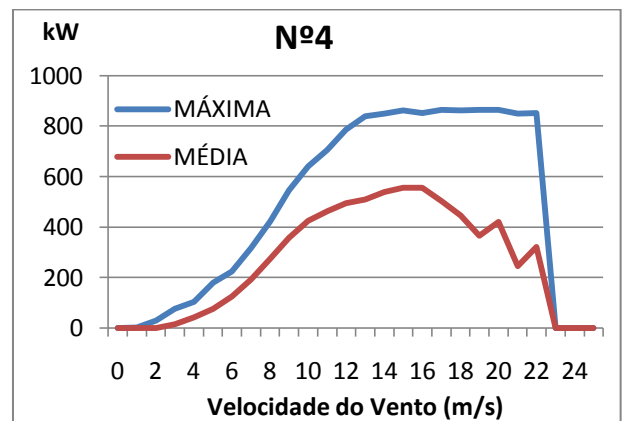
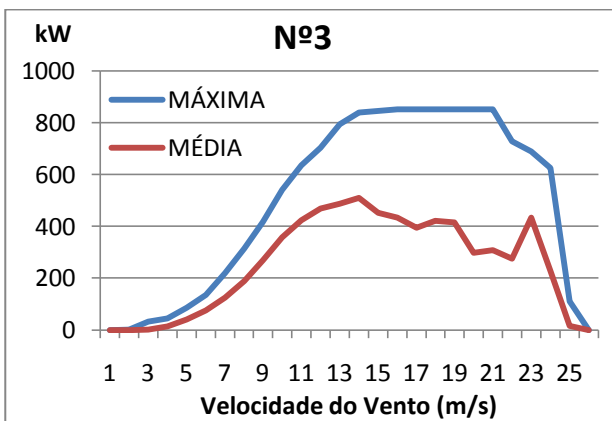
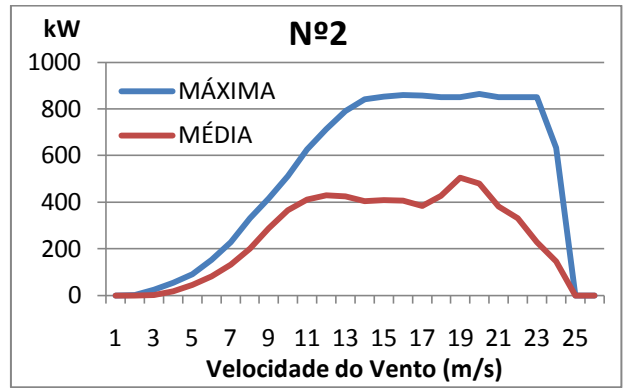
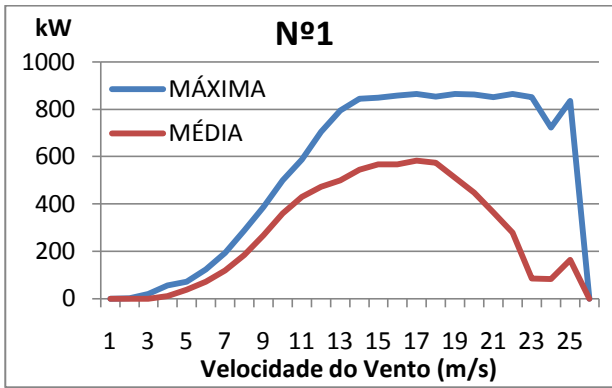


