

PEDRO OSVALDO PRADO

**PROJETO DE UM PARQUE EÓLICO COM A UTILIZAÇÃO
DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia.

Orientador: Prof. Dr. José Luz Silveira

Co-Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

Guaratinguetá

2009

P896p	<p>Prado, Pedro Osvaldo</p> <p>Projeto de um parque eólico com a utilização de sistema de informação geográfica / Pedro Osvaldo Prado. – Guaratinguetá : [s.n.], 2009</p> <p>95 f. : il.</p> <p>Bibliografia: f. 94-95</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2009</p> <p>Orientador: Prof. Dr. José Luz Silveira</p> <p>Co-orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga</p> <p>1. Energia elétrica – Desenvolvimento sustentável - 2. Sistemas de informação geográfica I. Título</p> <p style="text-align: right;">620.91</p> <p style="text-align: center;">CDU 615.82</p>
-------	---



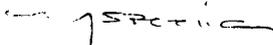
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

PEDRO OSVALDO PRADO

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

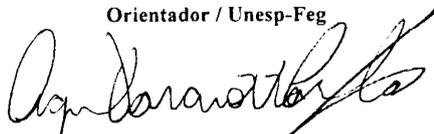
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. JOSÉ LUZ SILVEIRA
Orientador / Unesp-Feg



Prof. Dr. AGNELO MAROTTA CASSULA
Unesp-Feg



Prof. Dr. JOSÉ RUI CAMARGO
UNITAU

Agosto de 2009

DADOS CURRICULARES

PEDRO OSVALDO PRADO

Nascimento	06.03.1958 – Santa Rosa, La Pampa. República Argentina.
1980/1987	Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Nacional de Mar del Plata. Buenos Aires. República Argentina.
1990	Especialização em Técnicas de Ensaios e Medições em Alta Tensão. Instituto Nacional de Tecnologia Industrial. Buenos Aires. Argentina.
2001	Estágio em Universidade Politécnica de Madri, Departamento de Projetos e Planejamento Rural. Área: Sistema de Informação Geográfica. Espanha. (dois meses).
Estado Atual:	Professor Adjunto. Pesquisador. Departamento de Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia. Universidade Nacional de Mar del Plata. Diretor do Grupo de Investigação e Desenvolvimento em GeoTecnologías. Universidade Nacional de Mar del Plata. Diretor do Laboratório de Tecnologias CAD-GIS. Faculdade de Engenharia. Universidade Nacional de Mar del Plata. Representante da Universidade Nacional de Mar del Plata no Comitê Acadêmico de Energia da Associação de Universidades Grupo Montevideo -AUGM-.
2006/2009	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista. Brasil.

Dedicatória

De modo especial à meu filho Iván Pedro, à minha esposa Silvia, à minha mãe, à meu pai (em memória) e à meu irmão.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Luz Silveira por seu convite e apoio para fazer o Mestrado, pela paciência e dedicação na conclusão deste trabalho.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Oscar Maldonado por sua ajuda e seus conselhos.

Ao Christian Coronado Rodriguez por sua amizade e por sua ajuda.

Ao Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula e ao Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho por seu entendimento e seu apoio.

Às autoridades da Faculdade de Engenharia e do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Nacional de Mar del Plata, por permitir fazer este Mestrado. Em particular ao Diretor Eng. Claudio Dimenna, ao Vice-Diretor Eng. Gustavo Bacino e aos integrantes do Conselho Departamental.

Ao meu ex aluno, Eng. Justo Roberts por sua colaboração neste trabalho.

À UNESP, a FEG, aos professores do DEN e aos funcionários da Pós-graduação pelo apoio.

Aos colegas Ricardo, Iraídes, Maria Tereza, Carlinhos, Antonio, pela amizade e acolhida neste maravilhoso país, chamado Brasil.

A todas aquelas pessoas que de alguma maneira, contribuíram para que o desenvolvimento deste trabalho fosse possível.

Este trabalho de mestrado foi desenvolvido com o apoio financeiro do Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia, Universidade Nacional de Mar del Plata. Buenos Aires. República Argentina.

PRADO, P.O. **Projeto de um parque eólico com a utilização de Sistema de Informação Geográfica**. 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

RESUMO

Na província de Buenos Aires, Argentina, existe um alto potencial de energias renováveis, especialmente com os recursos eólicos no sudeste, que são pouco aproveitados.

A presente dissertação pretende fazer um aporte prático e metodológico, para a avaliação e caracterização desses recursos renováveis, focando a Cidade de Mar del Plata.

Se utiliza da Tecnologia de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para o estudo de planejamento energético regional, incorporando ferramentas de análise espacial e temporária, com o uso de informações sobre a plataforma de referência geográfica, tais como, cartografia digital, imagens de satélites, mapas temáticos e bases de dados.

As formas de trabalho propostas com o SIG permitem diminuir o grau de incerteza presente nos estudos tradicionais, ao proporcionar resultados originados pela análise integrada da informação.

Os resultados mostram o grau de cobertura e o potencial do recurso eólico na Província de Buenos Aires. O estudo em apreço permitiu verificar a viabilidade técnica e econômica da instalação de um Parque Eólico em Mar del Plata, visto que em função do potencial energético renovável, e sob o ponto de vista técnico e econômico, a única opção de aplicação imediata é a energia eólica.

Conclui-se que Sistema de Informação Geográfica é uma ferramenta útil para a determinação do potencial e localização de instalações eólicas, e que, em relação a métodos de cálculos tradicionais, pode-se enumerar as seguintes vantagens:

- Trabalho com informação integrada.
- Conhecimento do espaço geográfico permitindo localização precisa do local.
- Utilização da metodologia para outras fontes de geração distribuída.

- Serve para qualquer fonte primaria.
- Melhor previsão dos impactos ambientais (ruídos, projeção de sombras, preservação ambiental e integração urbana).

PALAVRAS CHAVE: Energia eólica, Sistema Informação Geográfica, SIG, Geographic Information System, GIS, parque eólico.

PRADO, P.O. **Project of an eolic park using a Geographic Information System.** 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

ABSTRACT

In Buenos Aires's state, Republic Argentina, there is high potential of renewable energy, mainly based in the eolic resources in the southeast that are not well exploited.

Therefor this work seeks to make a different contribution, from the practical and methodological, to the current knowledge in the evaluation and characterization of the renewable resources in this area.

This way using the Geographic Information Systems's Technology (GIS) as analysis strategy, in the mark of the regional energy planning, the eolic energy was investigated in the region under study.

The space and temporary analysis tools, the use of the information on a platform with geographical reference, the digital cartography, the images satelitales, the thematic maps and the databases have been incorporated in this study. The different work outlined with the GIS, when giving results originated in an integrated analysis of the information, decrease the grade uncertainty's traditional studies.

The results show the covering grade that present the eolic resource in Buenos Aires's county and generating a prefactibilidad study on an Eolic Park installation in the southeast region. With a specific location in Mar del Plata's area, allowed to verify the fundamental aspects that involve the design process.

You can conclude that Buenos Aires county southeast region has places with good characteristics of winds that would allow the resource exploitation .

These areas, present excellent winds with a high use level. Therefore, in function of the renewable energy potential of the county and from the technical and economic point of view, the only option of immediate application is the eolic energy.

KEYWORDS: Eolic energy, Geographic Information System, GIS, eolic park.

SUMARIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
CAPITULO 1. INTRODUÇÃO.....	18
CAPITULO 2. ASPECTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS.....	21
2.1. TECNOLOGIA DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	22
2.2. OS SIG E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	23
2.3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS	23
2.4. O VENTO COMO RECURSO PARA A PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE	24
2.5. ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO EÓLICA MEDIANTE USO DO SIG.....	24
2.6. ASPECTOS GERAIS DO SIG	25
2.6.1. Etapa 1: Criação da base de dados geográfica e a cartografia digital	26
2.6.2. Etapa 2: Análise geográfica e espacial	27
2.6.3. Etapa 3. Apresentação dos resultados da análise	29
2.7. MÉTODOS E TÉCNICAS A EMPREGAR.....	30
CAPITULO 3. A MATRIZ ENERGÉTICA DA ARGENTINA E A INCIDÊNCIA DA ENERGIA EÓLICA	36
3.1. A ENERGIA EÓLICA NA ARGENTINA: EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS	39
3.1.1. O Mapa Eólico na Argentina.....	41
3.1.2. O potencial eólico na Província de Buenos Aires	42
CAPITULO 4. ESTUDOS ESTATÍSTICOS DA ENERGIA EÓLICA.....	45
4.1. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO	45
4.1.1. Análise estatística em série temporal	45
4.1.2. Histograma de freqüência de velocidade do vento.....	46
4.1.3. Distribuição de freqüência por direção do vento.....	47

4.1.4. Lei da Distribuição de Weibull da velocidade do vento	47
4.1.5. Extrapolação de dados em altura.....	48
4.1.6. Rosa das rugosidades.....	49
4.2. ESTUDOS DE POTÊNCIA E ENERGIA.....	50
4.2.1. Potência específica disponível no vento.....	50
4.2.2. Densidade de potência do vento em função de Weibull	51
4.2.3. Lei de Betz.....	51
4.2.4. Função densidade de potência teórica utilizável	52
4.2.5. Características técnicas da turbina.....	52
4.2.6. Potência a ser entregue a rede elétrica local.....	53
4.2.7. Método estático para determinar a produção de energia.....	53
4.2.8. Fator de capacidade	54
4.2.9. Fator de utilização	54
CAPITULO 5. AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO RECURSO EÓLICO NA PROVÍNCIA DE BUENOS AIRES	55
5.1. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO	55
5.2. ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA SÉRIE TEMPORAL.....	56
5.2.1. Histogramas de freqüência de velocidades do vento.....	57
5.2.2. Distribuições de freqüências por direção do vento	59
5.2.3. Lei da Distribuição de Weibull da velocidade do vento	60
5.2.4. Extrapolação de dados em altura.....	60
5.3. ESTUDOS DE POTÊNCIA E ENERGIA.....	62
5.3.1. Potência específica disponível no vento.....	62
5.3.2. Função densidade de potência do vento	64
5.3.3. Apresentação geográfica dos resultados.....	65
5.3.4. Caracterização dos lugares	65
5.3.5. Distribuição de freqüências por direção	66
5.3.6. Zona de influência dos pontos de medição	68
5.3.7. Vantagens do recurso eólico na província de Buenos Aires	70
CAPITULO 6. PLANEJAMENTO DO PARQUE EÓLICO	71
6.1. PROJETO DO PARQUE EÓLICO.....	71
6.2. ETAPA 1: SELEÇÃO DO LUGAR	71
6.2.1. Determinação da Localização Final do Parque Eólico em Mar del Plata	71

6.3. ETAPA 2: VIABILIDADE DO PROJETO	81
6.3.1 Condições de vento.....	81
6.3.2. Seleção de turbina eólica	86
6.3.3. Redução de Gases Poluentes	90
6.4 ANÁLISE ECONÔMICA.....	90
CAPITULO 7. CONCLUSÕES	92
BIBLIOGRAFÍA.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Produção de energia elétrica por tipo de geração. Fonte: CAMMESA 2008.	36
Figura 3.2. Evolução da potência instalada por tipo de geração. Fonte: CAMMESA 2008.	37
Figura 3.3. Demanda de energia por regiões geográficas. Fonte: CAMMESA 2008.	37
Figura 3.4. Localização geográfica das centrais elétricas. Fonte: AGEERA 2008.	38
Figura 3.5. Redes elétricas no Sistema Interconectado Nacional. Linhas em 132 kV (azul) e as de 500 kV (vermelho). Fonte: CAMMESA 2008.....	39
Figura 3.6. Mapa do potencial eólico nacional. Fonte: CREE, 2007.	42
Figura 3.7. Centrais elétricas na Província de Buenos Aires. Fonte: CAMMESA 2008.	43
Figura 3.8. Sistema elétrico da Província de Buenos Aires. Fonte: Transba 2008.	44
Figura 4.1. Gráfico de Weibull em função do fator de forma “k”. Fonte: UNAM,1998.	48
Figura 4.2. Variação da velocidade do vento com a altura. Fonte: Fernández Diez, 2003.	49
Figura 5.1. Distribuição de freqüência de velocidade. Período 2005-2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	57
Figura 5.2. Distribuição de freqüência de velocidade. Anos 2005 e 2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	57
Figura 5.3. Distribuição de freqüência de velocidade para diferentes trimestres. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	58
Figura 5.4. Rosa dos ventos: freqüência e velocidade média. Período 2005-2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	59
Figura 5.5. Rosa dos ventos: freqüência e velocidade média. Ano 2005. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	59
Figura 5.6. Rosa dos ventos: freqüência e velocidade média. Ano 2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	60

Figura 5.7. Distribuição de Weibull e de Rayleigh. Mar del Plata. Fonte: elaboração própria.	60
Figura 5.8. Variação da velocidade de vento com a altura. Fonte: Elaboração própria.	62
Figura 5.9. Potência específica para os diferentes pontos de medição. Fonte: elaboração própria.	63
Figura 5.10. Densidade de potência disponível no vento por altura. Mar del Plata. Fonte: elaboração própria.	64
Figura 5.11. Densidade de potência disponível e densidade de potência teórica (Betz). Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.	64
Figura 5.12. Pontos de medição localizados em cercanias da costa Atlântica. Fonte: Elaboração própria.	65
Figura 5.13. Características de recurso nos diferentes pontos de medição. Fonte: Elaboração própria.	66
Figura 5.14. Distribuição de frequência por direção. Período 2005-2006. Fonte: Elaboração própria.	67
Figura 5.15. Distribuição de frequência por direção. Trimestres. Período 2005-2006. Fonte: Elaboração própria.	68
Figura 5.16. Zonas de influência dos pontos de medição. Fonte: Elaboração própria.	69
Figura 5.17. Modelo Digital de Terreno da região. Fonte: U.S.A. Geological Survey.	69
Figura 5.18. Zonas de influência e Modelo Digital de Terreno. Fonte: Elaboração própria.	70
Figura 6.1. Planta de Pueyrredón, pontos de referência. Fonte: Elaboração própria.	72
Figura 6.2. Percentagem de vento por direção. Fonte: Elaboração própria.	73
Figura 6.3. Percentagem de vento por quadrante. Fonte: Elaboração própria.	73
Figura 6.4. Velocidade média por direção. Fonte: Elaboração própria.	74
Figura 6.5. Velocidade média por quadrante. Fonte: Elaboração própria.	74
Figura 6.6. Mapa físico do distrito General Pueyrredón. Fonte: Centro de Geologia de Costas e do Quaternário. UNMdP.	75
Figura 6.7. Localização dos quadrantes de vento (rosa dos ventos) no ponto de medição. Fonte: Elaboração própria.	76
Figura 6.8. Acessos na zona no ponto de medição. Fonte: elaboração própria.	77
Figura 6.9. Distâncias respecto do ponto de medição. Fonte: Elaboração própria.	77
Figura 6.10. Esquema das linhas elétricas 132 kV (negro) e 500 kV (vermelho). Fonte: Transba S.A.	78

Figura 6.11. Detalhe do sistema de 13,2 kV com ponto de interligação - zona Aeroporto. Fonte: EDEA, 2008.....	78
Figura 6.12. Possíveis pontos de conexão nas proximidades do Parque Eólico. Fonte: Elaboração própria.....	79
Figura 6.13. Lugar selecionado para a localização do parque eólico. Fonte: Elaboração própria.....	80
Figura 6.14. Distribuição de frequência por velocidade. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	81
Figura 6.15. Histogramas para 2005 e 2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	81
Figura 6.16. Distribuição de Velocidade Média Mensal, Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	82
Figura 6.17. Rosa dos ventos: Frequência e velocidade média por setor, Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	82
Figura 6.18. Frequência e velocidades médias por direção, Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.....	83
Figura 6.19. Distribuição de Weibull e de Rayleigh. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.	83
Figura 6.20. Variação da densidade de potência com a altura. Fonte: elaboração própria.	84
Figura 6.21. Rosa das rugosidades na localização do parque. Fonte: Elaboração própria.....	84
Figura 6.22. Mapa da localização de obstáculos nas imediações do parque. Elaboração própria.....	85
Figura 6.23. Curva de geração da turbina eólica. Fonte: Enercon.....	87
Figura 6.24. Area de influência das emissões sonoras máximas do parque. Fonte: Elaboração própria.....	89
Figura 6.25. Área de influência das sombras na localização das turbinas. Fonte: Elaboração própria.....	89
Figura 6.26. <i>Payback</i> do investimento. Fonte: Elaboração própria.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Detalhe da potência instalada na Argentina. Fonte: AAEE, 2006.....	40
Tabela 4.1. Valores de “ α ” para terrenos de diferentes característica. Fonte: Fernández Diez, 2003.	49

Tabela 4.2. Classe e longitude de rugosidades. Fonte: Danish Wind Industry Association, WindPower. 2007.	50
Tabela 4.3. Classes IEC especificando os parâmetros básicos. Fonte: IEC.	52
Tabela 4.4. Potência máxima da instalação o nível de tensão. Fonte: UNAM, 1998.	53
Tabela 5.1. Dados do Serviço Meteorológico Nacional. Fonte: Elaboração própria.	55
Tabela 5.2. Dados do Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária. Fonte: Elaboração própria.	56
Tabela 5.3. Dados estatísticos dos pontos de medição considerados. Fonte: Elaboração própria.	56
Tabela 5.4. Extrapolação da velocidade do vento a diferentes alturas. Fonte: Elaboração própria.	61
Tabela 5.5. Potência e energia eólica no período de medição em diferentes alturas. Fonte: Elaboração própria.	63
Tabela 6.1. Tipos de obstáculos na região de “General Pueyrredón”. Fonte: Elaboração própria.	75
Tabela 6.2. Dados estatísticos da Estação Meteorológica de Mar del Plata, Fonte: Elaboração Própria.	81
Tabela 6.3. Características do parque eólico com relação à altura. Fonte: Elaboração própria.	83
Tabela 6.4. Calculo dos obstáculos no siting. Fonte: Elaboração própria.	86
Tabela 6.5. Tabela de dados técnicos da turbina eólica. Fonte: Enercon.	86
Tabela 6.6. Produção anual de energia. Fonte: Elaboração própria.	88
Tabela 6.7. Redução de emissões de gases por kWh gerado. Fonte: Elaboração própria.	90
Tabela 6.8. Dados para os cálculos econômicos. Fonte: Elaboração própria.	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAEE	- Asociación Argentina de Energía Eólica.
AGEERA	- Asociación Generadores de Energía Eléctrica de la República Argentina.
Bs. As.	- Buenos Aires.
BWEA	- British Wind Energy Association.
CAMMESA	- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima.
CREE	- Centro Regional de Energía Eólica. Argentina.
DWIA	- Danish Wind Industry Association.
EDEA	- Empresa Distribuidora de Energía Eléctrica. Argentina.
EREC	- European Renewable Energy Council.
GIS	- Geographic Information System.
GWEC	- Global Wind Energy Council.
IEC	- International Electrotechnical Comisión.
INTA	- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.
MdP	- Mar del Plata.
OACI	- Organización de Aviación Civil Internacional.
SIG	- Sistemas de Informação Geográfica.
SMN	- Servicio Meteorológico Nacional. Argentina.
TRANSBA	- Transportadora de Energía Eléctrica de la Provincia de Buenos Aires.
UNMdP	- Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina.
UNAM	- Universidad Autónoma de México.
WWEA	- World Wind Energy Association.

CAPITULO 1. INTRODUÇÃO

A utilização de Energias Renováveis implica em diferentes níveis de complexidade devido à quantidade de fatores a se considerar e às diferentes restrições associadas (Monteiro, 1996). Em geral não se dispõe de uma metodologia ou conjunto de critérios que permitam, desde um ponto de vista geográfico, a comparação dos diversos elementos disponíveis, considerando todos os componentes envolvidos.

Devido à dispersão geográfica dos recursos renováveis e dos consumos energéticos locais, os estudos de um modo geral, consideram somente casos de resoluções individuais e específicas. Na Argentina, não se registram trabalhos orientados para uma metodologia geral que aborde tais temas. Destaca-se a falta de guias ou de programas de ajuda para a eleição do sistema de eletrificação mais apropriado.

Na província de Buenos Aires existe um alto nível de potencialidade de energias renováveis, especialmente os recursos eólicos no Sudeste Bonaerense, que seguem quase desaproveitados (Secretaría de Energía, Argentina. 2004). Um dos inconvenientes para a implementação desses recursos é a falta de mapas de ventos em muitos lugares, e portanto, a dificuldade de avaliação e caracterização de tal recurso.

Esta dissertação, pretende fazer um aporte prático e metodológico, para a avaliação e caracterização dos recursos renováveis na Província de Buenos Aires, com ênfase na análise do recurso eólico na Região Sudeste da mesma, utilizando como ferramenta de trabalho, a Tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que inclui a análise espacial e temporária, uso de cartografia digital, de imagens de satelitales, de fontes múltiplas de informação, de mapas temáticos, etc.

As ferramentas mencionadas do SIG permitem diminuir o grau de incerteza presente dos estudos tradicionais e proporciona resultados gerais originados pela análise integrada de informações. Isto se consegue com o modelamento das etapas do desenvolvimento e é aplicado aqui, para um projeto eólico, desde a fase inicial de prospecção do recurso, até a fase do desenho detalhado do mesmo.

O estudo consiste não tanto em analisar uma área específica com potencial energético renovável, senão basicamente, em considerar uma nova perspectiva de análise que permita abordar o estudo das energias renováveis de maneira integrada ao planejamento energético regional.

Neste sentido o objetivo geral desta dissertação é a caracterização das fontes renováveis (eólica), propondo como estratégia de análise a utilização da Tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica.

São ainda objetivos específicos:

- Indagar o grau de cobertura que apresentam o recurso eólico na Província de Buenos Aires.
- Utilizar a Tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica como fonte de integração no estudo e caracterização dos recursos energéticos renováveis (eólico) para a região sudeste da província.
- Aprofundar a análise do recurso eólico.
- Gerar mapas temáticos para determinar a localização de futuras instalações eólicas.
- Desenvolver modelos, via simulações através do SIG, das alternativas mais eficientes em termos da implementação do recurso eólico.
- Apresentar um estudo de caso, considerando estudo de viabilidade técnica e econômica para a instalação de um Parque Eólico.

O propósito final é facilitar e simplificar os processos de estudos e planejamento, relacionados com as formas de energia limpa, de maneira a buscar um aumento seu grau de penetração dentro da matriz energética regional.

A dissertação é organizada da seguinte maneira:

No capítulo 1 apresenta-se o objeto de estudo.

No capítulo 2 se propõe a justificativa do tema abordado, apresentando-se os aspectos teóricos e conceituais; e a utilização da tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta de gestão energética.

No capítulo 3 se analisa a composição da matriz energética Argentina e a incidência da energia eólica. Examina-se o sistema elétrico nacional e a importância de desenvolver projetos com energia eólica na Província de Buenos Aires.

No capítulo 4 se apresenta os estudos estatísticos para o processamento da informação em projetos de energia eólica.

No capítulo 5 se caracteriza o potencial da energia eólica no sudeste da província. Realiza-se o estudo, desde o ponto de vista do recurso, de modo a selecionar os possíveis lugares que possam abrigar parques eólicos.

No capítulo 6 se propõe como estudo de caso, o planejamento e projeto detalhado da instalação de um parque eólico nas redondezas da cidade de Mar del Plata, em função dos resultados atingidos no estudo de viabilidade do recurso.

Por último, no capítulo 7 apresenta-se as conclusões finais dessa dissertação.

CAPITULO 2. ASPECTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS

O principal problema no desenvolvimento e implantação das energias renováveis nos mercados energéticos, e o alto investimento associado, frente aos custos das centrais elétricas convencionais, que produzem eletricidade a preços muito inferiores. Neste sentido, a produção de eletricidade a partir de energias renováveis necessita de incentivos econômicos que possam permitir seu desenvolvimento e sua viabilidade econômica.

As fontes renováveis de energia, dada sua natureza de distribuição e de baixa densidade, são ideais para seu aproveitamento de forma descentralizada. As energias renováveis são livres de contaminantes e consistentes com as políticas de proteção ao meio ambiente, e não contribuem para o efeito de estufa. O mercado global da energia eólica se expandiu mais rapidamente do que as outras fontes de energias renováveis. A potência instalada mundial em dez anos se multiplicou por doze, superando os 59 GW, em 2008. Atualmente, a energia eólica já está estabelecida como fonte de energia em mais de 50 países. Os parques eólicos que se foram estabelecendo em zonas marítimas, traçaram uma nova fronteira para o desenvolvimento da energia eólica (Global Wind Energy Council, 2006), (European Renewable Energy Council, 2007).

Na Argentina a capacidade eólica instalada atual é de 27,8 MW. O potencial eólico disponível, segundo os primeiros mapas de ventos elaborados em meados de 1980, de acordo com o Centro Regional de Energia Eólica (CREE), “é extraordinário na Tierra do Fuego, em Santa Cruz e em Chubut; sendo esta última região a que apresenta as melhores possibilidades de aproveitamento”. “Mas existem outras áreas de interesse com um grande potencial como é o caso de Río Negro, Neuquén e a costa marítima da Província de Buenos Aires”. Atualmente existem 10 locais com instalações eólicas dispersos em diferentes províncias (Secretaría de Energía, Argentina, 2004).

A Província de Buenos Aires é uma das áreas viáveis para o desenvolvimento da energia eólica na Argentina e suas possibilidades se podem comprovar nas cinco instalações que já existem em diferentes lugares da província. O recurso eólico,

particularmente em sua zona costeira, é comparável com o que possuem países que desenvolveram em grande escala esta modalidade de energia. Por exemplo, a maior parte de seu território possui ventos com uma média de velocidade entre 4 e 7 m/s, similar ao que possui Alemanha, o país com maior capacidade eólica instalada no mundo, de acordo ao Mapa de Isovento Mundial (De Le Gourières, 1983).

2.1. TECNOLOGIA DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) fazem parte das tecnologias de informáticas de última geração. Possuem poderosas ferramentas de análises e gestão da informação técnica e geográfica. Os SIG fazem parte dos denominados Sistemas de Suporte de tomada de Decisões (Decision Support System: DSS) e Sistemas de Informação para a Gestão e o Planejamento (Management Information Systems: MIS).

O desenvolvimento do SIG possibilitou a incorporação da análise geográfica como uma nova variável de informática para a aplicações de modelos para diversos estudos, incluindo variáveis de zonificação, de proximidade, de localização geográfica e suas atribuições às áreas de estudo.

O SIG possibilitou a realização de análises visuais e a apresentação de dados de forma sintética e clara, agilizando desta maneira a avaliação e a tomada de decisões.

O SIG pode ser descrito como um conjunto de mapas digitais “inteligentes” de uma mesma zona geográfica, onde a informação se encontra estratificada em camadas. Cada uma dessas camadas trata de um tema específico e tem desenhados objetos gráficos que representam um determinado tipo de dado (geomorfologia, infra-estruturas, consumos elétricos, etc.) ou de resultados (potencialidade de recursos, lugares para novas instalações, projeção da demanda elétrica, etc.).

Cada objeto gráfico está vinculado a registos (atributos do objeto) definidos numa base de dados. Esta possibilidade de vincular diferentes tabelas procedentes de bases de dados em objetos espaciais (gráficos), permite ter-se uma relação bidirecional da informação alfanumérica com a geográfica (ou espacial). Neste sentido, é possível gerar mapas temáticos com a informação desde a simulação (Prado, Bocero, 2001).

2.2. OS SIG E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS

Como já mencionado, as energias renováveis apresentam uma maior dispersão geográfica do que as fontes convencionais, sempre se pode contar com alguma fonte de energia renovável. Estas características geoenergéticas, junto à importância de seu valor ambiental e sua aceitação social, fazem que os estados intervenham para fomentar seu desenvolvimento e as incluam como parte do planejamento energético. Esta intervenção estatal pode ocorrer em múltiplos aspectos: políticas de preços e subvenções, planejamento energético setorial, ordenação territorial, etc. Assim as energias renováveis estão muito vinculadas a temas como a descentralização energética e a eletrificação rural.

Esta dependência geográfica faz que os SIGs possam ter um papel muito importante na localização, no planejamento regional, na avaliação de impactos, nas análises socioeconômicas, nas análises de multicriterios, etc. (Domínguez Bravo, 2002).

2.3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

O planejamento e utilização dos recursos energéticos renováveis requerem a realização de diversos estudos vinculados à análise territorial. Devem-se determinar os níveis de disponibilidade energética, a infra-estrutura disponível, a geomorfologia, a tendência e o uso da terra. Para isso deve-se gerir e analisar a informação geográfica proveniente de diferentes fontes. A distribuição e a potencialidade das energias renováveis ao longo dos territórios não é homogênea, portanto, a avaliação, disponibilidade e o planejamento são temas complexos. Em geral, a disponibilidade dos recursos energéticos de uma região se representa em forma de mapas e os dados se descrevem em forma mensal e anual. Informações complementares, das quais dependem a viabilidade técnica, econômica, ambiental e social dos projetos, também podem ser representadas geograficamente (Domínguez Bravo, 2002).

Na avaliação econômica, a viabilidade dos projetos com energias renováveis está relacionada com a infra-estrutura disponível na região e com a geomorfologia do terreno. Os principais fatores geográficos que intervêm nas análises de custos são: distâncias das linhas elétricas, das vias de comunicação, dos núcleos de população,

complexidade do terreno, etc. Além é claro do nível de subsidio governamental, quando existir.

No caso particular da energia eólica, os elementos geográficos para determinar o potencial energético estão relacionados com a topografia do lugar, a rugosidade dos terrenos e só são aptas para determinadas zonas.

2.4. O VENTO COMO RECURSO PARA A PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

A energia eólica se aproveita mediante a transformação da energia cinética do vento em energia elétrica através de turbinas eólicas (aerogeradores). As características do vento devem cumprir uma série de condições relativas à velocidade, continuidade, estabilidade, etc., para que a energia eólica possa ser utilizada com certa eficácia numa determinada zona.

Um dado de grande importância é a “densidade de potência” do vento, isto é, o valor máximo da potência que se pode conseguir por cada unidade de área varrida pelo vento. Abaixo dos 50 W/m^2 não se tem interesse para instalações eólicas, e acima dos 200 W/m^2 começam a resultar atratividade económica. Mesmo assim há que se considerar que densidades de potência superiores a 1.000 W/m^2 melhoram em muito os rendimentos técnicos e económicos de plantas eólicas. Em geral, nos setores montanhosos o vento é contínuo e mais intenso, em outras regiões, os ventos podem ter grande velocidade e uma distribuição irregular. Também se considera favorável para a implantação de energia eólica as zonas de costa e de relevos propensos com a formação de corredores (Danish Wind Industry Association, 2007).

2.5. ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO EÓLICA MEDIANTE USO DO SIG

No planeamento das instalações eólicas se deve analisar a disponibilidade do recurso, as diversas características técnico-económicas e a proteção do meio ambiente.

Na execução do projeto se devem realizar estudos que gerem diferentes alternativas que devem ser analisadas por critérios técnicos e económicos.

As instalações eólicas podem provocar impactos ambientais sobre a paisagem (lugares pitorescos, núcleos, rodovias, etc.), sobre o meio natural (devastações

florestais, efeitos sobre a flora e a fauna) e sobre o meio socioeconômico (uso de solo, etc.). Neste sentido se deve realizar estudos ambientais que procurem determinar o menor impacto da instalação e aplicar medidas preventivas e correctivas para minimizar o afeito sobre o meio natural, o homem e a paisagem.

No desenvolvimento de um projeto deve-se determinar as características gerais da futura instalação, bem como as disposições regulamentares que poderiam obrigar a modificar a localização prevista.

A localização: Para a instalação de um parque eólico é necessário encontrar um lugar ou um conjunto de possíveis lugares que cumpram uma série de condições ambientais, socioeconômicas e técnicas. Para os estudos de viabilidade técnica deve-se de ter em conta a informação cartográfica e as bases de dados disponíveis, dentre as quais:

- Mapas de trabalho, em geral nas escalas 1:50.000, 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 e outras.
- Mapas do cadastro rural.
- Mapas eólicos.
- Cartas topográficas.
- Mapas com a infra-estrutura de rodovias e estradas rurais.
- Mapas com a infra-estrutura de redes elétricas.
- Imagens via satelitales e fotografias aéreas.
- Informação complementar para a identificação dos proprietários e parcelas territoriais.
- Informação de áreas excluídas (reservas ecológicas, zonas históricas, zonas militares, etc.)

2.6. ASPECTOS GERAIS DO SIG

Em geral, no projeto que utiliza um SIG, se pode organizar uma série lógica de etapas sucessivas.

As etapas gerais que se podem definir são:

Etapa 1: **Criação da base de dados geográfica e a cartografia digital.**

Etapa 2: **Análise geográfica e espacial.**

Etapa 3: **Apresentação de resultados.**

2.6.1. Etapa 1: Criação da base de dados geográfica e a cartografia digital

Esta fase compreende os seguintes pontos:

- Identificação dos elementos cartográficos e seus atributos.
- Organização das camadas (ou folhas) de informação.
- Definição da estrutura da base de dados.

Processada e normalizada a informação de base, identificam-se os elementos espaciais e seus atributos e se os organiza em camadas temáticas. Estas camadas podem estar compostas dos seguintes objetos geográficos:

- Características do recurso eólico.
- Características e tipo de vegetação.
- Edificações e núcleos urbanos.
- Usos do solo.
- Infra-estrutura da região: rodovias, linhas elétricas, pontes, etc.
- Acidentes geográficos: rios, açudes, elevações, etc.

Posteriormente, realiza-se os diferentes estudos e processos de análises em função da informação disponível. Finalmente, com os resultados obtidos se podem definir um conjunto de possibilidades. Os pontos mais comuns a analisar são:

Características e tipo de vegetação: A vegetação se pode avaliar através dos seguintes elementos:

- Tipo de plantações.
- Altura.
- Zonas de cultivos.

Proximidade a núcleos urbanos: Pode-se definir zonas (para incluir ou excluir) considerando as distâncias com coeficientes de ponderação:

- Situada a menos de x metros, de assentamento urbano.
- Situada a mais de x metros de assentamento urbano.

Usos do solo: As diferentes classes de usos do solo que aparecem no projeto dependem da região em estudo; alguns pontos a se considerar são:

- Tipo florestal, matorral.
- Cultivos, pecuária.
- Improdutivos.
- Tipo de ocupação.

Vias de acesso: É importante analisar a existência de rodovias e estradas rurais para os movimentos de maquinários e equipes para a montagem do parque e o traslado dos materiais envolvidos no processo; e também para facilidade de acesso nas futuras tarefas de manutenção.

Redes elétricas: Deve-se analisar as redes elétricas da região para definir os possíveis pontos de interconexão e se é possível reduzir estas distâncias para diminuir os custos das linhas de interconexão.

2.6.2. Etapa 2: Análise geográfica e espacial

A análise espacial é a potencialidade intrínseca de um SIG. Esta capacidade é determinada pelas relações topológicas entre os elementos gráficos, forma de realizar cálculos e processos entre variáveis para se obter novos dados. Tudo isto permite aos SIG dispor de uma enorme capacidade de modelamento e simulação. Esta etapa é a mais importante porque permite estudar os processos mediante a realização e aplicação de modelos. Os resultados são representados mediante mapas temáticos, relatórios ou por uma combinação desses.

Um mapa temático é o elemento mais adequado para mostrar graficamente os resultados dos estudos geográficos enquanto um relatório deve ser usado para apresentar os resultados numéricos. Esta fase compreende os seguintes pontos:

- Análise espacial (álgebra de mapas, topologia, etc.).
- Análise tabular (cálculos e simulações na base de dados).
- Avaliação e interpretação dos resultados.

Através da informação disponível nas camadas temáticas do SIG e nas bases de dados, se deve definir as limitações ou os condicionantes do meio ambiente, socioeconômicos e técnicos para a localização a ser considerada.

a). Condições ambientais: É função do detalhe exigido pelas regulamentações ambientais, em geral, considera-se os seguintes aspectos:

- Espécies de aves na zona (tipo, quantidade, rotas de alimentação e migração).
- Espécies vegetais (tipo e abundância na zona).
- Níveis de ruído.
- Projeção de sombras (“shadow flickers”).
- Impacto visual.

b). Condições Socioeconômicas: Neste ponto se avalia e processa a informação referida ao seguinte temas:

- Ocupação do solo (tipo e custos).
- Proximidade às edificações (distâncias mínimas).
- Alturas (proximidade a aeroportos).
- Opinião da população e ONGs..

c). Condições Técnicas: Neste tema se trabalha com informação atualizada e com o maior detalhamento possível. Costuma-se incorporar dados de relevos no campo através de visitas aos possíveis lugares de instalação. Entre os condicionantes técnicos se consideram:

- Características do recurso eólico (mapa eólico, dados, etc.).

- Potência nominal do parque a instalar.
- Linha de interconexão do parque (parâmetros elétricos: resistência, reactância, tipo, etc.).
- Limites de queda de tensão das redes locais.
- Proximidade a acessos e vias importantes de comunicação (transporte ferroviário, portos, rodovias).
- Proximidade de linhas elétricas existentes e em projeto.
- Características geográficas da zona: rios, açudes, estradas secundárias, etc.
- Características do terreno para a localização dos aerogeradores.
- Modelos Digitais de Terrenos da zona.
- Acesso as rodovias (menor ou maior a x m).
- Acesso a estradas rurais (menor ou maior a x m).
- Distância mínima a lugares povoados.

Com as ferramentas de processamento cartográfico do SIG, obtêm-se os mapas temáticos para a eleição da proposta ou para o estudo das alternativas possíveis. Dos resultados e simulações resulta, em geral, uma listagem com várias alternativas possíveis dos lugares que cumprem condições pré-estabelecidas. Através de métodos de avaliação (qualitativos, quantitativos ou combinação de ambos) pode-se fazer uma caracterização e uma ponderação destes lugares. Sobrepondo as informações das zonas mais favoráveis, através do SIG se extraem a informação complementar desde as bases de dados, e por exemplo se obtém o número de proprietários afetados, a área afetada das parcelas correspondentes, uso e tipo de solos, custos, etc.

2.6.3. Etapa 3. Apresentação dos resultados da análise

Os resultados do processo de análise se mostram graficamente por meio dos mapas temáticos específicos e através de relatório que apresentam os resultados obtidos baseado na tabela de bases de dados. O relatório final com todos os resultados obtidos terá que ser avaliado pelo projetista que decidirá em cada caso, se a solução é lógica e aceitável.

2.7. MÉTODOS E TÉCNICAS A EMPREGAR

Os recursos e técnicas metodológicas utilizadas para atingir os objetivos propostos são:

- Elaboração do marco teórico-conceitual.
- Seleção das áreas que servirão como modelos.
- Reconhecimento no terreno das áreas de estudo.
- Análise da informação disponível (geral e específica).
- Desenho conceitual de um SIG sobre as energias renováveis.
- Estudos teóricos e análises da energia eólica disponível na região.
- Seleção e adequação do SIG mais conveniente de acordo às necessidades do projeto.
- Adaptação da informação (cartográfica e alfanumérica).
- Utilização dos planos digitais como fonte básica de informação geográfica.
- Vinculação dos elementos gráficos às diferentes fontes de dados.

Utilização do SIG para processar os dados técnicos para:

- Análise espacial.
- Geração da cartografia temática para os diferentes resultados.
- Avaliação dos resultados e impactos das inovações tecnológicas aplicadas.

Especificações sobre a metodologia

Fontes de Informação e Resultados: As fontes primárias de informação contribuem com dados para gerar a cartografia temática e as bases de dados. Prevê-se que a informação necessária será produzida em várias etapas durante a execução do projeto. Posteriormente, realiza-se a vinculação dos elementos gráficos aos registos correspondentes das diferentes bases de dados. Finalmente com o SIG se realiza os estudos e as simulações integrando toda a informação (gráfica e alfanumérica) e se realiza a geração dos mapas temáticos finais para os diferentes resultados.

Aquisição e preparação dos dados: Os dados são originários de várias fontes, bases de dados de organismos estatais; bases de dados de empresas de eletricidade, bases de dados de institutos meteorológicos; mapas; fotografia aérea; imagens de satélite, etc.

Pré-processamento da informação: Consiste na preparação dos dados em geral, e inclui a construção dos mapas gerais da região. Utiliza-se o SIG para a maior parte destas tarefas. A etapa mais trabalhosa do projeto é a aquisição, adaptação e integração dos dados para a construção da base de dados e a geração da cartografia digital. É necessário capturar os dados, digitalizá-los e adaptá-los ao SIG.

A metodologia geral inclui diversos passos:

Criação de uma base de dados geográficos: A elevada quantidade de dados que descrevem de forma geográfica as características da região devem ser introduzidos em formatos uniformizados.

Criação da cartografia digital: Realiza-se diretamente com o SIG ou através de programas externos, usando as técnicas de importação e exportação do SIG. A cartografia da infra-estrutura, da geomorfologia e dos recursos energéticos da região (eólicos) realiza-se com a melhor resolução possível e baseada nas séries de dados previamente recolhidos. A informação, devidamente referenciada e uniformizada, para diversas análises e processamentos será utilizada de acordo com procedimentos definidos pela Tecnologia SIG (por exemplo: algebra de mapas, filtros geográficos, etc.).

Caracterização da localização: Devem-se analisar as características do lugar, o que determinará a disponibilidade ou não do recurso eólico. Se considerarem, entre outros, os seguintes aspectos: Distância à rede e a infra-estruturas energéticas, situação geográfica (latitude e longitude), altitude, acidentes geográficos, montanhas, rios, açudes, mapas de ventos, futuro desenvolvimento de infra-estruturas, etc..

Viabilidade técnica: Com a caracterização da localização e considerando os fatores técnicos específicos, pode-se obter uma primeira listagem das possíveis tecnologias a se utilizar. Esta lista se pode reduzir estudando outros motivos que impossibilitem o uso de algumas das tecnologias, por exemplo: rejeição da população, altos custos de implementação, impedimentos legais ou institucionais, etc. Analisados estes dados ter-se a uma lista mais reduzida com as alternativas possíveis e posteriormente se deverá fazer uma análise mais exaustiva. Finalmente, realizada a comparação entre os diversos sistemas e os melhores lugares, se delimitarão as áreas de elevado potencial; se efetua os estudos de viabilidade e se realiza a classificação correspondente.

Mapas temáticos do recurso eólico: Se realizarão transferindo à plataforma geográfica a informação deste recurso energético em cada ponto da área de estudo. Estes mapas se geram através da interpolação ou extrapolação dos dados existentes. Existem características geográficas específicas de cada zona que afetam o recurso, e também são utilizados nos modelos.

Recursos eólicos: Podem-se utilizar os dados históricos oficiais contribuídos pelos organismos vinculados a estes temas. Também existem modelos de simulação de vento baseados em métodos reconhecidos cujos dados podem incluir-se no SIG.

Parques eólicos: Com esta metodologia se pretende obter mapas temáticos que permitam localizar os melhores lugares para a instalação de parques eólicos. O objetivo da metodologia é responder -por exemplo- às seguintes perguntas:

- Quais são os lugares onde é possível localizar uma instalação de geração com energia eólica?
- Quais são as zonas de mais elevado potencial?
- Onde estão as linhas elétricas mais próximas?
- Qual é o melhor acesso ao lugar?

- Seleccionados os lugares possíveis quais são os custos de instalação em cada lugar?

Análise geográfica: Definido o possível lugar de uma instalação pode existir um conjunto de limitações ou restrições geográficas. Com o SIG é possível filtrar os elementos, por exemplo, tendo-se em conta:

- Se a velocidade média anual de vento for inferior a um valor determinado.
- Se a altitude é superior ao valor máximo admissível.
- Se a inclinação do terreno é superior ao valor máximo aceitável.

Devem ser excluídos todos os lugares em que não seja permitida a instalação, tais como:

- Reservas naturais, zonas de esparramo, zonas arqueológicas, zonas militares, etc.
- Areas de interferência eletromagnética (aeroportos, repetidores de rádio e televisão, etc).
- Areas perigosas (inundações, descargas atmosféricas, etc.).
- Limites de queda de tensão para as redes de conexão com o sistema elétrico.
- Distâncias mínimas por razões de segurança e pelo ruído causado pelos aerogeradores.

Relação entre o Vento e a Altura: Deve-se corrigir a velocidade do vento em função da altura. A correção da velocidade permite ter uma idéia do vento real que se teria à altura do centro do rotor de um gerador eólico. Trabalha-se com os dados históricos de vento para a avaliação do potencial eólico, para alturas de referências de 10 metros.

Rugosidade do terreno: quando se trata de avaliar as condições eólicas de um lugar, faz-se referência à classe de rugosidade. Esta magnitude corresponde a uma medida em metros das imperfeições do terreno em onde se faz o estudo.

Modelo Simplificado do Gerador Eólico: Para conhecer a potência gerada em cada momento do dia, precisa-se informação do vento que deverá ser corrigida de

acordo à altura à que se encontra instalado o rotor da turbina. O perfil de velocidades do vento não é fácil de estimar, normalmente se trabalha com a informação histórica dos perfis de vento -mapas eólicos- na zona de estudo. A informação destes mapas se deve corrigir em função da altura na se quer conhecer o perfil dos ventos.

Os parâmetros que devem ser considerados são:

Altura de referência dos dados de perfis de vento: velocidade do vento à altura de referência, curva de potência dos modelos propostos, altura do eixo do rotor do gerador, velocidade do vento à altura do eixo do rotor, rugosidade superficial, fator zonal, eficiência de conexão à rede, etc.

Curva de Geração dos geradores eólicos: potência que fornece um gerador eólico dependendo só da velocidade do vento à altura do rotor. É uma representação simplificada para cada modelo.

Os pontos e as características antes mencionadas, apresentam na maioria dos casos, uma dinâmica no uso dos dados, que obriga a sua atualização de forma permanente. Também é imprescindível contar com a informação confiável dos diferentes parâmetros envolvidos e o qualidade desses dados. A informação prove de organismos independentes entre si, que procuram na maioria dos casos, só a quantificação das variáveis para uso próprio e muitas vezes não leva em conta os processos que determinam dita quantificação. Isto implica em demandas de informações muito díspares e com diferentes níveis de exigência.

Por outro lado, a velocidade de aparição das novas tecnologias supera a capacidade de avaliação por parte dos organismos envolvidos. Resulta em dispor de informação que possa ser utilizada na hora de tomar decisões. Se a informação não se processa corretamente ou não é atualizada, ou demora em difundir-se, perde utilidade e conduz a erros na tomada de decisões. A finalidade de-se utilizar a Tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica é a de incrementar a capacidade de planejamento regional a diferentes escalas para o manejo mais eficiente dos recursos disponíveis.