Figura 76: Curvas de potência dos aerogeradores do parque 1

Parque Eólico 2



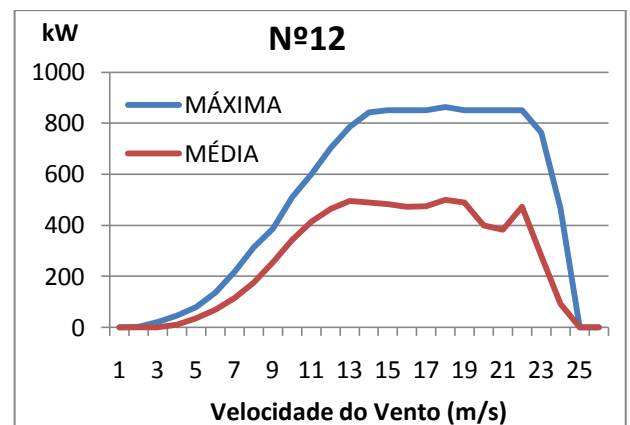
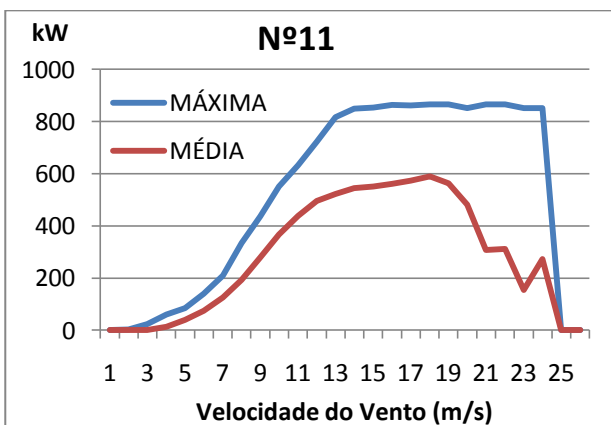
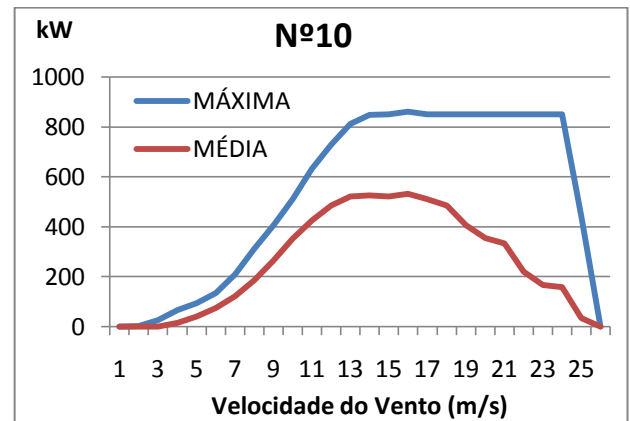
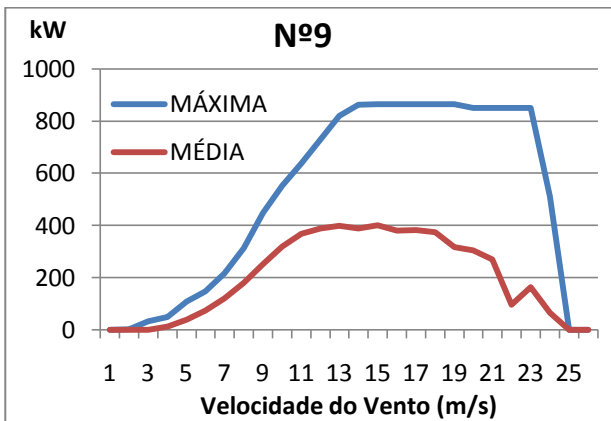
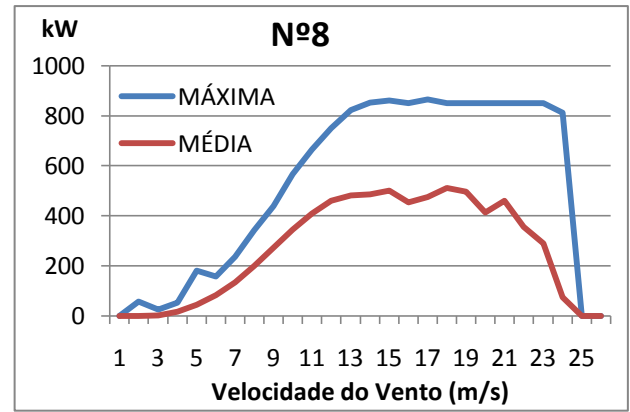
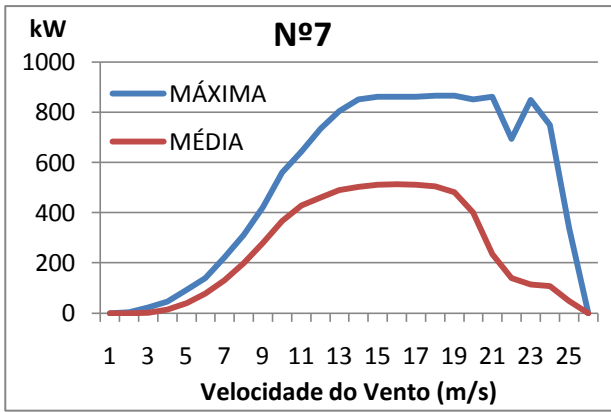