Isto é, propõe-se uma mudança conceitual no manejo da informação induzido por uma concepção sistemática e confiável.

CAPITULO 3. A MATRIZ ENERGÉTICA DA ARGENTINA E A INCIDÊNCIA DA ENERGIA EÓLICA

A matriz energética primária na Argentina se caracteriza por uma forte dependência dos combustíveis fósseis: o gás natural, o petróleo e em menor quantidade o carvão mineral. Esses três combustíveis correspondem a 89% da matriz energética; se considerarmos a geração nuclear, estas 4 fontes chegam a 92% da matriz energética. O 8% restante é energia hidráulica (5%), lenha (1%), bagaço (1%) e outros primários (1%). (CAMMESA, 2008).

O sistema de geração elétrica argentino é fortemente dependente do Gás Natural. Este combustível é empregado em 90% das centrais termoelétricas. A figura 3.1. mostra a produção de energia elétrica por tipo de geração.

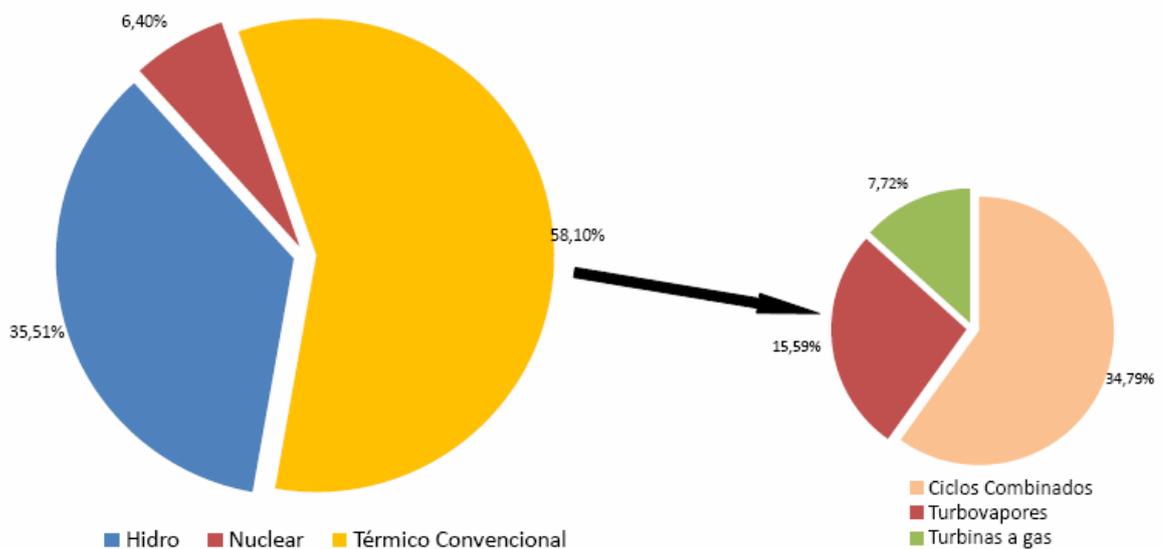


Figura 3.1. Produção de energia elétrica por tipo de geração. Fonte: CAMMESA 2008.

A atual capacidade instalada do país é de 24 GW (CAMMESA, 2008). Desta potência nominal, a que pode entregar-se à rede é 18 GW, tendo em vista a disponibilidade das máquinas. Nas figuras 3.2 e 3.3 são apresentados a evolução da potência instalada e a demanda de energia por regiões geográficas, respectivamente. Observa-se que o maior consumo está nas regiões da grande Buenos Aires (GBA), Buenos Aires Sul (BAS), Litoral (LIT) e Centro (CEN), somando 73,9% do total do

país. Ressalta-se que uma maior concentração esta na Província de Buenos Aires (GBA e BAS) com 52,6%.

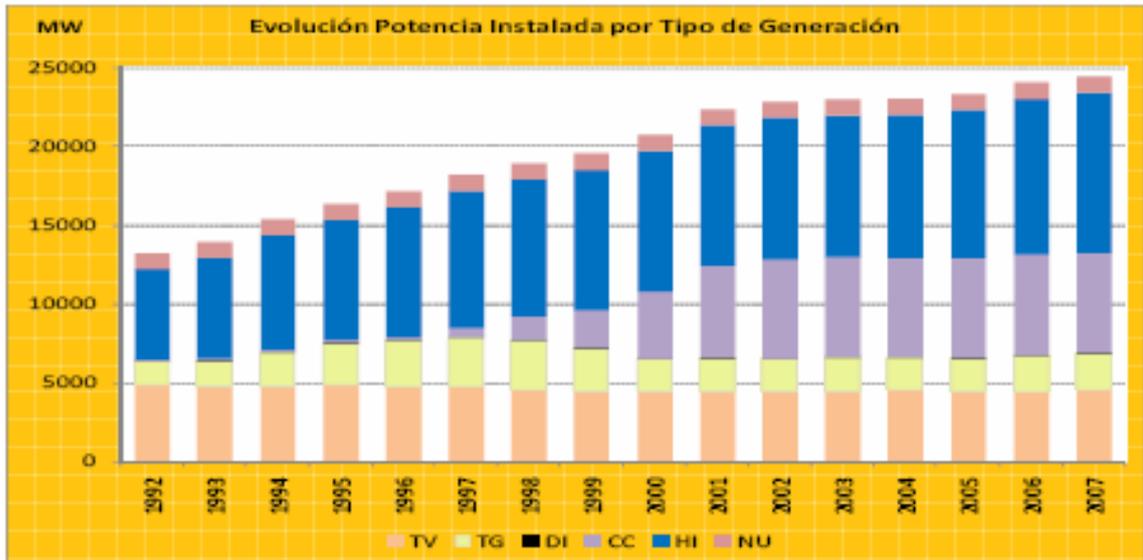


Figura 3.2. Evolução da potência instalada por tipo de geração. Fonte: CAMMESA 2008.

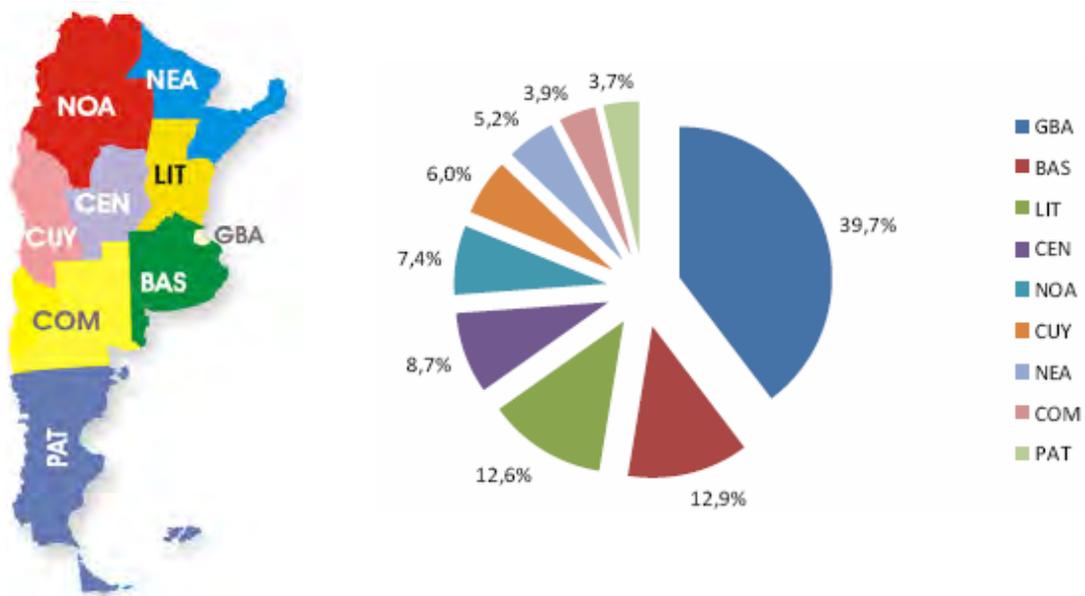


Figura 3.3. Demanda de energia por regiões geográficas. Fonte: CAMMESA 2008.

A figura 3.4 apresenta informações sobre a localização geográfica das principais centrais elétricas e a figura 3.5 apresenta as redes elétricas no Sistema Interconectado

Nacional; no mapa simplificado da direita, pode-se ver as linhas em 132 kV e as de 500 kV.



Figura 3.4. Localização geográfica das centrais elétricas. Fonte: AGEERA 2008.

Apesar de sua tradicional presença na Argentina (sobretudo em baixa potência para instalações rurais isoladas), a energia eólica, em suas diversas aplicações, não teve até agora um apoio real governamental. Na tabela 3.1, pode-se observar o total das instalações em 2006 na Argentina, algumas das quais já se encontram fora de serviço.

Tabela 3.1. Detalhe da potência instalada na Argentina. Fonte: AAEE, 2006.

LOCALIDADE	PROVÍNCIA	INICIO DE OPERAÇÃO	POTÊNCIA TOTAL [kW]	NÚMERO DE MAQUINAS	MARCA/MODELO
RIO MAYO	CHUBUT	02/1990	120	4 x 30 kW *	AEROMAN 30kW
COMODORO RIVADAVIA	CHUBUT	19/01/1994	500	2 x 250 kW	MICON M530
CUTRAL CO	NEUQUEN	20/10/1994	400	1 x 400 kW	MICON M750-400/100
PEHUEN CO	BUENOS AIRES	17/02/1995	400	1 x 400 kW	MICON M750- 400/100
PICO TRUNCADO	SANTA CRUZ	08/05/1995	1.000	10 x 100 kW *	VENTIS 20-100
TANDIL	BUENOS AIRES	26/05/1995	800	2 x 400 kW	MICON M750- 400/100
RADA TILLY	CHUBUT	18/03/1996	400	1 x 400 kW	MICON M750-400/100
COMODORO RIVADAVIA	CHUBUT	12/09/1997	6.000	8 x 750 kW	NEG-MICON NM750/44
MAYOR BURATOVICH	BUENOS AIRES	22/10/1997	1.200	2 x 600 kW	AN BONUS
DARREGUEIRA	BUENOS AIRES	19/09/1997	750	1 x 750 kW	NEG-MICON
PUNTA ALTA (BAJO HONDO)	BUENOS AIRES	10/12/1998	1.800	3 x 600 kW	AN BONUS
CLAROMECO	BUENOS AIRES	26/12/1998	750	1 x 750 kW	NEG-MICON
PICO TRUNCADO	SANTA CRUZ	05/03/2001	2.400	4 x 600 kW	ENERCON (Wobben) E-40
COMODORO RIVADAVIA	CHUBUT	10/12/2001	10.560	16 x 660 kW	GAMESA G-47
GRAL. ACHA	LA PAMPA	1º - 12/2001 2º - 02/2004 (1)	1.800	2 x 900 kW	NEG-MICON NM900/52
POTENCIA TOTAL			27.760 kW		

(1)Pardida em serviço em 2005. * Fora de serviço.

3.1.1. O Mapa Eólico na Argentina

O Mapa de Potencial Eólico Argentino foi desenvolvido e lançado no ano 2007 pelo Ministério de Planejamento Federal (Setor de Investimento Público e Serviços da Nação) e pelo Centro Regional de Energia Eólica.

Como se pode observar na figura 3.6, o mapa é uma representação em grande escala das condições eólicas no país, e mostra as regiões onde as condições podem ser mais propícias. Pode-se observar que existem duas zonas que se destacam por ter as melhores médias de ventos no país.

Deve-se considerar ao interpretar estes valores que o único dado é a velocidade média anual, que é utilizado como parâmetro de comparação entre os diferentes lugares.

Existem outras características do vento, como persistência ou turbulência que também se devem considerar, quando se analisa um possível ponto de localização.

Os lugares com forte turbulência podem ser descartados frente a outros de menor velocidade média e menos turbulência, pois no primeiro caso, a vida útil das turbinas pode ser consideravelmente reduzida.

De qualquer modo, para uma primeira classificação, a velocidade média é o parâmetro mais significativo.

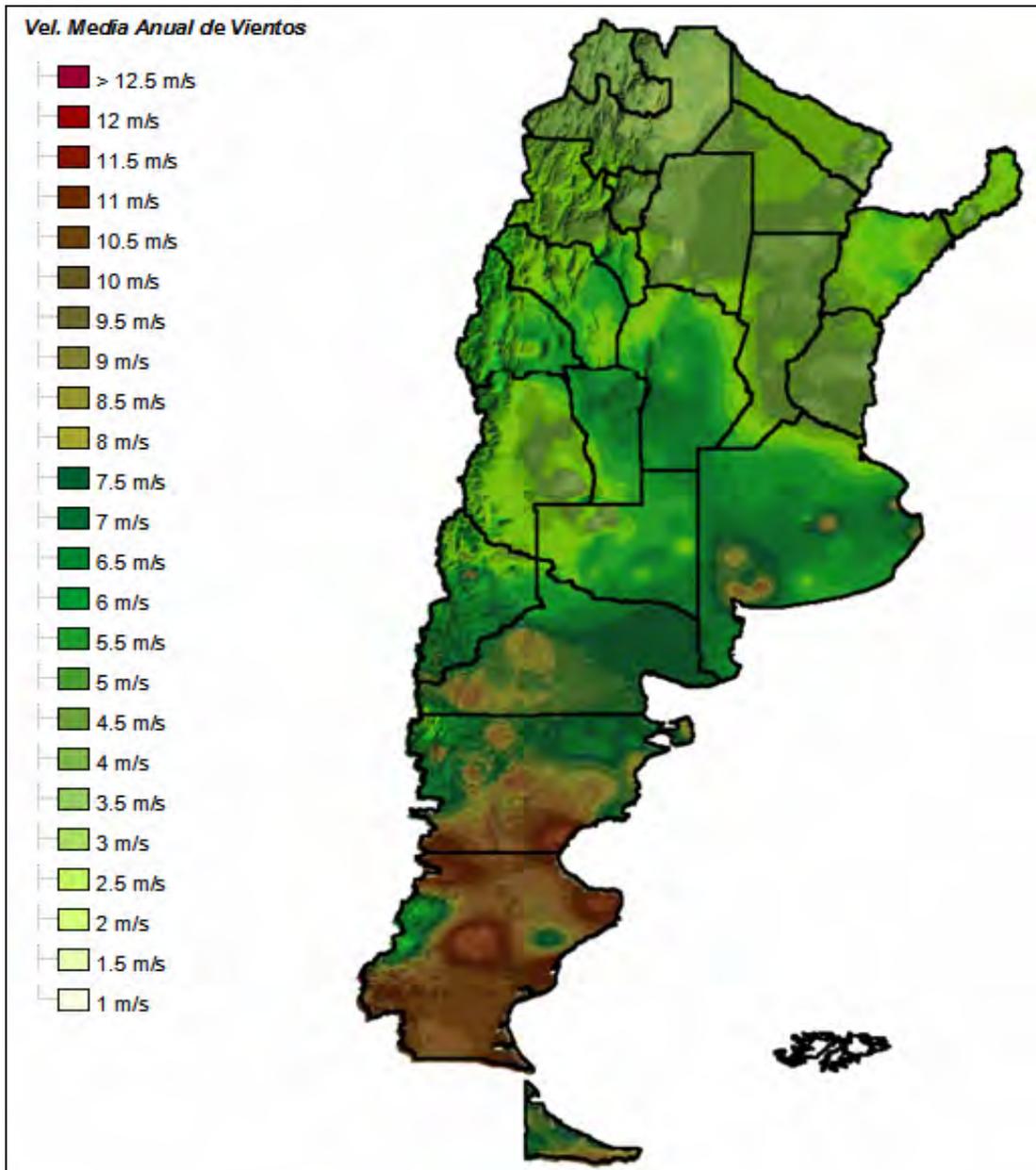


Figura 3.6. Mapa do potencial eólico nacional. Fonte: CREE, 2007.

3.1.2. O potencial eólico na Província de Buenos Aires

Como já mencionado, a Província de Buenos Aires é uma das áreas para o desenvolvimento da energia eólica na Argentina, particularmente em sua zona costeira.

O conjunto de redes elétricas do Sistema Interconectado Nacional, (figura 3.8), que cruzam a Província se encontra bem mais desenvolvido e apresenta capacidade superior de transmissão, comparativamente com a zona patagônica. Existe uma grande quantidade de linhas de distribuição que permitem uma melhor conexão dos parques eólicos, com menores custos (redes de interconexão mais curtas e menores perdas de

transmissão de energia elétrica). Na figura 3.7 pode-se observar as centrais elétricas na Província de Buenos Aires.

Por outro lado, a província teve um elevado aumento na demanda pela reativação econômica dos últimos anos, principalmente proveniente de atividades como a pesca, a agricultura, o turismo e de diferentes setores industriais. Esta situação faz com que o abastecimento de energia na Costa Atlântica não consiga acompanhar a demanda, como se pôde evidenciar nos últimos anos, com o corte de energia em diferentes setores, tornando-se necessário, a programação de cortes no setor industrial, o que indica a necessidade urgente de se produzir energia e injetar à rede, nesta zona do país.

Vantagens técnicas e econômicas para instalação de parques eólicos nessa região, se contrapõem com as restrições que existem em outras regiões do país, como é o caso da Patagônia, por exemplo, onde as grandes distâncias dos principais centros de consumo do país e a pouca quantidade de redes elétricas existentes, podem inviabilizar instalações eólicas.



Figura 3.7. Centrais elétricas na Província de Buenos Aires. Fonte: CAMMESA 2008.

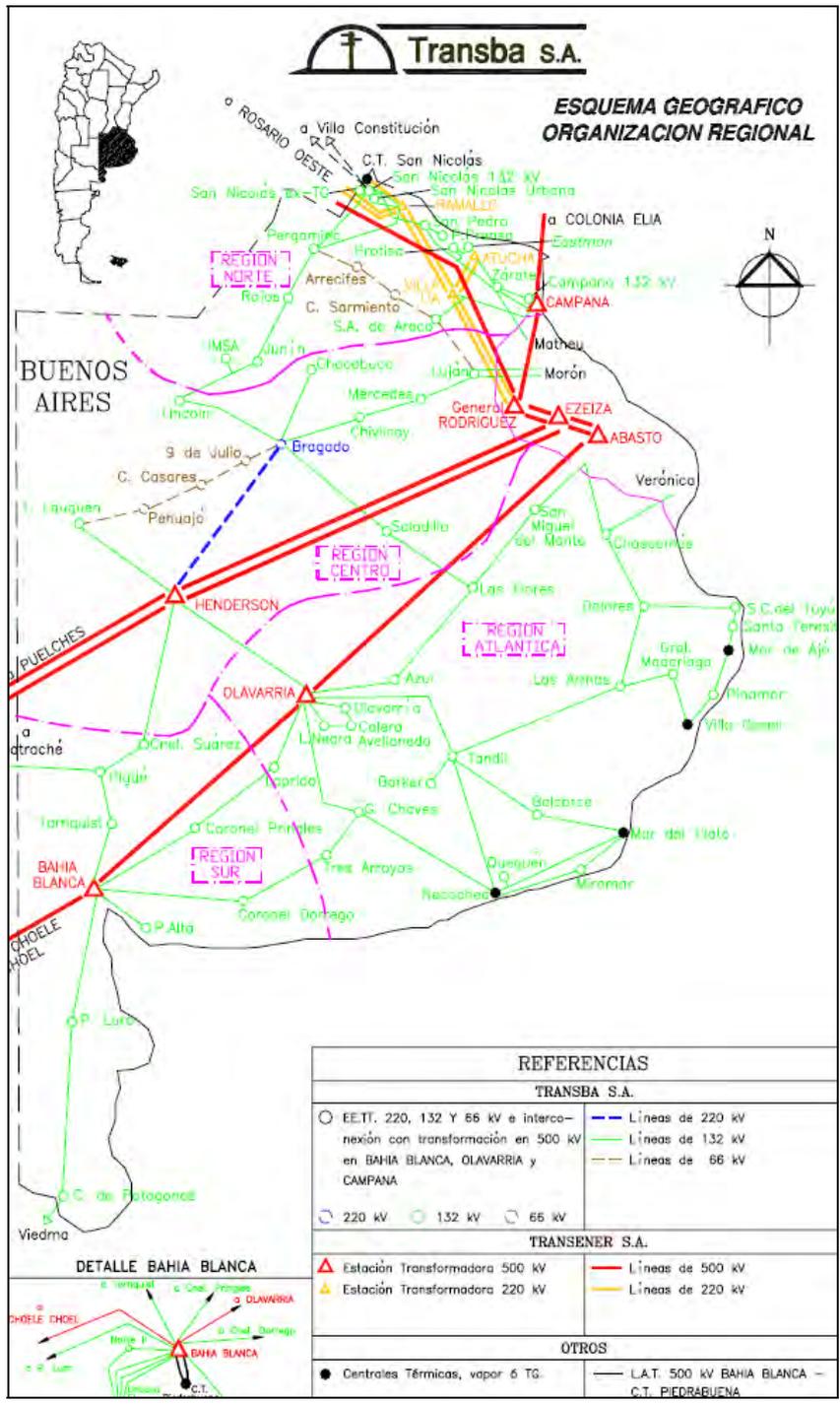


Figura 3.8. Sistema eléctrico da Provincia de Buenos Aires. Fonte: Transba 2008.

Esses argumentos expostos, também justifica o estudo de energia eólica para a Província de Buenos Aires, especificamente para a área costeira.

CAPITULO 4. ESTUDOS ESTATÍSTICOS DA ENERGIA EÓLICA

Neste capítulo se apresenta os estudos estatísticos para do processamento da informação meteorológica histórica.

4.1. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO

A fase de avaliação do potencial energético de uma região é o tema mais importante, independentemente do tipo e tamanho do projeto. Em função dos resultados obtidos se poderá determinar a viabilidade ou não do projeto, e definir a melhor localização para novas instalações. Para uma correta caracterização do recurso é fundamental a utilização de série de dados meteorológicos históricos.

Na maioria dos casos, os fatores de capacidade são deduzidos a partir de dados das estações meteorológicas e baseados em distribuições típicas de Weibull.

Existem determinadas características do vento que definem a qualidade do recurso e têm influência sobre o projeto e o rendimento de um parque eólico. Devido a variabilidade e aleatoriedade do vento, deve-se sempre aplicar técnicas estatísticas para a completa análise da planta eólica.

A metodologia de cálculo e os resultados das leis de distribuição da velocidade e direção do vento (Danish Wind Industry Association, WindPower.org, 2007), (WWEA, 2007), (Gotland University, 2006), (Fernández Diez, 2003), (Burton, 2001), são mostradas a seguir:

4.1.1. Análise estatística em série temporal

No processamento estatístico das séries temporais a velocidade média considera a série de dados em todo o período de medição, o desvio padrão, os valores máximo, mínimo e a quantidade de dados disponíveis. A velocidade média pode ser determinada a partir da seguinte equação:

$$V_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad 4.1$$

O desvio padrão é:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (V_i - V_m)^2} \quad 4.2$$

Onde:

V_m velocidade média.

N número de dados da série temporal.

V_i representa um dado individual da velocidade.

A intensidade de turbulência é definida como a variação da velocidade do vento num intervalo de tempo relativamente curto, menor que 10 minutos. A intensidade de turbulência é um índice importante no estudo, visto que zonas com alto fator de rajada, podem produzir efeitos de fadiga maiores sobre os componentes do aerogerador; por outro lado a intensidade de turbulência, serve para avaliar o comportamento e a qualidade do sistema de controle das máquinas.

A intensidade de turbulência é calculada pela seguinte equação:

$$IT = \frac{\sigma}{V_m} \quad 4.3$$

Onde:

σ desvio padrão definido num período de 10 minutos.

V_m velocidade média nesse mesmo período de tempo.

4.1.2. Histograma de frequência de velocidade do vento

Para a avaliação da velocidade média do vento se deve determinar a duração anual dos diferentes níveis de velocidades. O histograma de velocidade, também chamado “distribuição de frequências de velocidade”, constituem uma representação gráfica que permitem visualizar como se distribui a intensidade do vento e que faixa de velocidade ocorre com maior frequência dentro da série de dados.

4.1.3. Distribuição de frequência por direção do vento

A distribuição de frequência por direção do vento, denominada “rosa dos ventos”, permite combinar e mostrar a lei de distribuição de velocidades e a frequência de variação nas diferentes direções.

A rosa dos ventos representa as velocidades médias por direção ou a frequência de ocorrência de uma determinada direção. Permite determinar as direções dominantes dos ventos. Em geral não coincide a direção dominante com a maior intensidade de vento já que em muitos casos os ventos mais intensos não são os que sopram mais horas no ano procedentes de uma determinada direção.

Estes dados são importantes porque permitem considerar a influência dos obstáculos no desenho do parque e no posicionamento dos aerogeradores. Quando se determina a posição das turbinas, é necessário ter um terreno o mais liso possível e a menor quantidade de obstáculos na direção do vento preponderante.

4.1.4. Lei da Distribuição de Weibull da velocidade do vento

A Função Densidade de Probabilidade de Weibull é uma distribuição estatística de probabilidade e se utiliza para descrever a variação da velocidade do vento numa zona. A Lei de Weibull se utiliza com fins de prognóstico a longo prazo na estimativa do potencial de geração de eletricidade de um aerogerador por toda sua vida útil. Para usar esta distribuição é recomendável utilizar dados de medições durante mais de um ano (quanto mais anos medidos se consideram, mais confiável serão os calculos). A Função Densidade de Probabilidade de Weibull, $\phi(v)$, depende de dois parâmetros ajustáveis (k ; c) e pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$\phi(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp(-v/c)^k \quad 4.4$$

Onde:

v velocidade instantânea de vento.

c fator de escala em m/s com valores próximos à velocidade média.

k fator de forma que caracteriza a assimetria da função probabilidade.

Na figura 4.1 pode-se observar como o fator k afeta o gráfico de Weibull.

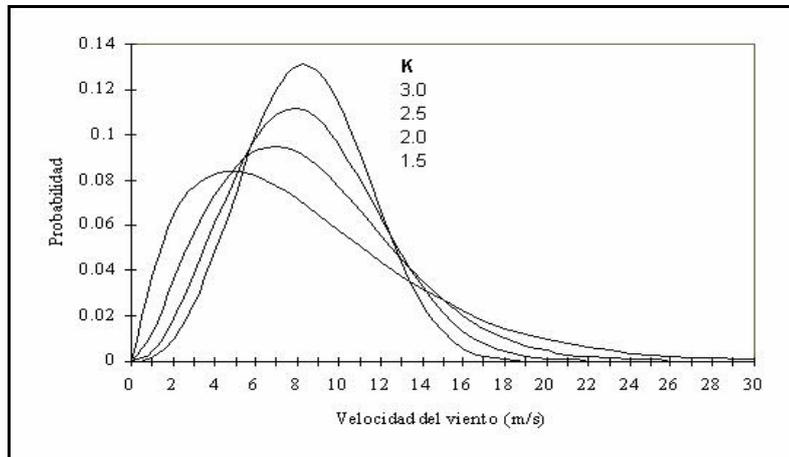


Figura 4.1. Gráfico de Weibull em função do fator de forma “k”. Fonte: UNAM,1998.

A distribuição de Weibull é muito útil pois simplifica os processos de cálculos e evita trabalhar com toda a série de dados obtida nas medições. A Distribuição de Rayleigh, corresponde ao caso particular em que o fator de forma vale $k = 2$, e é utilizada geralmente quando se tem pouca informação e se requer um cálculo rápido e simples.

4.1.5. Extrapolação de dados em altura

Para descrever a variação da velocidade do vento em função da altura se utiliza a Lei Exponencial de Hellmann (Fernández Diez, 2003), (Burton, 2001), que tem a seguinte equação:

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha \quad 4.5$$

Onde:

V_{10} velocidade de vento medida a 10 metros de altura.

V_h velocidade de vento à altura “h”.

α expoente de Hellmann em função da rugosidade do terreno.

A tabela 4.5 mostra os diferentes valores de Hellmann para as condições do terreno.

Tabela 4.1. Valores de “ α ” para terrenos de diferentes característica. Fonte: Fernández Diez, 2003.

Características do terreno	Expoente de Hellmann α
Lugares planos com gelo ou mata	0,08 – 0,12
Lugares planos (mar, costa)	0,14
Terrenos pouco acidentados	0,13 – 0,16
Zonas rústicas	0,20
Terrenos acidentados ou bosques	0,20 – 0,26
Terrenos muito acidentados e cidades	0,25 – 0,40

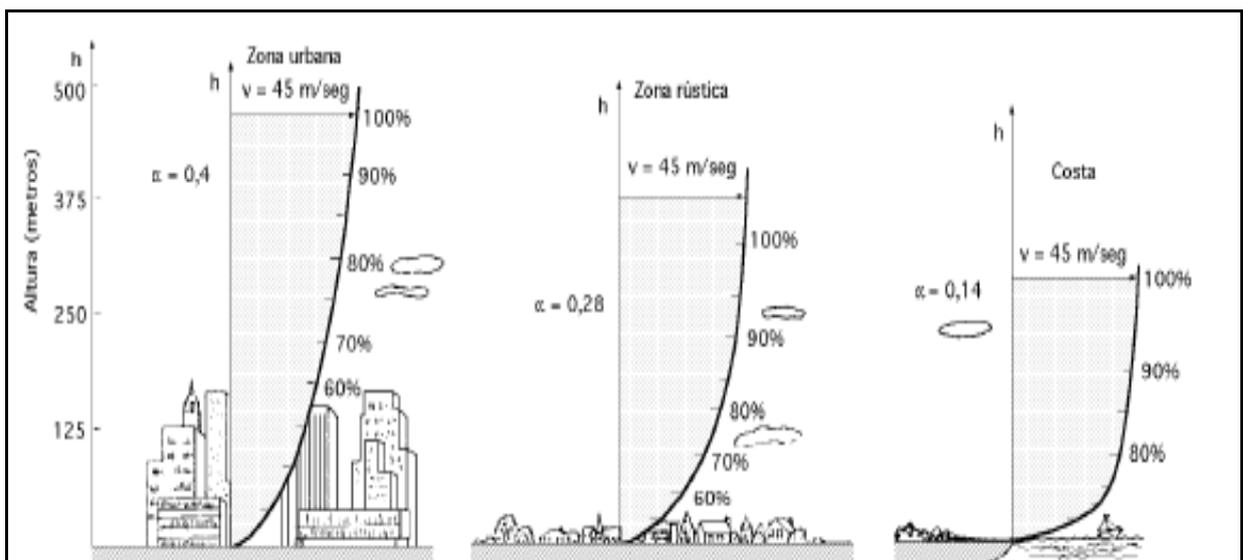


Figura 4.2. Variação da velocidade do vento com a altura. Fonte: Fernández Diez, 2003.

4.1.6. Rosa das rugosidades

A rosa das rugosidades é utilizada para descrever a rugosidade do terreno em diferentes direções. Para construí-la é necessário uma grande quantidade de dados específicos da localização, como as cartas topográficas do terreno, imagens de satelitales e fotos aéreas.

Tabela 4.2. Classe e longitude de rugosidades. Fonte: Danish Wind Industry Association, WindPower. 2007.

Classe de rugosidade	Longitude de rugosidade [m]	Tipo de paisagem
0	0,0002	Superfície do água.
0,5	0,0024	Terreno completamente aberto com uma superfície lisa, pistas de concreto nos aeroportos, grama cortada, etc.
1	0,03	Área agrícola aberta sem cercados nem cerca-viva e com edifícios muito dispersos. Só colinas suavemente arredondadas.
1,5	0,055	Terreno agrícola com algumas casas e cerca-viva resguardante de 8 metros de altura com uma distância aproximada de 1250 m.
2	0,1	Terreno agrícola com algumas casas e cerca-viva resguardante de 8 metros de altura com uma distância aproximada de 500 m.
2,5	0,2	Terreno agrícola com muitas casas, arbustos e plantas, ou cerca-viva resguardante de 8 metros de altura com uma distância aproximada de 250 m.
3	0,4	Povos, cidades pequenas, terreno agrícola, com muito ou alta cerca-viva resguardante, bosques e terreno acidentado e muito desigual.
3,5	0,8	Cidades maiores com edifícios altos.
4	1,6	Cidades muito grandes com edifícios altos e arranha-céus.

4.2. ESTUDOS DE POTÊNCIA E ENERGIA

4.2.1. Potência específica disponível no vento

A potência específica ou densidade de potência é um parâmetro que permite definir a potencialidade do vento para a produção de energia eólica num lugar. Calcula-se com equação: (Fernández Diez, 2003), (Burton, 2001).

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2N} \rho \sum_{n=1}^N V_i^3 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad 4.6$$

Onde:

A seção perpendicular à direção do vento.

ρ densidade do ar no lugar considerado.

A densidade de potência eólica é diretamente proporcional à densidade do ar e inversamente proporcional à temperatura ambiente, e diretamente proporcional à pressão atmosférica (portanto, diminui com a altura sobre o nível do mar). De acordo com as condições locais, pode-se corrigir a densidade do ar utilizando a seguinte equação:

$$\rho_{cor} = 1.225 \left(\frac{288.15}{T_s} \right) \left(\frac{P_s}{1013.3} \right) \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \quad 4.7$$

Onde:

T_s temperatura média, em °K.

P_s pressão média no lugar de medição, em mbar.

A energia eólica disponível no local pode ser determinada pela seguinte equação:

$$E_T = T \left(\frac{P}{A} \right) \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \quad 4.8$$

Onde:

T é o número total de horas do período de medição considerado.

4.2.2. Densidade de potência do vento em função de Weibull

Neste caso a equação seguinte pode ser utilizada:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v_i^3 \phi(v_i) \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad 4.9$$

4.2.3. Lei de Betz

Toda a potência disponível no vento não pode ser aproveitada pelas máquinas eólicas. O Teorema de Betz, baseado na teoria de quantidade de movimento, determina a quantidade máxima de energia utilizável que pode ser gerado numa turbina ideal em função da velocidade do vento. Segundo Betz (Fernández Diez, 2003), (Burton, 2001), tem-se:

$$\frac{P_{\text{útil_máxima}}}{P_{\text{viento}}} = \frac{16}{27} = 59,5\% \quad 4.10$$

A este valor limite nenhuma máquina eólica poderá atingir. Esta aproximação de Betz é muito simplificada e não leva em conta outros fatores tais como:

- A resistência aerodinâmica das pás.
- A perda de energia pelo rastro gerado na rotação.
- A compresibilidadad do fluido.
- A interferência das pás.

Na prática se chegam a valores de rendimento do ordem de 46% no máximo (Fernández Diez, 2003).

4.2.4. Função densidade de potência teórica utilizável

Para conhecer o valor máximo da densidade de potência teórica aproveitável nos lugares de estudo, deve-se considerar o limite de Betz.

$$\frac{P}{A} = \frac{16}{27} * \frac{1}{2} \rho v_i^3 \phi(v_i) \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad 4.11$$

4.2.5. Características técnicas da turbina

O International Electrotechnical Commission (IEC) classificou os aerogeradores em diferentes classes, considerando os fabricantes, de acordo com a Norma IEC 61400-1. A tabela 5.9 mostra o quadro com as classes do IEC indicando os parâmetros básicos.

Tabela 4.3. Classes IEC especificando os parâmetros básicos. Fonte: IEC.

Parâmetros	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe S
V_{ref} (m/s)	50,0	42,5	37,5	30,0	Especificados pelo fabricante
V_{anual} (m/s)	10,0	8,5	7,5	6,0	
IT (σ/V_{med})	0,18	0,18	0,18	0,18	

Sendo V_{ref} a velocidade de referência definida como o máximo valor de velocidade que a turbina eólica pode suportar em 10 minutos.

4.2.6. Potência a ser entregue a rede elétrica local

A tabela a seguir indica os valores de potência máxima da instalação e o nível de tensão correspondente.

Tabela 4.4. Potência máxima da instalação o nível de tensão. Fonte: UNAM, 1998.

Potência máx. da instalação (kW)	Nível de tensão (kV)
100	≤ 1
1.000	$1 < \text{kV} \leq 10$
2.000	$10 < \text{kV} \leq 12$
3.000	$12 < \text{kV} \leq 15$
4.000	$15 < \text{kV} \leq 20$
6.000	$20 < \text{kV} \leq 25$
8.000	$25 < \text{kV} \leq 36$
15.000	$36 < \text{kV} \leq 72,5$
40.000	$72,5 < \text{kV} \leq 132$
> 40.000	$132 < \text{kV}$

4.2.7. Método estático para determinar a produção de energia

Analiticamente a energia produzida em uma turbina eólica pode ser determinada pela seguinte equação:

$$E_{P,T} = T \int_0^{\infty} P(v)p(v)dv \quad 4.12$$

Onde:

$P(v)$ representa a curva de potência do gerador utilizado.

$p(v)$ função distribuição de probabilidade de Weibull.

T período de tempo considerado.

A vantagem deste método é sua simplicidade, mas isto significa ignorar determinados efeitos não estacionários, perdas por mudanças de direção, períodos de manutenção, etc.

4.2.8. Fator de capacidade

O fator de capacidade mede a produtividade do parque eólico, e se baseia na relação entre a energia realmente produzida e a que seria produzida se a planta operasse o ano inteiro (8760 h/ano).

$$FC \% = \frac{\text{Produção de energia anual}}{\text{Potência nominal} * 8760 \text{ h/ano}} \quad 4.13$$

Valores aceitáveis do FC se situam entre o 20% e 30%, ainda que existam localizações que possam chegar até 70% (Danish Wind Industry Association, 2008).

4.2.9. Fator de utilização

O Fator de utilização é um índice que indica a confiabilidade da turbina.

$$FD \% = \frac{\text{Horas de funcionamento reais}}{8760 \text{ h/ano}} \quad 4.14$$

A seguir no capítulo 5 determina-se a avaliação e caracterização do recurso eólico na Província de Buenos Aires.

CAPITULO 5. AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO RECURSO EÓLICO NA PROVÍNCIA DE BUENOS AIRES

Neste capítulo são apresentados os cálculos e resultados do processamento da informação meteorológica para seis cidades do sudeste da província de Buenos Aires.

5.1. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO

A fonte principal de informação foi do Serviço Meteorológico Nacional (SMN) que depende do Ministerio de Defensa e Planejamento da Argentina. A informação histórica das estações meteorológicas para a região em estudo é mostrada a tabela 5.1.

Tabela 5.1. Dados do Serviço Meteorológico Nacional. Fonte: Elaboração própria.

Dados do Serviço Meteorológico Nacional						
	Localidade	Localização geográfica		Altura de medição	Período	Média dos dados
		Latitude	Longitude			
1	Bahía Blanca	38° 44' S	62° 11' O	10 m	2005-2006	1 hora
2	Benito Juárez	37° 48' S	59° 48' O	10 m	2005-2006	3 horas
3	Coronel Suárez	37° 28' S	61° 56' O	10 m	2005-2006	3 horas
4	Mar del Plata	37° 56' S	57° 35' O	10 m	2005-2006	1 hora
5	Tandil	37° 14' S	59° 15' O	10 m	2005-2006	1 hora
6	Tres Arroyos	38° 22' S	60° 15' O	10 m	2005-2006	3 horas

As séries do SMN apresentam variáveis de velocidade média e direção do vento para cada intervalo de medição em cada estação meteorológica.

Na Argentina, existe também uma rede de estações meteorológicas que é utilizada para os estudos agropecuários. Nestas estações não se registra a direção do vento e somente o valor da velocidade média no intervalo de medição. As características destes dados são apresentadas na tabela 5.2.

Tabela 5.2. Dados do Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária. Fonte: Elaboração própria.

Dados de Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA)						
	Localidade	Localização geográfica		Altura de medição	Período	Média dos dados
		Latitude	Longitude			
1	Azul	39° 45' S	59° 50' O	10 y 20 m	2001-2007	1 dia
2	Villa Gesell	37° 15' S	56° 58' O	10 y 20 m	2001-2007	1 dia
3	Olavarría	36° 53' S	60° 20' O	10 y 20 m	2001-2007	1 dia
4	Santa Teresita	36° 32' S	56° 42' O	10 y 20 m	2001-2007	1 dia

5.2. ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA SÉRIE TEMPORAL

Na tabela 5.3 são apresentados os resultados obtidos de análises estatísticas para diferentes cidades analisadas. As velocidades são indicadas em [m/s].

Tabela 5.3. Dados estatísticos dos pontos de medição considerados. Fonte: Elaboração própria.

Altura de medição, 10 m	Bahía Blanca	Coronel Suárez	Benito Juárez	Mar del Plata	Tandil	Tres Arroyos
Velocidade Média (Vm)	5,68	4,55	3,50	3,80	3,63	3,66
Desvio padrão	2,93	2,51	3,23	2,38	2,68	2,17
Mínimo (maior a 1,5 m/s)	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
Máximo	33,33	20,56	32,50	15,56	18,06	30,83
Quantidade de dados processados	17.435	2.671	4.249	17.411	17.392	5.885
Períodos sem vento (menor 1,5 m/s)	2,97%	5,02%	37,66%	13,31%	18,40%	13,70%

5.2.1. Histogramas de frequência de velocidades do vento

As distribuições de velocidade para todo o período de medição (anos 2005-2006) são apresentadas nas figuras 5.1 e 5.2.

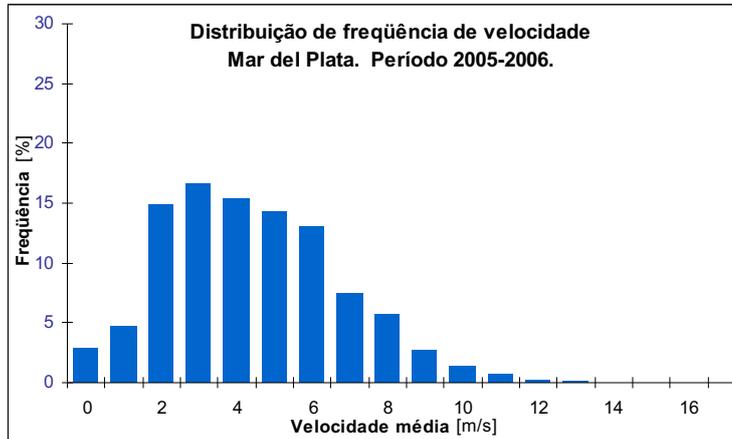


Figura 5.1. Distribuição de frequência de velocidade. Período 2005-2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

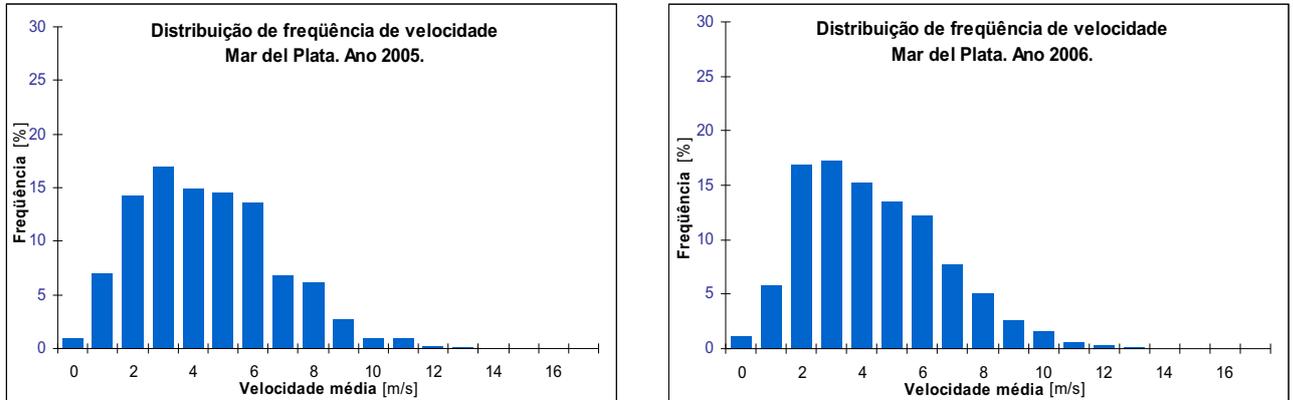


Figura 5.2. Distribuição de frequência de velocidade. Anos 2005 e 2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

Na figura 5.3, são apresentados os histogramas para diferentes trimestres da cidade de Mar del Plata.

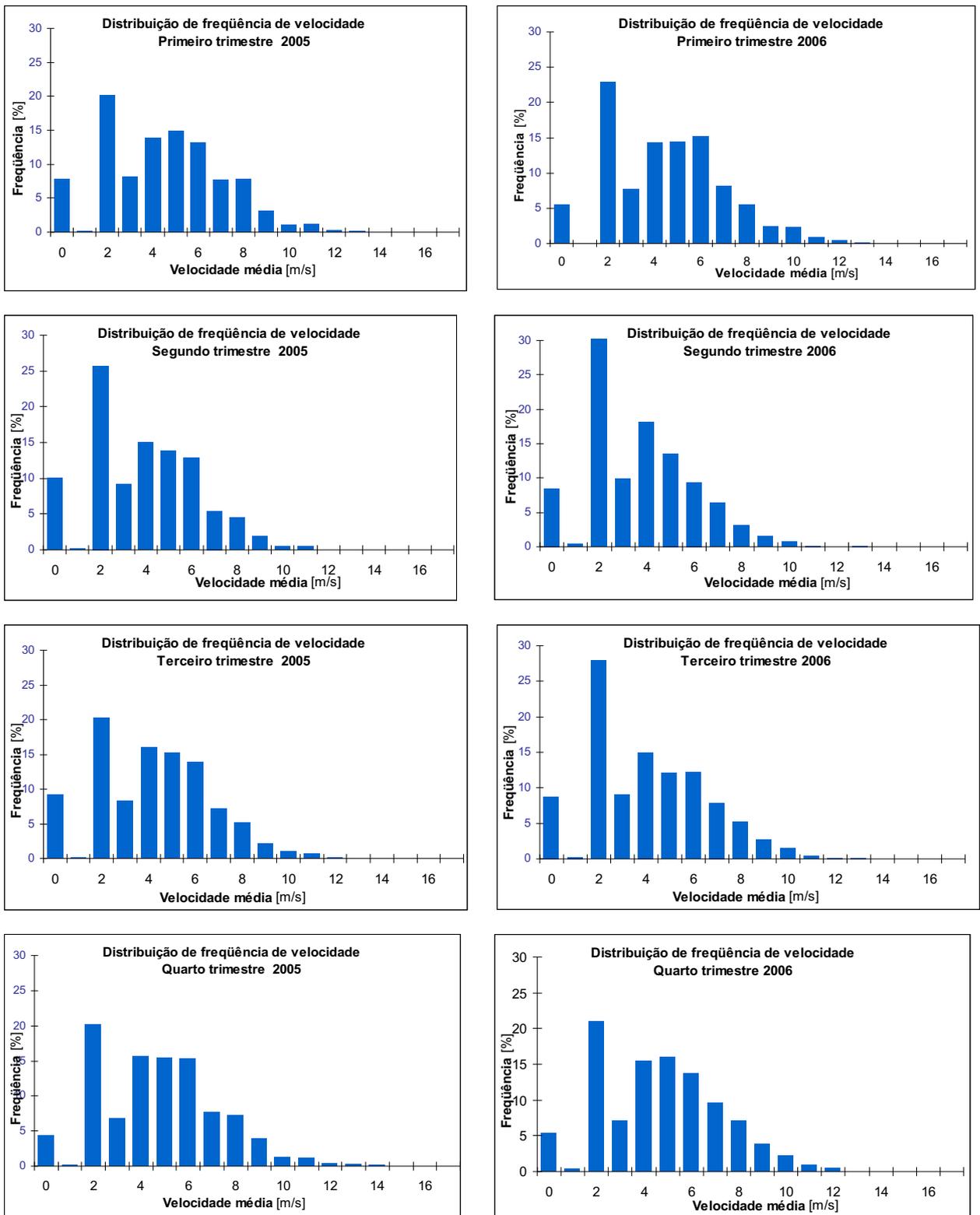


Figura 5.3. Distribuição de frequência de velocidade para diferentes trimestres. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

5.2.2. Distribuições de frequências por direção do vento

Para determinar a velocidade média do vento por setor, calculou-se a média ponderada das velocidades dentro de cada intervalo, desta forma se manteve a influência dos valores sobre a média.