Figura 77: Curvas de potência dos aerogeradores do parque 2

Anexo H: Mapa do Parque Eólico 1

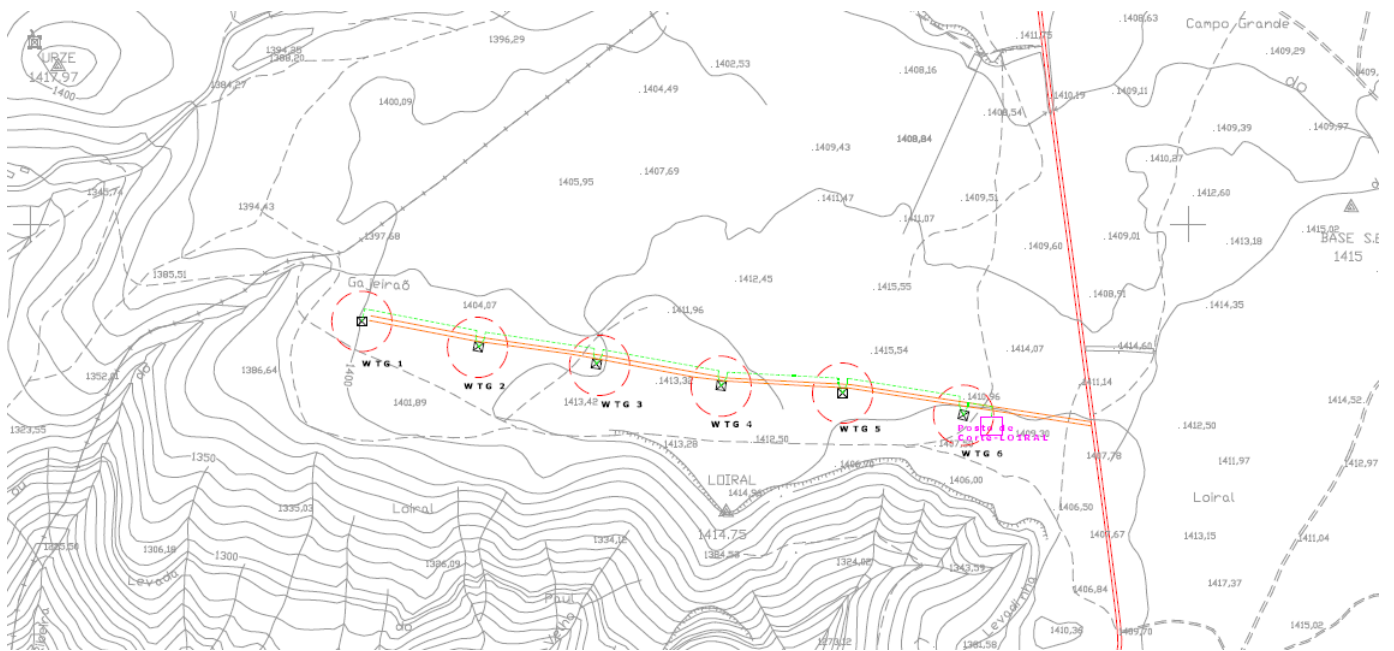