Construiu-se a rosas dos ventos para todo o período de medição (2005-2006), Nas figuras 5.4, 5.5 e 5.6 são apresentados os gráficos para cidade de Mar del Plata.

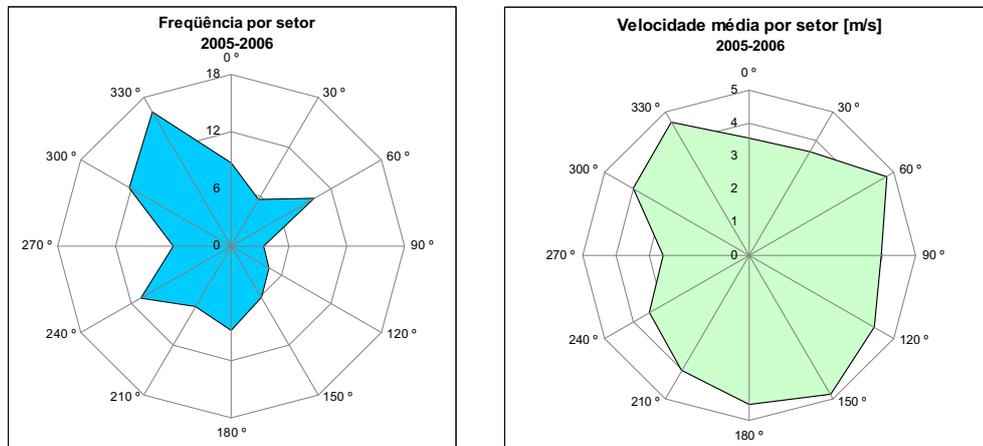


Figura 5.4. Rosa dos ventos: frequência e velocidade média. Período 2005-2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

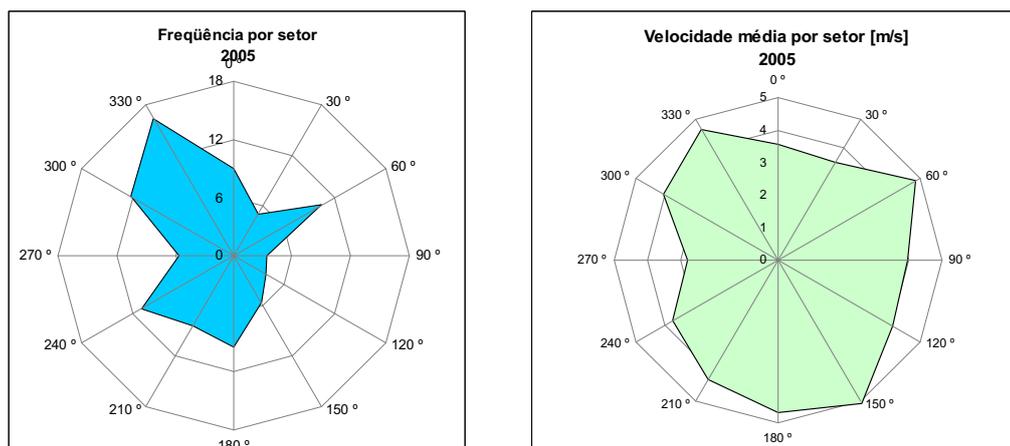


Figura 5.5. Rosa dos ventos: frequência e velocidade média. Ano 2005. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

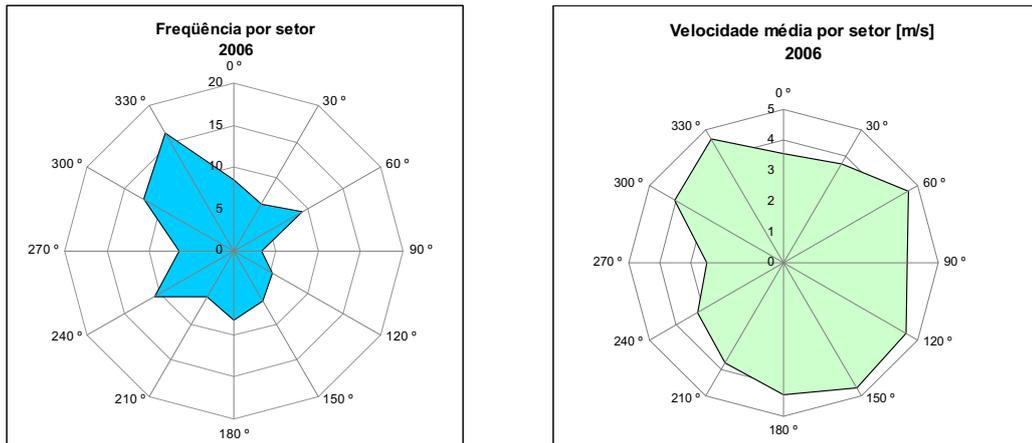


Figura 5.6. Rosa dos ventos: frequência e velocidade média. Ano 2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

5.2.3. Lei da Distribuição de Weibull da velocidade do vento

Foi utilizado a função de Weibull, baseada na série de dados temporais medidos. A Distribuição de Rayleigh é apresentada na figura 5.7 (para Mar del Plata).

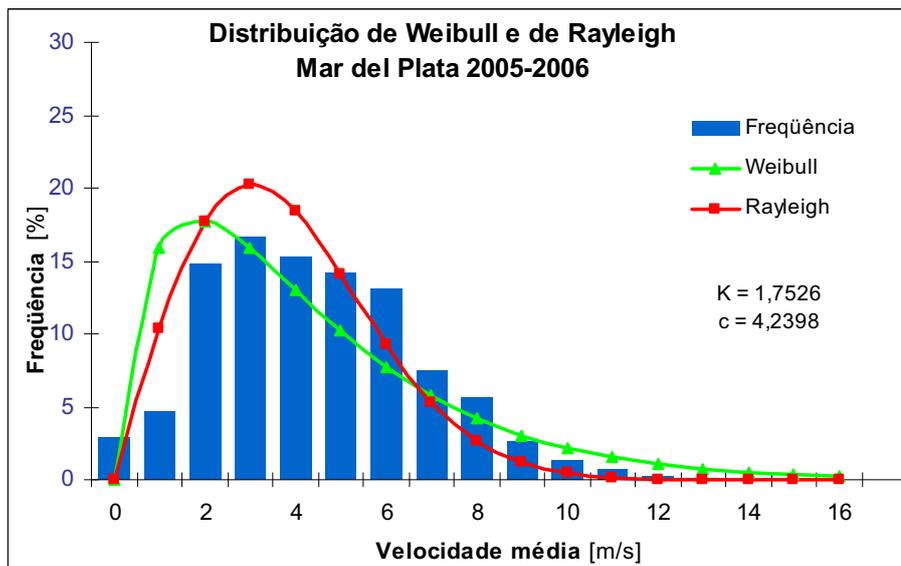


Figura 5.7. Distribuição de Weibull e de Rayleigh. Mar del Plata. Fonte: elaboração própria.

5.2.4. Extrapolação de dados em altura

Utilizando as séries de dados temporais tomados a 10 m e provenientes de diferentes pontos de medição, pode extrapolar os valores para diferentes alturas; 20, 40, 60 e 80 metros. Estes dados são apresetado na tabela 5.4.

Tabela 5.4. Extrapolação da velocidade do vento a diferentes alturas. Fonte: Elaboração própria.

CIDADES	ALTURA	10 m	20 m	40 m	60 m	80 m
MAR DEL PLATA (Hellmann=0,20)	Vm m/s	3,80	4,36	5,01	5,439	5,76
	Weibull c	4,24	4,76	5,51	5,80	6,05
	Weibull k	1,75	1,70	1,70	1,65	1,62
TANDIL (Hellmann=0,26)	Vm m/s	3,62	4,34	5,20	5,78	6,23
	Weibull c	3,95	4,45	5,14	5,41	5,63
	Weibull k	1,46	1,43	1,43	1,39	1,37
BAHÍA BLANCA (Hellmann=0,20)	Vm m/s	5,69	6,53	7,50	8,14	8,62
	Weibull c	6,97	7,85	9,08	9,61	10,03
	Weibull k	1,79	1,76	1,78	1,74	1,72
TRES ARROYOS (Hellmann=0,20)	Vm m/s	3,66	4,20	4,83	5,23	5,55
	Weibull c	4,22	4,69	5,45	5,65	5,90
	Weibull k	1,37	1,33	1,34	1,30	1,29
CNEL. SUÁREZ (Hellmann=0,23)	Vm m/s	4,55	5,22	6,00	6,51	6,90
	Weibull c	5,47	6,16	7,21	7,55	8,12
	Weibull k	1,85	1,80	1,83	1,80	1,79
BENITO JUÁREZ (Hellmann=0,20)	Vm m/s	3,50	4,02	4,62	5,01	5,31
	Weibull c	3,75	3,98	4,62	4,82	5,09
	Weibull k	1,26	1,17	1,19	1,15	1,15

A variação da velocidade de vento em função da altura para os diferentes pontos de medição é apresenta na figura 5.8. Estas curvas foram feitas levando-se em conta a equação de Hellmann para diferentes valores de velocidade e mantendo o coeficiente “ α ” constante.

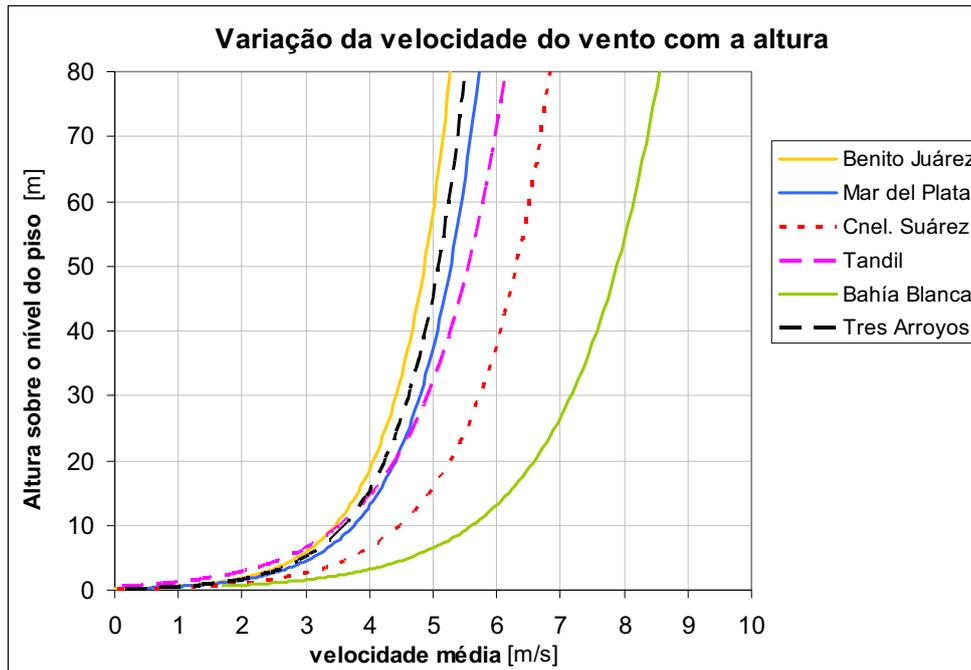


Figura 5.8. Variação da velocidade de vento com a altura. Fonte: Elaboração própria.

5.3. ESTUDOS DE POTÊNCIA E ENERGIA

5.3.1. Potência específica disponível no vento

Na tabela 5.5 são apresentados os resultados da potência e a energia eólica disponíveis para diferentes alturas, para o período de medição de dois anos (total de 17.520 horas).

Na figura 5.9 é apresentado a potência disponível nas 6 cidades considerando o mesmo período de medição para todos os casos. A proporção de variação da potência com a altura não é a mesma para todos os lugares; os coeficientes de Hellmann variam em função dos diferentes tipos de terreno.

Pode se observar que a partir dos 60 metros de altura todas as cidades apresentam potências superiores aos 200 W/m^2 . Este valor é considerado o mínimo para que exista a possibilidade de viabilidade econômica de implantar uma central eólica conectada à rede elétrica (UNAM, 2008). Portanto, todos os lugares apresentam recurso energético

em alturas relativamente baixas, o que corrobora também para uma maior viabilidade técnica.

Tabela 5.5. Potência e energia eólica no período de medição em diferentes alturas. Fonte: Elaboração própria.

CIDADES	ALTURA	10 m	20 m	40 m	60 m	80 m
MAR DEL PLATA (Hellmann=0,20)	Velocidade média (m/s)	3,80	4,37	5,02	5,44	5,76
	Potência (W/m ²)	77,73	117,81	178,57	227,75	270,66
	Energia (kWh/m ²)	1.361,76	2.064,04	3.128,50	3.990,17	4.741,92
TANDIL (Hellmann=0,26)	Velocidade média (m/s)	3,63	4,34	5,20	5,78	6,23
	Potência (W/m ²)	86,03	147,72	253,66	348,02	435,57
	Energia (kWh/m ²)	1.507,23	2.588,11	4.444,13	6.097,30	7.631,15
BAHÍA BLANCA (Hellmann=0,20)	Velocidade média (m/s)	5,69	6,53	7,50	8,14	8,62
	Potência (W/m ²)	214,89	325,71	493,68	629,65	748,28
	Energia (kWh/m ²)	3.764,80	5.706,37	8.649,24	11.031,45	13.109,80
TRES ARROYOS (Hellmann=0,20)	Velocidade média (m/s)	3,66	4,21	4,83	5,24	5,55
	Potência (W/m ²)	67,98	103,03	156,17	199,18	236,70
	Energia (kWh/m ²)	1.190,93	1.805,11	2.736,04	3.489,61	4.147,05
CORONEL SUÁREZ (Hellmann=0,23)	Velocidade média (m/s)	4,55	5,22	6,00	6,51	6,89
	Potência (W/m ²)	118,33	190,91	307,99	407,41	496,87
	Energia (kWh/m ²)	2.073,21	3.344,67	5.395,90	7.137,84	8.705,12
BENITO JUÁREZ (Hellmann=0,20)	Velocidade média (m/s)	3,50	4,03	4,62	5,01	5,31
	Potência (W/m ²)	113,47	171,99	260,69	332,49	395,13
	Energia (kWh/m ²)	1.988,02	3.013,28	4.567,28	5.825,22	6.922,70

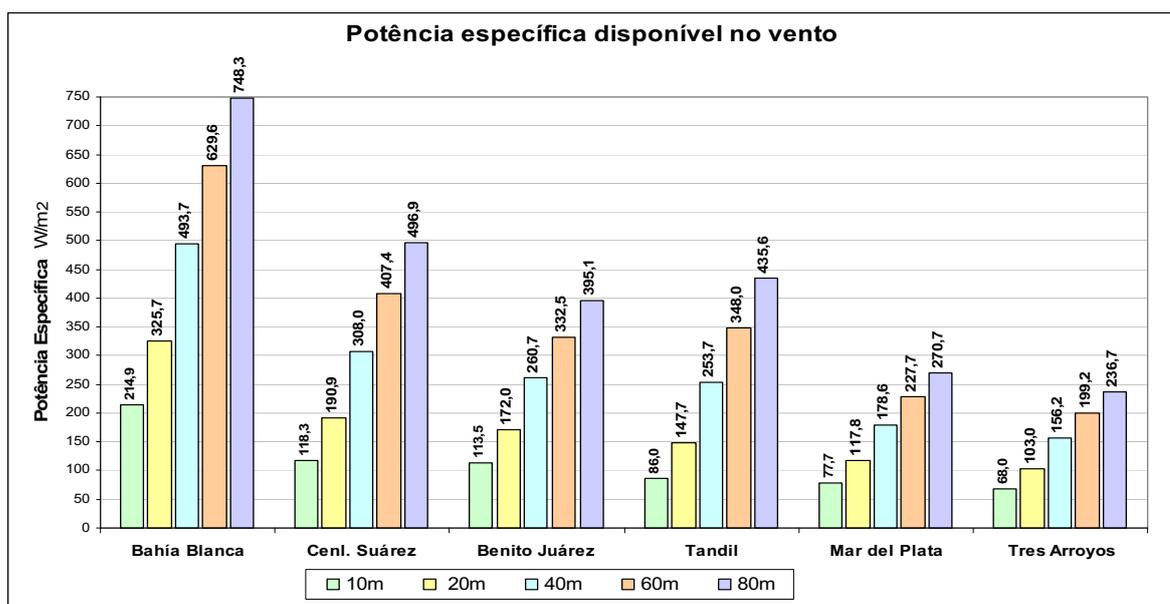


Figura 5.9. Potência específica para os diferentes pontos de medição. Fonte: elaboração própria.

5.3.2. Função densidade de potência do vento

Na figura 5.10 apresenta-se a densidade de potência para Mar del Plata.

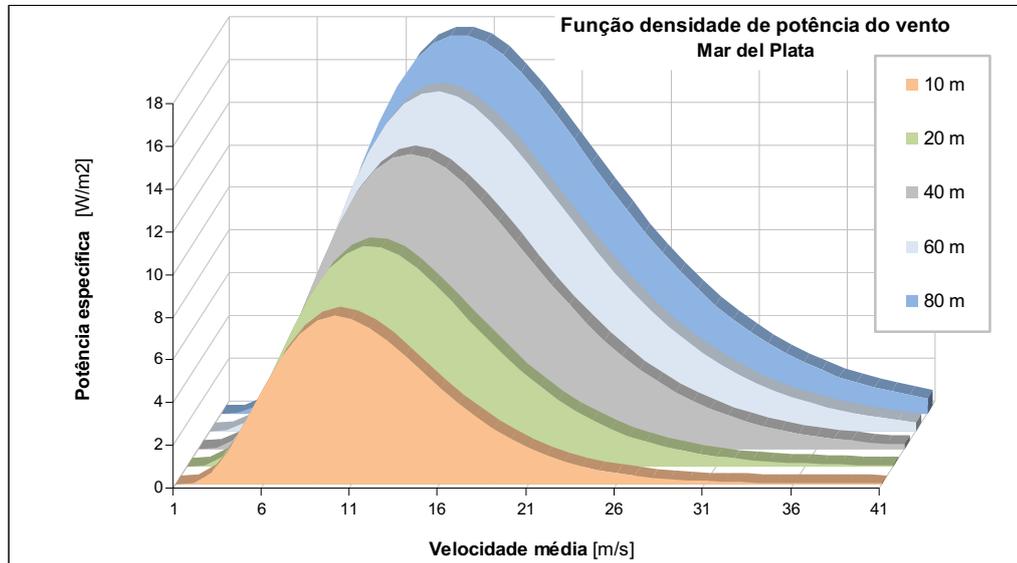


Figura 5.10. Densidade de potência disponível no vento por altura. Mar del Plata. Fonte: elaboração própria.

Na figura 5.11 apresenta-se o limite da densidade de potencia de acordo com a lei de Betz para as diferentes alturas na cidade de Mar del Plata.

A área sob a curva azul indica a quantidade de potência eólica específica do vento da localização analisada. Enquanto a área sob a curva branca mostra a quantidade de potência máxima que se pode ter teoricamente segundo a lei de Betz.

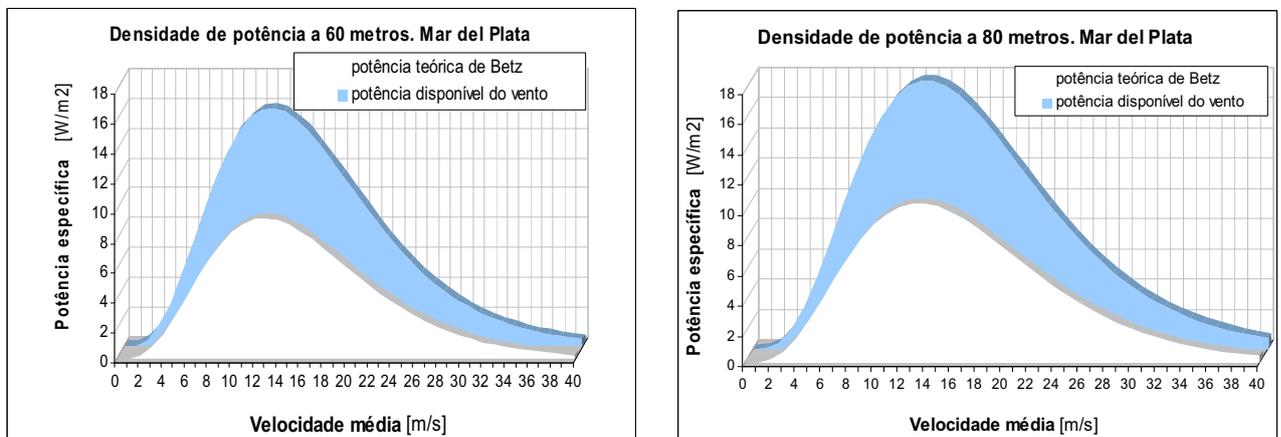


Figura 5.11. Densidade de potência disponível e densidade de potência teórica (Betz). Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

5.3.3. Apresentação geográfica dos resultados

Os resultados obtidos permitem realizar uma série de análise e comparações para os diferentes lugares escolhidos. Na figura 5.12 se apresenta o mapa da província de Buenos Aires e os pontos de medição localizados na região sudeste sobre a costa atlântica.

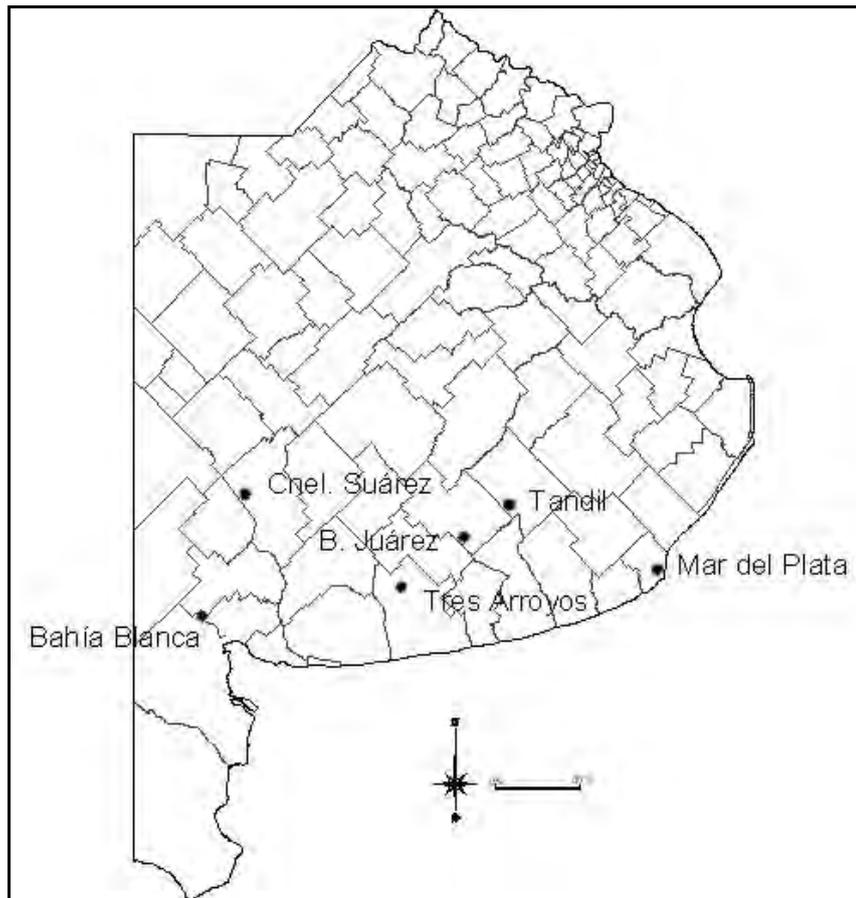


Figura 5.12. Pontos de medição localizados em cercanias da costa Atlântica. Fonte: Elaboração própria.

5.3.4. Caracterização dos lugares

Na figura 5.13 são mostrados os fatores que influem na caracterização eólica. Deve-se observar as:

- Características do vento: velocidade média e fatores de Weibull (k , c).
- Características gerais dos terrenos: coeficiente de Hellmann (α).
- Características da medição: altura do sensor.

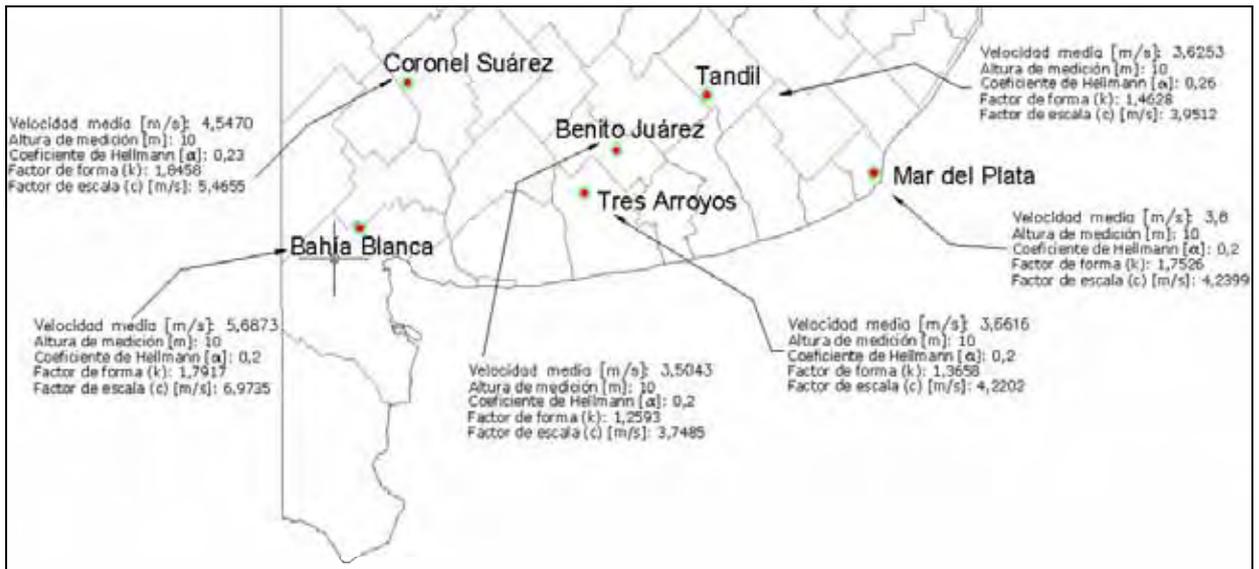


Figura 5.13. Características de recurso nos diferentes pontos de medição. Fonte: Elaboração própria.

Todos os lugares têm boas médias de velocidade do vento, superiores a 3,5 m/s, o que é atrativo para os fins de produção de energia eólica. Destacam-se as cidades de Bahía Blanca e Coronel Suárez com médias superiores aos 4,5 m/s.

5.3.5. Distribuição de frequências por direção

Nas figuras 5.14 e 5.15 é apresentada a distribuição das frequências do vento por direção (rosas dos ventos) de modo a permitir analisar os possíveis padrões de comportamento do vento nas respectivas regiões.

Os gráficos obtidos correspondem ao total da série temporária, período 2005-2006 e por trimestre (agrupados os dados para os dois anos). Isto permite analisar o comportamento estacional do vento e detectar os tipos padrões regionais.

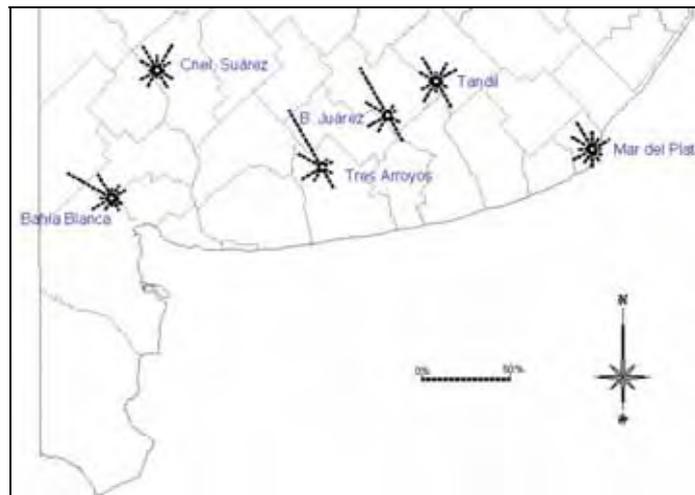
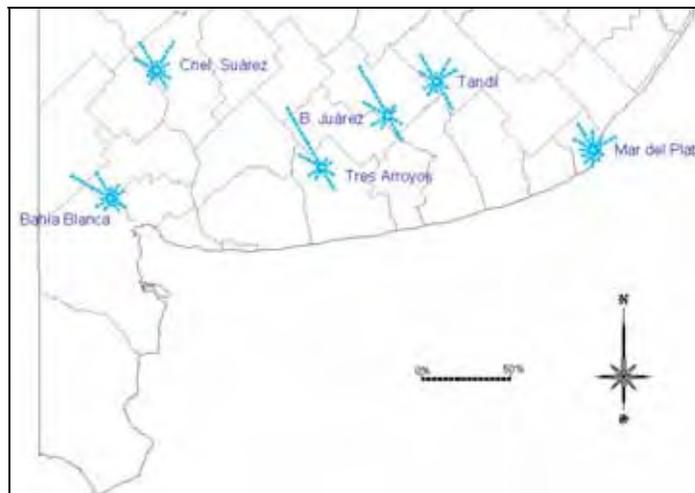
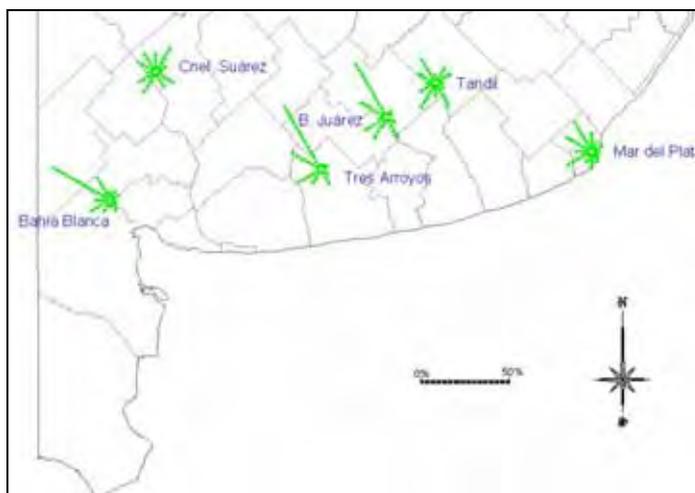


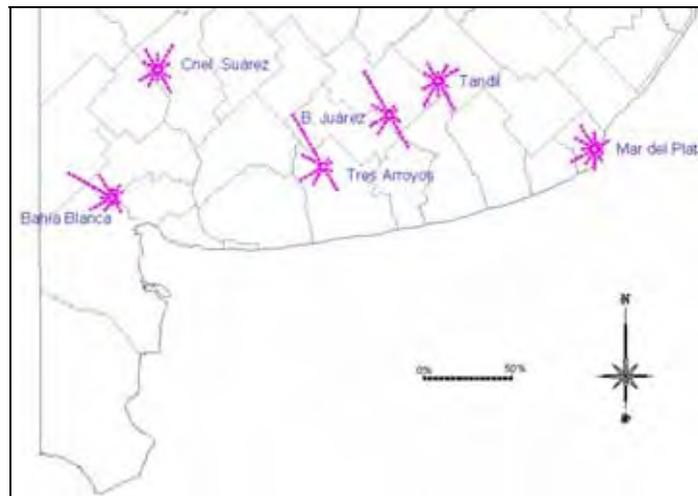
Figura 5.14. Distribuição de freqüência por direção. Período 2005-2006. Fonte: Elaboração própria.



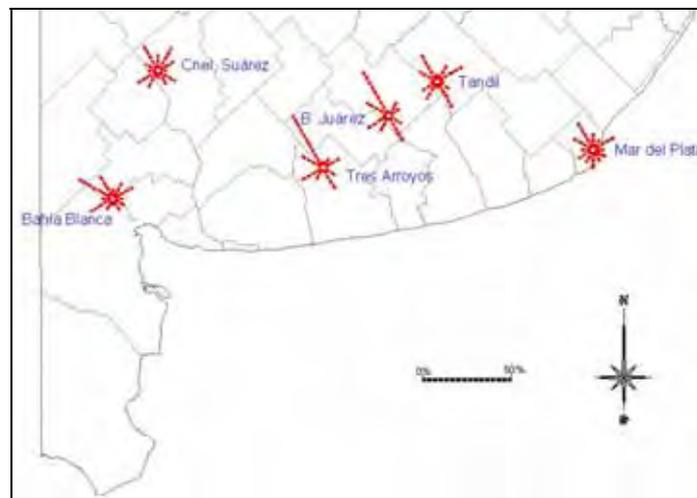
Trimestre 1



Trimestre 2



Trimestre 3



Trimestre 4

Figura 5.15. Distribuição de freqüência por direção. Trimestres. Período 2005-2006. Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que as cidades de Benito Juárez e Tres Arroyos apresentam-se predominantemente nas direções NNO e SSE.

5.3.6. Zona de influência dos pontos de medição

Para realizar uma extrapolação dos resultados e definir as zonas de influência, foi gerado um mapa temático (figura 5.16). Definindo-se círculos com raio máximo de 100 km, medido desde os pontos de medição aonde inicialmente podem-se considerar válidas as características gerais do recurso.

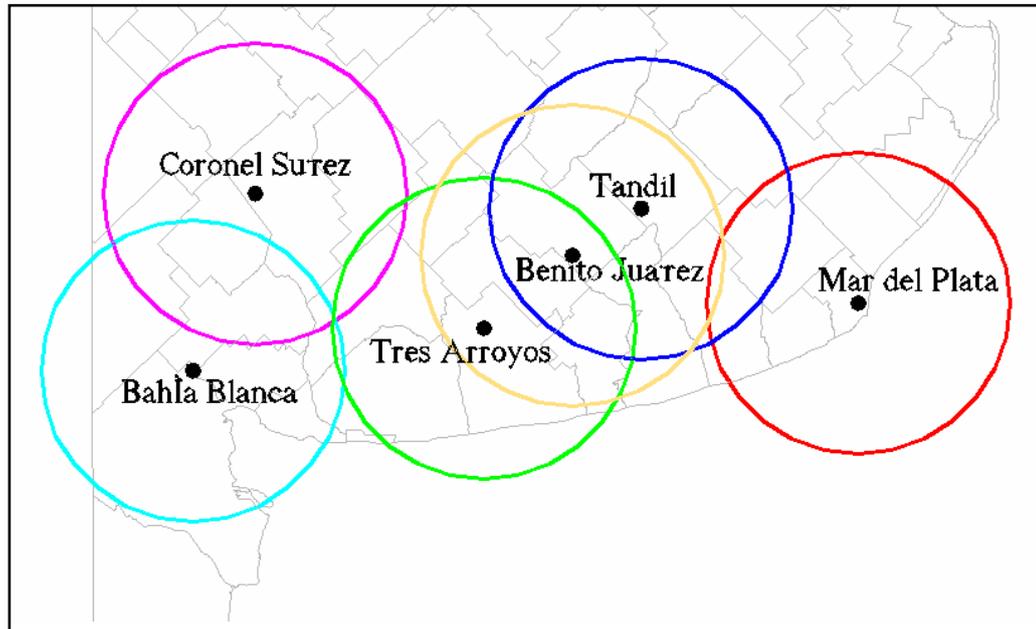


Figura 5.16. Zonas de influência dos pontos de medição. Fonte: Elaboração própria.

Na figura 5.17 e 5.18 pode-se observar as diferenças particulares e as duas faixas do terreno montanhoso de pequena altitude.

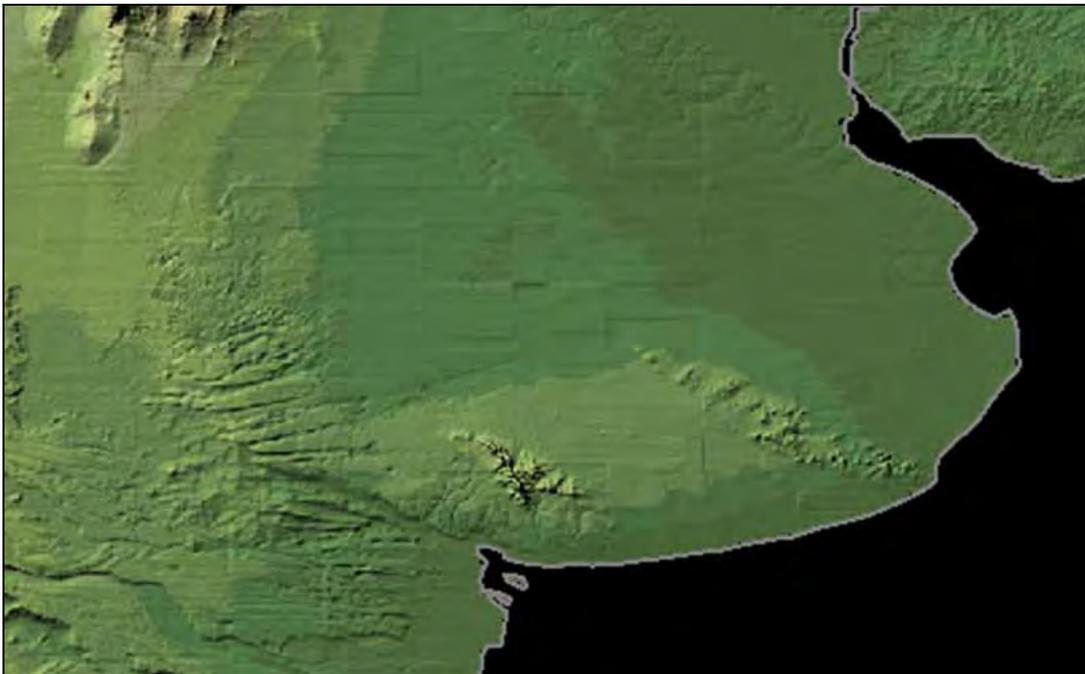


Figura 5.17. Modelo Digital de Terreno da região. Fonte: U.S.A. Geological Survey.



Figura 5.18. Zonas de influência e Modelo Digital de Terreno. Fonte: Elaboração própria.

5.3.7. Vantagens do recurso eólico na província de Buenos Aires

Os estudos realizados demonstram que a zona sudeste possui lugares com boas características de ventos e que permitem a exploração do recurso eólico.

Em algumas regiões, os resultados mostram valores de velocidade média superiores a 4 e 5 m/s a 10 metros de altura, sendo:

- Os padrões de comportamento direcional demonstram que existe um setor de ventos predominante na direção Noroeste. Isto é muito positivo para uma produção constante de energia.
- Os níveis de potência específica que se obtiveram a partir de uma avaliação simplificada da potência produzida (considerando densidade do ar constante, estimando fatores de rugosidade, etc.) foram todos superiores aos 200 W/m².
- A acessibilidade que apresentam os possíveis lugares de exploração é adequada. Existe um amplo sistema de rodovias e estradas.
- As linhas elétricas comunicam todos os pontos de consumo mais importantes.
- Tendo em conta as condições do terreno, apresenta vantagens significativas graças à baixa rugosidade que mostra a planície da região, ainda mais nos lugares próximos e expostos à costa Atlântica.

CAPITULO 6. PLANEJAMENTO DO PARQUE EÓLICO

Neste capítulo é elaborado o planejamento e o projeto detalhado da instalação de um parque eólico na cidade de Mar del Plata.

6.1. PROJETO DO PARQUE EÓLICO

Como já mencionado, o projeto de um parque eólico envolve várias etapas, sendo muito importante a seleção do local da instalação e o estudo da viabilidade do projeto.

6.2. ETAPA 1: SELEÇÃO DO LUGAR

Deve-se selecionar um lugar (“sitting”) que apresente as melhores condições eólicas.

Posteriormente, sendo já definido o lugar, deve-se avaliar as características particulares do terreno circundante, obstáculos presentes, rugosidade nas imediações, acessibilidade, redes elétricas, impacto ambiental, etc.

Na etapa seguinte devem ser escolhidos os aerogeradores e ser elaborado o esquema interno do parque (“lay-out”).

6.2.1. Determinação da Localização Final do Parque Eólico em Mar del Plata

Uma vez selecionada a área com as melhores condições, deve-se avaliar a zona de influência para definir qual é o lugar que reúne os melhores atributos para localizar o parque eólico.

No figura 6.1 se apresenta um mapa do distrito chamado “General Pueyrredón” onde está assinalada a localização da estação meteorológica correspondente ao Aeroporto Internacional de Mar del Plata.



Referências:

- 1) Aeroporto (estação meteorológica).
- 2) Centro da cidade de Mar del Plata.
- 3) Cidade de Batán.
- 4) Lagoa dos Padres.
- 5) Estação Chapadmalal.
- 6) Serra dos Padres.
- 7) Cidade de Santa Clara del Mar.
- 8) Serra dos Difuntos.

Figura 6.1. Planta de Pueyrredón, pontos de referência. Fonte: Elaboração própria.

O distrito “General Pueyrredón” limita com o Mar Argentino no sudeste, e é atravessado pela serra de Tandilia sendo uma grande zona de exposição costeira de 40 km; numa primeira avaliação representa uma boa situação para se instalar o parque eólico.

A altura máxima na cidade de Mar del Plata é de 48 m (nível do mar). Esta informação pode ser visualizada na imagem do Modelo Digital do Terreno da região apresentado no capítulo 5.

A estação meteorológica do aeroporto se localiza no quadrante nordeste (NE) do distrito.

As figuras 6.2 e 6.3 permitem definir quais são as direções do vento na região considerada.

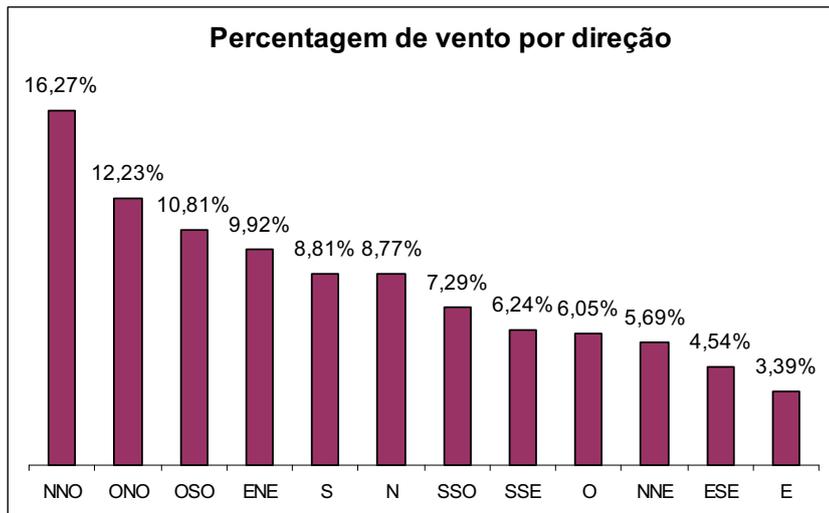


Figura 6.2. Percentagem de vento por direção. Fonte: Elaboração própria.

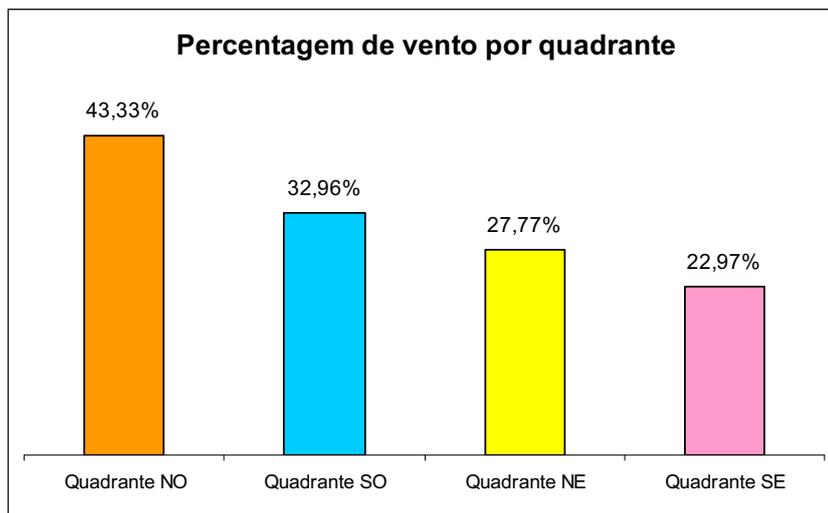


Figura 6.3. Percentagem de vento por quadrante. Fonte: Elaboração própria.

A partir destes gráficos pode-se observar que o quadrante noroeste (NO) contribui com as maiores percentagens, quase a metade do total: 43,33 %, e que, os quadrantes NO e SO, somam 76,29 % da percentagem de vento.