Figura 78: Mapa do parque eólico 1

Anexo I: Mapa do Parque Eólico 2

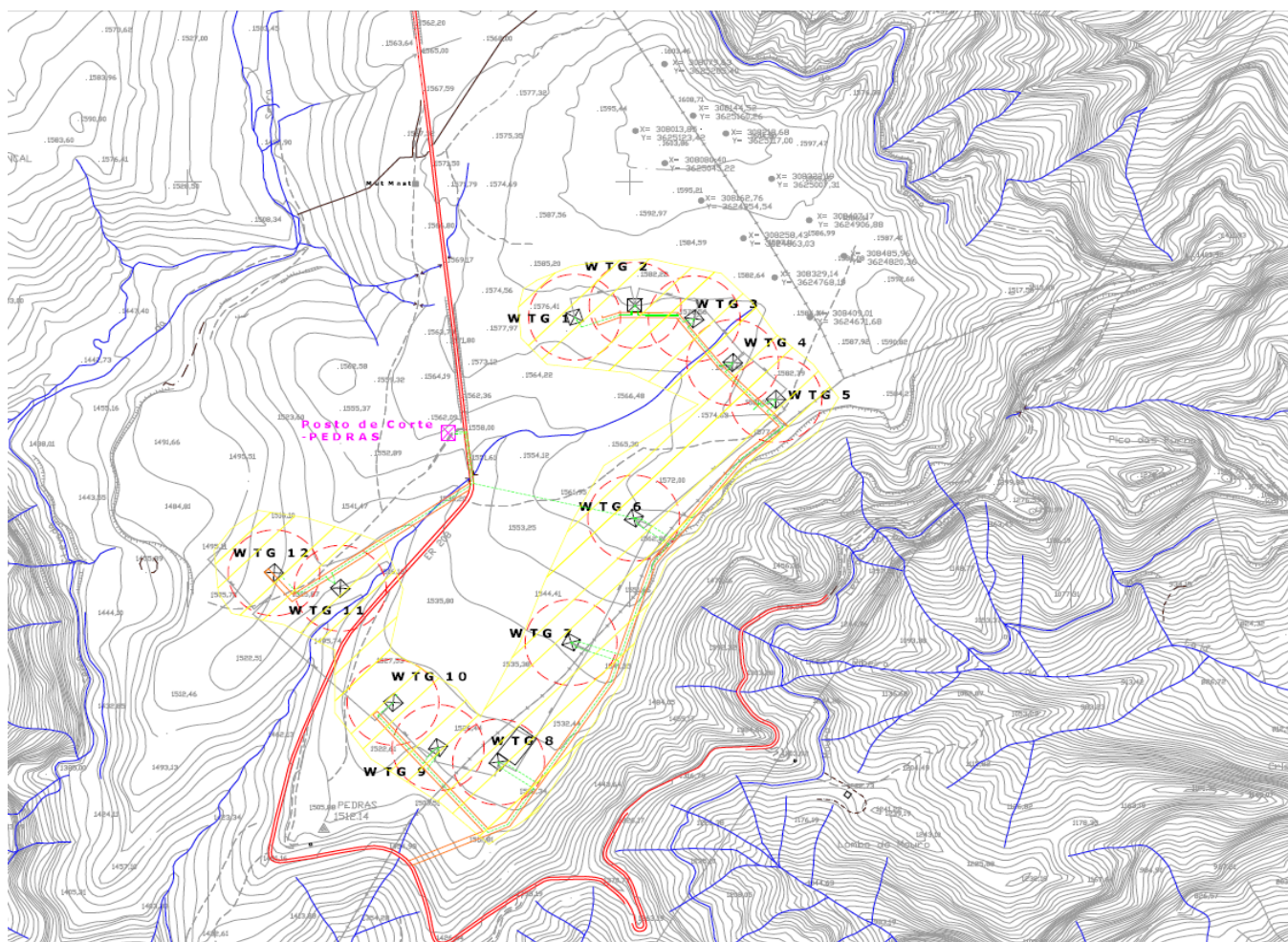


Figura 79: Mapa do parque eólico 2