Nas figuras 6.4 e 6.5 são apresentadas as características do vento com relação às velocidades médias por direção e por quadrante.

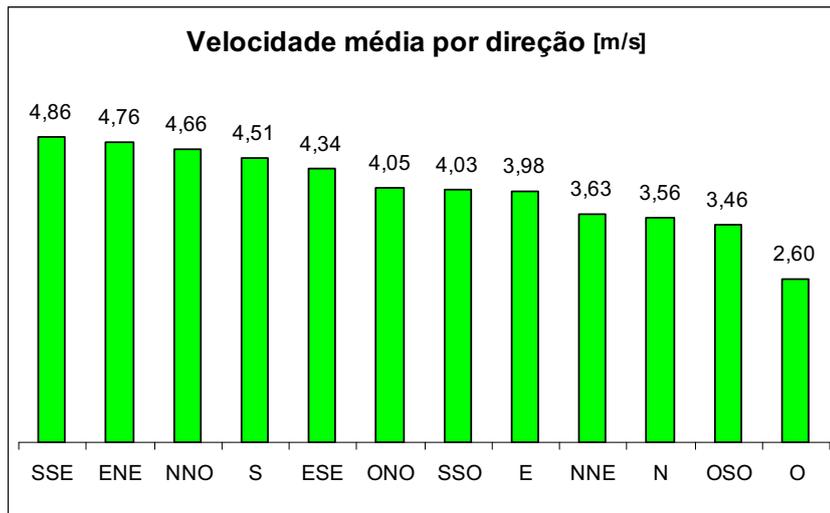


Figura 6.4. Velocidade média por direção. Fonte: Elaboração própria.

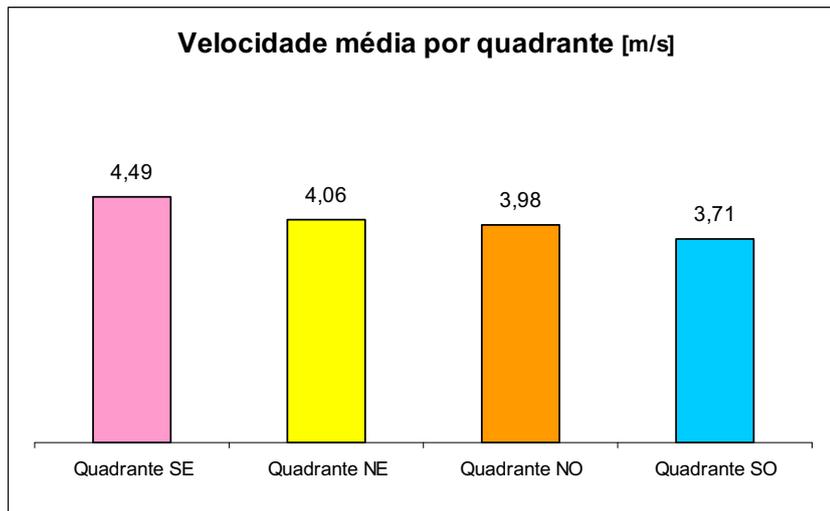


Figura 6.5. Velocidade média por quadrante. Fonte: Elaboração própria.

O quadrante que contribui com a melhor média de vento é o SE, não existindo preponderância importante em nenhum dos outros quadrantes (as velocidades médias contribuídas pelos quatro quadrantes são similares).

Com estes resultados conclui-se que:

Condição 1: O lugar a ser escolhido deve ter boa exposição aos ventos e estar situado nos quadrantes NO ou SE, já que são as direções que contribuem com maior quantidade de energia.

Devem-se indicar dentro da zona em estudo os obstáculos naturais ou artificiais que podem afetar o perfil de vento incidente. Vide tabela 6.1.

Tabela 6.1. Tipos de obstáculos na região de “General Pueyrredón”. Fonte: Elaboração própria.

Tipo de obstáculo	Descrição	Localização relativa ao ponto de medição
Obstáculos naturais	Continuação do Sistema de Tandilia que atravessa o região oeste a leste	Faixa localizada em setor inferior da região obstruindo principalmente as direções S-SO do ponto de medição do aeroporto.
Obstáculos artificiais	A cidade de Mar del Plata como principal assentamento urbano do setor.	Obstáculo localizado ao S-SO e parte do SE do ponto de medição e que se estende desde o limite costeiro em direção Oeste.

A figura 6.6 mostra o mapa físico do distrito “General Pueyrredón” onde se pode visualizar as curvas de nível que representam as elevações existentes.

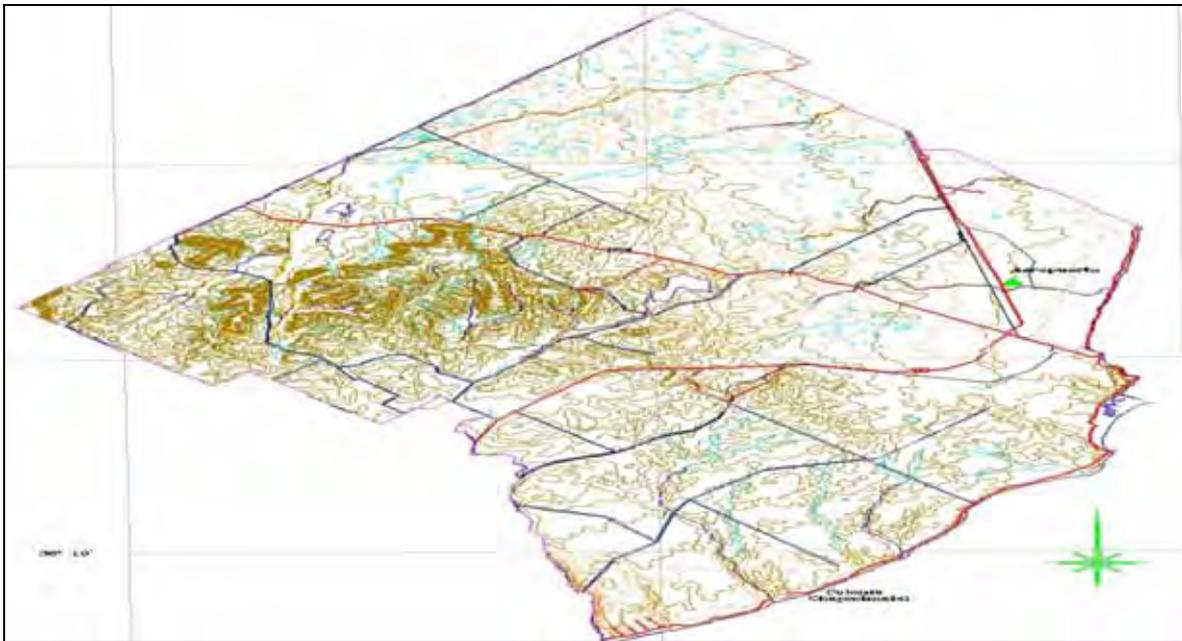


Figura 6.6. Mapa físico do distrito General Pueyrredón. Fonte: Centro de Geologia de Costas e do Quaternário. UNMDP.

Condição 2: Devido a facilidade de acesso, o lugar mais propício para a instalação do parque deve ser um terreno localizado no quadrante NO do aeroporto, situado ao Norte pela rodovia N° 226 e no Oeste da rodovia N° 2.

Os itens que fundamentam esta condição são os seguintes:

- Possui a melhor exposição para os ventos predominantes do quadrante NO.
- Esta localização é próxima no ponto de medição o que reduz erros pela extrapolação espacial dos dados.
- É a zona de mais baixa rugosidade, com campos baixos e pouca vegetação com baixa densidade de edificações.

A figura 6.7 mostra a localização dos quadrantes geográficos com o ponto de medição do aeroporto.

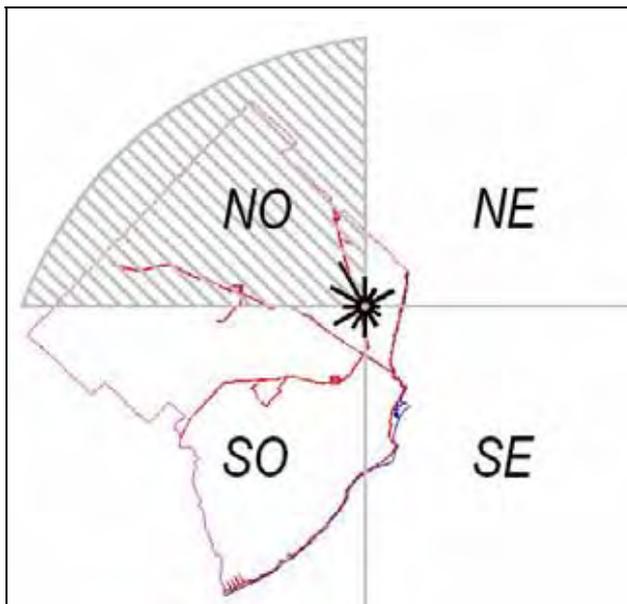


Figura 6.7. Localização dos quadrantes de vento (rosa dos ventos) no ponto de medição. Fonte: Elaboração própria.

Na figura 6.8 pode se observar em detalhe a zona em avaliação e os meios de acessos existentes.

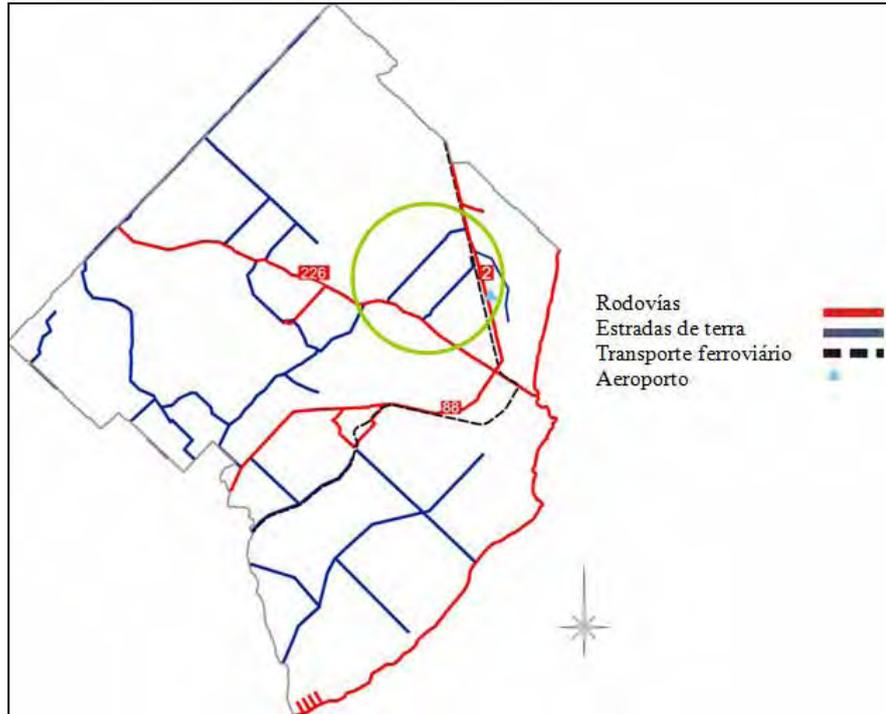


Figura 6.8. Acessos na zona no ponto de medição. Fonte: elaboração própria.

Há uma zona limitada pelas rodovias N° 226 e N° 2, onde existem estradas de terra que conectam entre si, em dois pontos distintos. As vias de transporte ferroviário correm paralelas a rodovia N° 2. Como se mostra na figura 6.9, os pontos mais próximos se situam a menos de 5.000 metros de distância, o que favorece e diminui possíveis erros de extrapolação espacial.



Figura 6.9. Distâncias respectivo do ponto de medição. Fonte: Elaboração própria.

Redes elétricas: Deve-se verificar a existência de redes elétricas nas imediações que permitam injetar energia produzida pelo parque. A figura 6.10 apresenta o esquema das linhas de 132 kV e 500 kV na zona sudeste da província.

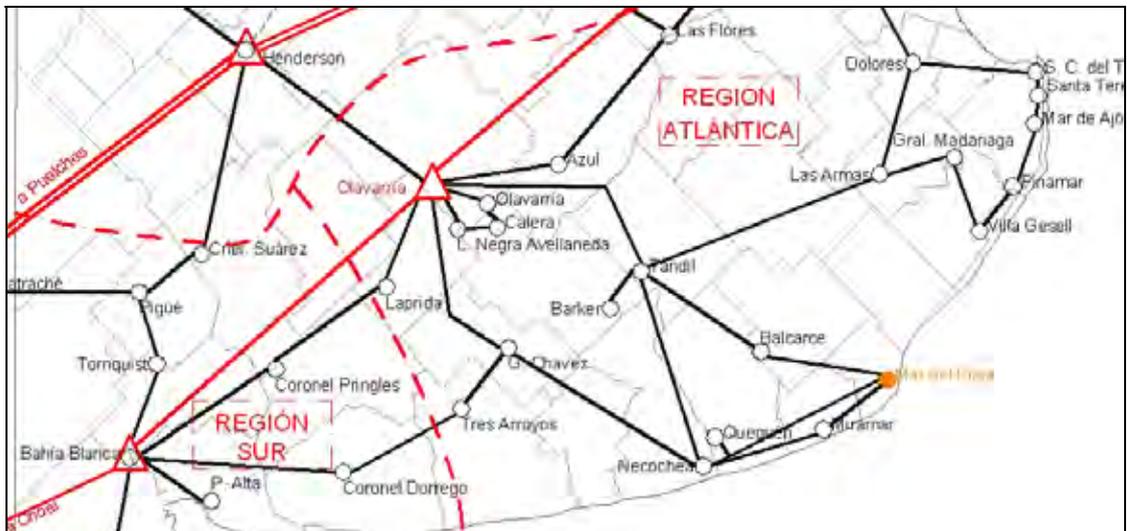


Figura 6.10. Esquema das linhas elétricas 132 kV (negro) e 500 kV (vermelho). Fonte: Transba S.A.

A partir de informação da Empresa Distribuidora de Energia Atlántica (EDEA), Concessionária de Mar Del Plata, identificou-se o ponto de injeção mais propício e o limite de potência disponível na rede.(Figura 6.11).



Figura 6.11. Detalhe do sistema de 13,2 kV com ponto de interligação - zona Aeroporto. Fonte: EDEA, 2008.

Os possíveis pontos de conexão que estariam disponíveis nas proximidades são (Figura 6.12):

- 1 . Linha rural de 13,2 kV: paralela ao caminho entre rodovias N° 226 e N° 2.
- 2 . Linha de 132 kV paralela a rodovia N° 226.
- 3 . A linha de 33 kV paralela a rodovia N° 2.



Figura 6.12. Possíveis pontos de conexão nas proximidades do Parque Eólico. Fonte: Elaboração própria.

Zonas de exclusão: O Aeroporto Internacional do Mar del Plata é de especial interesse mas apresenta limitações, para parques eólicos e edificações muito próximos (150 metros das pistas do aeroporto). As regulamentações impõem uma condição com relação a altura que devem ter as construções adjacentes aos aeroportos, com um ângulo de 12 graus com o horizonte (OACI, 2007).

Realizados os cálculos, pode-se concluir que uma zona segura para a construção do parque estaria fora de um círculo regulamentado, a 800 metros do aeroporto (vide figuras 6.9 e 6.13)

Localização final do parque

A escolha final do local deve ser fundamentada nos seguintes pontos:

- O lugar tem uma boa exposição aos ventos devido às condições favoráveis do terreno e distância de possíveis obstáculos nas imediações.
- As vias de acesso.
- A capacidade das redes elétricas nas imediações cumpre com as condições mínimas para a injeção de potência proveniente do parque eólico.

No mapa seguinte (figura 6.13) é especificado o lugar do parque eólico e as zonas de exclusão.

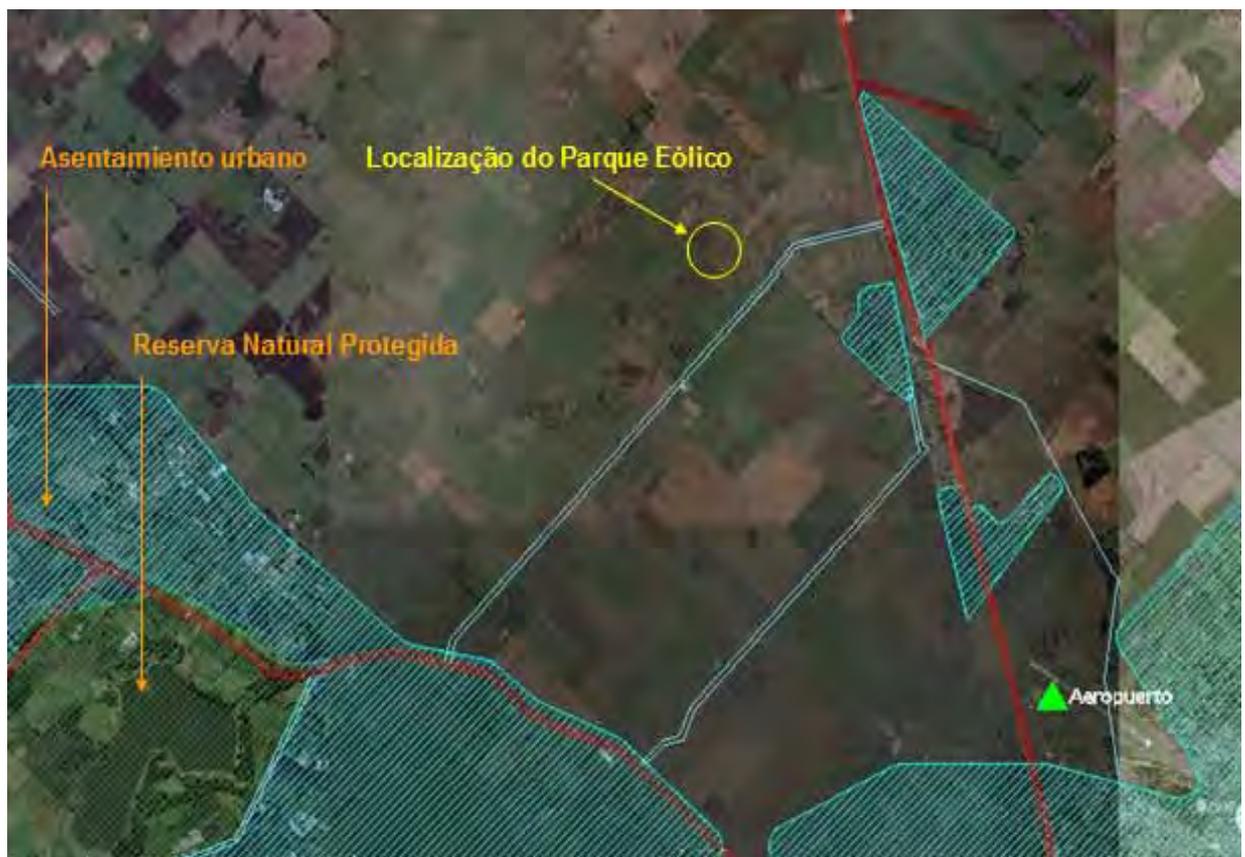


Figura 6.13. Lugar selecionado para a localização do parque eólico. Fonte: Elaboração própria.

6.3. ETAPA 2: VIABILIDADE DO PROJETO

6.3.1 Condições de vento

A tabela 6.2 mostra dados para a Cidade de Mar del Plata.

Tabela 6.2. Dados estatísticos da Estação Meteorológica de Mar del Plata, Fonte: Elaboração Própria.

Dados estatísticos – Estação meteorológica	
Velocidade média, V_m [m/s]	3,80
Desvio padrão (σ)	2,38
Mínimo (em cima de 1.5 m/s)	1,67
Máximo [m/s]	15,56
Quantidade de valores	17.411
Períodos sem vento (menores 1.5 m/s)	13,31%
IT (σ/V_{med})	14,3%

As figuras 6.14 a 6.16 representam características do vento na região do parque eólico:

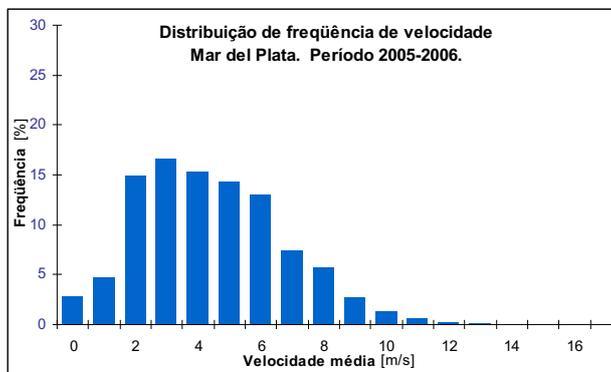


Figura 6.14. Distribuição de frequência por velocidade. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

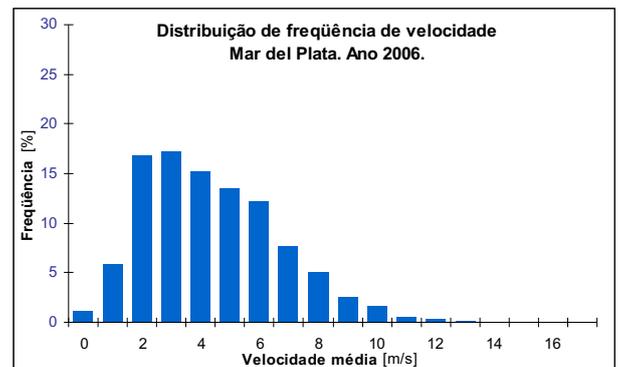
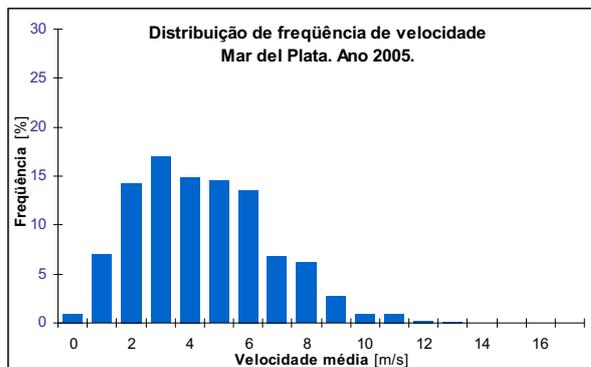


Figura 6.15. Histogramas para 2005 e 2006. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

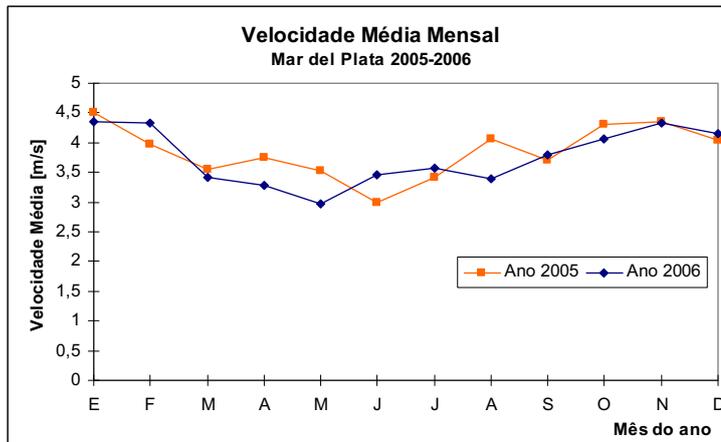


Figura 6.16. Distribuição de Velocidade Média Mensal, Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

Partindo de dados fornecidos pela estação meteorológica pode-se construir os gráficos apresentados nas figuras 6.17 a 6.19, necessários para caracterizar a região e o estudo do parque eólico.

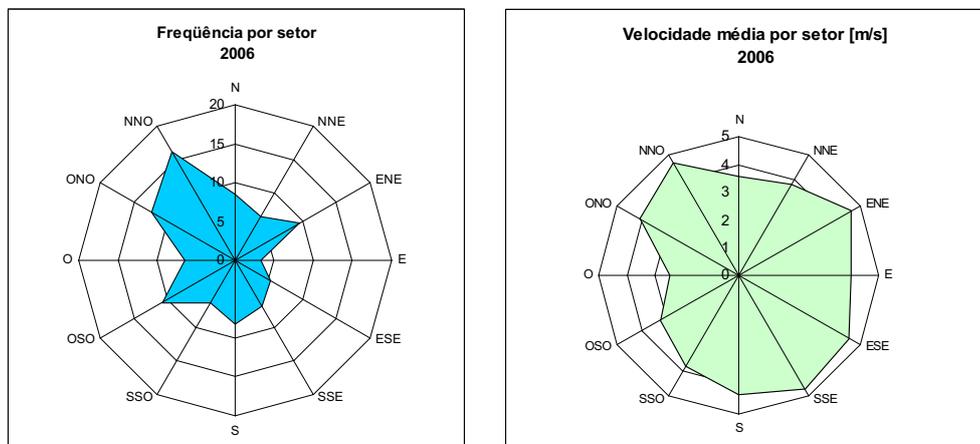


Figura 6.17. Rosa dos ventos: Freqüência e velocidade média por setor, Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

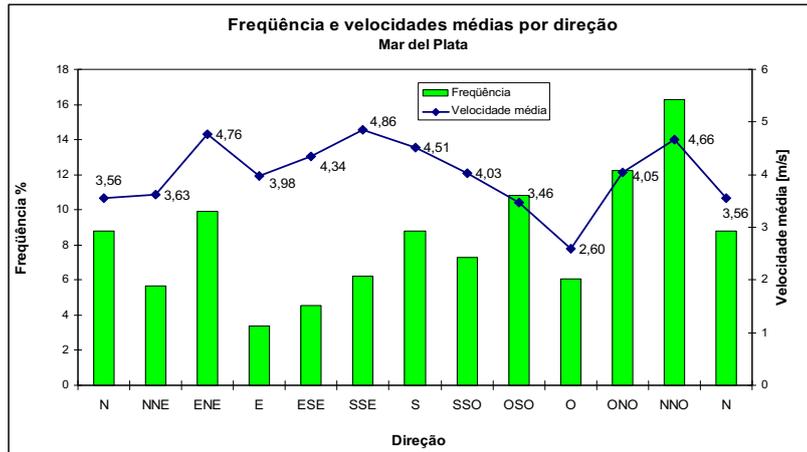


Figura 6.18. Frequência e velocidades médias por direção, Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

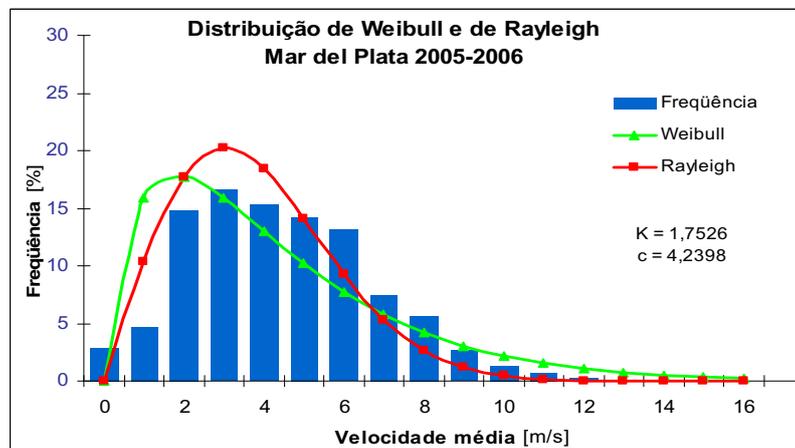


Figura 6.19. Distribuição de Weibull e de Rayleigh. Mar del Plata. Fonte: Elaboração própria.

A tabela 6.3 apresenta as características do parque eólico em função da altura da torre.

Tabela 6.3. Características do parque eólico com relação à altura. Fonte: Elaboração própria.

ALTURA	10 [m]	20 [m]	40 [m]	60 [m]	80 [m]
Velocidade Média [m/s]	3,80	4,37	5,02	5,44	5,76
Potência [W/m ²]	77,73	117,81	178,57	227,75	270,66
Energia [kWh/m ²]	1.361,76	2.064,04	3.128,50	3.990,17	4.741,92
Weibull c	4,24	4,76	5,51	5,80	6,05
Weibull k	1,75	1,71	1,71	1,65	1,62

As figuras 6.20 e 6.21 mostram a variação da densidade de potencia e a variação da rugosidade no local do parque eólico, respectivamente.

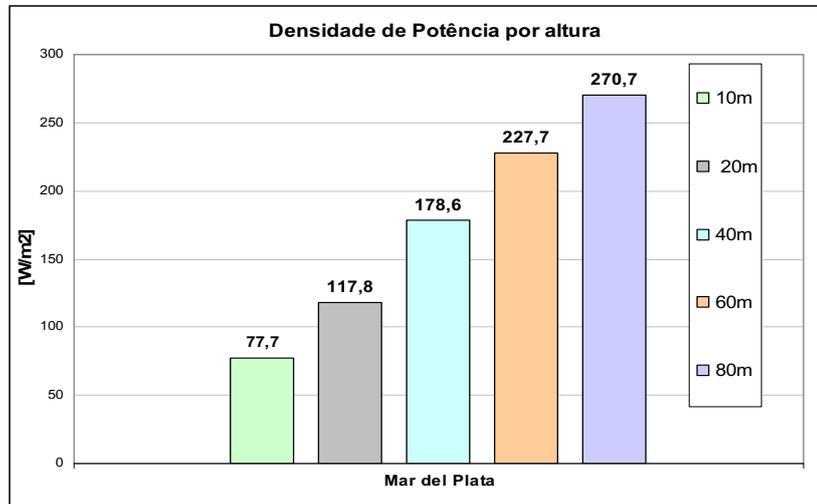


Figura 6.20. Variação da densidade de potência com a altura. Fonte: elaboração própria.

A partir do ponto de instalação do parque tem se o seguinte perfil de rugosidade:

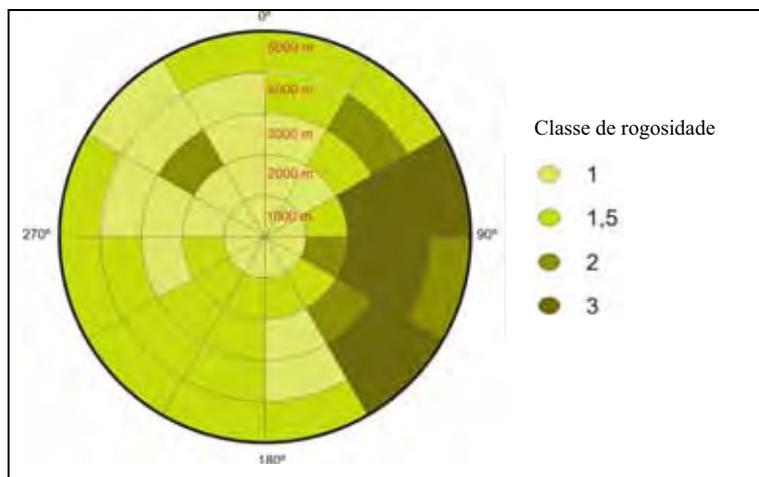


Figura 6.21. Rosa das rugosidades na localização do parque. Fonte: Elaboração própria.

No setor compreendido pelo quadrante NO tem a menor rugosidade da zona. Isto fundamenta ainda mais a escolha do lugar, devido ao fato de que o quadrante apresenta uma boa exposição aos ventos e com maior densidade energética.

Por outro lado destaca-se que as rugosidades mais altas (classe 3) são localizadas a distâncias maiores a 3.000 metros desde o lugar de localização do parque.

A figura 6.22 apresenta a análise de obstáculos a uma distancia de até 2.000 metros e em todas as direções do parque eólico a ser instalado.

Na região se encontram principalmente obstáculos de vegetação com bosques isolados de árvores.



Figura 6.22. Mapa da localização de obstáculos nas imediações do parque. Elaboração própria.

Para quantificar a possível influência dos elementos circundantes na localização do parque eólico, pode-se utilizar um software de cálculo desenvolvido pela Associação de Indústria Eólica da Dinamarca (www.windpower.org).

A tabela 6.4 apresenta os resultados obtidos com o uso do referido software.

Tabela 6.4. Calculo dos obstáculos no sitting. Fonte: Elaboração própria.

Dados	Obstáculo 1	Obstáculo 2	Obstáculo 3	Obstáculo	Obstáculo
Altura do rotor [m]	70,50	70,50	70,50	70,50	70,50
Altura do obstáculo [m]	15	15	15	15	15
Classe de rugosidade	3	3	3	2,5	2,5
Distancia ao obstáculo [m]	1.500	1.185	1.297	1.015	1.210
Largo do obstáculo [m]	650	262	490	34	195
Porosidade	30% árvores	30% árvores	30% árvores	50% árvores	50% árvores
Velocidade a altura do obstáculo [m/s]	5,76	5,76	5,76	5,76	5,76

6.3.2. Seleção de turbina eólica

De acordo com as características do lugar escolhido, pela disponibilidade de rede de 13,2 kV na região e de turbinas eólicas no mercado argentino, o aerogerador selecionado deve ter uma potência nominal de 1.000 kW. A limitação de potência nos alimentadores é 3 MW (para atingir o nível de tensão de 13,2 kV – Tabela 4.4). O projeto começará com a etapa de instalação de três máquinas iguais. As características técnicas da turbina escolhida são mostradas na tabela 6.5 e na figura 6.23.

Tabela 6.5. Tabela de dados técnicos da turbina eólica. Fonte: Enercon.

Dados técnicos da turbina eólica	
Modelo	ENERCON E-58
Potência nominal	1.000 kW
Diâmetro de rotor	58 m
Altura de rotor	70,50 m
Número de pás	3
Área das pás	2.697 m ²
Velocidade de rotor	Variável: 10 - 24 r.p.m
Velocidade máxima de pá	30 - 73 m/s
Controle de velocidade	Pitch control
Velocidade de arranque	2,50 m/s
Velocidade nominal de	12,50 m/s
Velocidade de corte	28 - 34 m/s
Classe IEC	IEC/ NVN II

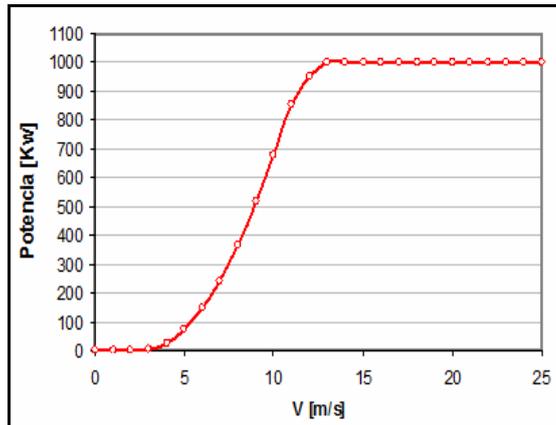


Figura 6.23. Curva de geração da turbina eólica. Fonte: Enercon.

A tabela 6.6 mostra a produção anual da energia do parque eólico, considerando as 3 turbinas eólicas.

Calculada a produção de energia anual do parque, pôde-se determinar os índices que avaliam o rendimento da instalação, como seguem:

O Fator de Capacidade (FC) do parque eólico pode ser determinado pela equação 4.13 apresentada no capítulo 4.

$$FC \% = 30,40$$

O Fator de utilização (FD) que é um índice que indica a confiabilidade da turbina, pode ser determinado pela equação 4.14 também apresentada no capítulo 4.

$$FD \% = 84,66$$

Tabela 6.6. Produção anual de energia. Fonte: Elaboração própria.

Velocidade de vento [m/s]	Potência gerada [kW]	Quantidade de horas [h]	Produção de Energia [kWh]
0	0,00	0,00	0,00
1	0,00	516,09	0,00
2	0,00	819,50	0,00
3	2,60	943,94	2.454,26
4	26,00	953,37	24.787,87
5	75,30	895,99	67.468,419
6	144,60	804,56	116.340,08
7	240,00	700,10	168.025,42
8	366,60	595,35	218.255,85
9	516,20	497,45	256.784,49
10	680,80	409,92	279.079,02
11	854,80	334,03	285.534,24
12	952,40	269,68	256.848,56
13	1.000,00	216,04	216.045,14
14	1.000,00	171,93	171.931,33
15	1.000,00	136,04	136.046,24
16	1.000,00	107,11	107.117,22
17	1.000,00	83,97	83.972,13
18	1.000,00	65,57	65.573,93
19	1.000,00	51,03	51.030,41
20	1.000,00	39,58	39.589,74
21	1.000,00	30,62	30.628,31
22	1.000,00	23,63	23.635,41
23	1.000,00	18,19	18.197,05
24	1.000,00	13,98	13.980,47
25	1.000,00	10,72	10.720,14
PRODUÇÃO ANUAL PARA UMA TURBINA			2.644.045,83
TOTAL DE PRODUÇÃO ANUAL PARA O PARQUE (3 turbinas)			7.932.137,48

Com relação à influência das emissões sonoras máximas do parque, pode-se visualizar que os limites estão muito longe dos assentamentos humanos, conforme figura 6.24.



Figura 6.24. Área de influência das emissões sonoras máximas do parque. Fonte: Elaboração própria.

Já com relação as influências das sombras das turbinas eólicas, a figura 6.25, permite observar o mapa com as sombras sobrepostas das turbinas.



Figura 6.25. Área de influência das sombras na localização das turbinas. Fonte: Elaboração própria.

6.3.3. Redução de Gases Poluentes

De acordo às dimensões de projeto eólico e tendo em conta a produção de energética estimada a partir das estatísticas de vento pode-se se concluir que a redução anual de CO₂, Nox e SO₂ será:

Tabela 6.7. Redução de emissões de gases por kWh gerado. Fonte: Elaboração própria.

Redução de gases poluentes	
Produção de energia anual turbina [kWh]	2.644.045,83
Redução de CO ₂ [kg/kWh]	1.189.820,62
Redução de NOx [kg/kWh]	4.415,55
Redução SO ₂ [kg/kWh]	3.516,58

6.4 ANÁLISE ECONÔMICA

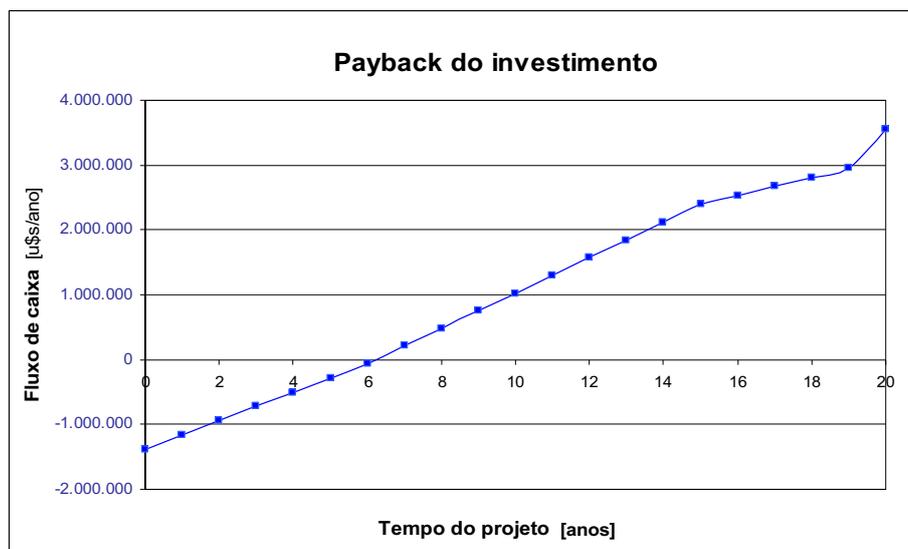
O valor do kW instalado de acordo com CREE (2007) pode ser estimado em 1.350 US\$/kW. Este valor representa custos da turbina, da instalação e de conexão a rede elétrica existente na localização e é coerente com os valores praticados hoje na Argentina. Deste valor, cerca de 75% aproximadamente corresponde ao aerogerador, 10% a obra civil e 15% a infra-estrutura elétrica (Toda, 2007).

Considerando uma taxa anual de juros de 4%, tendo em vista se tratar de investimentos ecológicos, a depreciação pode ser calculada utilizando-se o método linear. Estimando um valor residual de 35% com uma vida útil de 20 anos para a turbina eólica, pode-se determinar os seguintes cálculos econômicos apresentados na Tabela 6.8. Os dados estan expressados em dólares.

Tabela 6.8. Dados para os cálculos econômicos. Fonte: Elaboração própria.

Relação Dólar e Peso Argentino [US\$ = 3,40 Pesos]	3,40
Vida do projeto [anos]	20
Valor residual do parque [%]	35
Taxa anual de juros [%]	4
Fator de depreciação interna [%]	5
Valor do kW instalado [US\$]	1.350
Potência da turbina [kW]	1.000
Investimento fixo [US\$]	1.350.000
Valor de venda da energia [US\$/kW]	0,022
Produção anual de energia da turbina [kW]	2.644.045,83
Recuperação por leis nacionais e estaduais [US\$]	15.553,21
Recuperação por venda de créditos de carbono [US\$]	23.796,41
Venda de energia no ano [US\$]	97.674,16
Custos de Produção	
Manutenção [US\$]	13.500
Seguros [US\$]	6.750
Contingencias [US\$]	12.150
Totais custos de produção [US\$]	32.400

Finalmente a figura 6.26 apresenta o “*payback*” do investimento no parque eólico entre 6 e 7 anos (6,3 anos), demonstrando a viabilidade econômica do investimento, já que a vida útil considerada foi de 20 anos, podendo chegar até 30 anos.

Figura 6.26. *Payback* do investimento. Fonte: Elaboração própria.

CAPITULO 7. CONCLUSÕES

Esta dissertação permitiu o desenvolvimento de um aporte prático e metodológico, para a avaliação e caracterização dos recursos renováveis na Província de Buenos Aires, com ênfase na análise do recurso eólico para a cidade de Mar Del Plata, utilizando como ferramenta de trabalho, a Tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Para a cidade de Mar Del Plata, os resultados mostram valores de velocidade média superiores a 3 e 4 m/s a 10 metros de altura, sendo:

- Os padrões de comportamento direcional demonstram que existe um setor de ventos predominante na direção Noroeste. Isto é muito positivo para uma produção constante de energia.
- Os níveis de potência específica que se obtiveram a partir de uma avaliação simplificada da potência produzida (considerando densidade do ar constante, estimando fatores de rugosidade, etc.) foram superiores aos 200 W/m².
- A acessibilidade que apresentam os possíveis lugares de exploração é adequada. Existe um amplo sistema de rodovias e estradas.
- As linhas elétricas comunicam todos os pontos de consumo mais importantes.
- Tendo em conta as condições do terreno, apresenta vantagens significativas graças à baixa rugosidade que mostra a planície da região, ainda mais nos lugares próximos e expostos à costa Atlântica.

Ao se utilizar o SIG para o projeto de um parque eólico é possível incrementar a capacidade de planejamento regional em diferentes escalas para o uso mais eficiente dos recursos disponíveis.

Como o SIG incorpora ferramentas de análise espacial e em tempo real, a utilização da informação sobre uma determinada plataforma geográfica, com uso da cartografia digital, de imagens de satélites, mapas temáticos, etc, permite ao especialista em energia uma análise detalha do sistema como um todo.

As formas de trabalho propostas com o SIG permitiram diminuir o grau de incerteza presente nos estudos tradicionais, ao proporcionar resultados originados numa análise integrada da informação.

Pode-se concluir que o Sistema de Informação Geográfica é uma ferramenta de análise útil para a determinação do potencial e localização de instalações eólicas para a geração de energia elétrica.

Em relação ao sistema tradicional, podem-se enumerar as seguintes vantagens:

- Possibilidade de trabalho com informação integrada.
- Conhecimento do espaço geográfico permitindo localização precisa do local.
- Melhor previsão dos impactos ambientais (ruídos, projeção de sombras, preservação ambiental e integração urbana)

Os resultados mostram o potencial do recurso eólico na província de Buenos Aires. O estudo permitiu verificar a viabilidade técnico-econômica da instalação de um Parque Eólico nas proximidades de cidade de Mar del Plata. O período de amortização do investimento foi de 6,3 anos, coerente com a realidade da Argentina.

Recomenda-se como sugestões para trabalhos futuros:

- Utilização da metodologia SIG para outras fontes de geração distribuída.
- Uso do SIG para o planejamento energético.
- Utilização da metodologia para qualquer fonte primária.
- Realizar estudos para sistemas eólicos, solar, biomassa, considerando tecnologias híbridas em comunidades isoladas.
- Uso de SIG para estudos de projeção da demanda e oferta de energia elétrica.
- Utilização do SIG para análises de emissões de poluentes e de eficiência ecológica de centrais termelétricas, considerando ações dos ventos nas localidades diversas de um estado ou um país.

BIBLIOGRAFÍA

- . Álvarez, C. “Energía eólica”. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, España. 2006.
- . Danish Wind Industry Association, Windpower.org. 2008.
- . Burton, T. “Wind Energy Handbook”. 2001.
- . BWEA, “Basic Guidelines”. 1994.
- . CAMMESA, “Informe Anual Provisorio Mercado Eléctrico Mayorista Año 2006/2007”. 2008.
- . De Le Gourières. “Energía Eólica, Teoría, concepción y cálculo práctico de las instalaciones”. 1983.
- . Domínguez Bravo, J. “Los sistemas de información geográfica en la planeación e integración de energías renovables”. CIEMAT. España. 2002.
- . European Renewable Energy Council –EREC- & Greenpeace International, “Global Energy Revolution. A Sustainable World Energy Outlook. Report global energy scenario”. 2007.
- . Fernández Diez, P. “Energía Eólica”. Universidad de Cantabria. 2003.
- . García, M. “Efectos de la capa urbano-canopea en los registros meteorológicos de Camet, Mar del Plata”. 1998.
- . Global Wind Energy Council –GWEC- y Greenpeace Internacional, Dirección de Energías Renovables. “Perspectivas globales de la energía eólica 2006”. 2006.
- . Gotland University. “Windpower Project Development”. 2006.
- . IEC. “IEC 61400-1 Wind turbine generator system, Part 1 Safety Requirements”.
- . Monteiro, C. "Integração de energias renováveis na produção descentralizada de electricidade utilizando SIG", Dissertação de mestrado, FEUP.1996.
- . OACI. Reglamentaciones. 2007.
- . Prado, P.; Bocero, S. “Introducción a los Sistemas de Información Geográfica”. Ministerio de Educación de la Nación. Secretaría de Educación Superior. Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina. 2001.

- . Secretaría de Energía de la Nación. Argentina. “Descripción, desarrollo y perspectivas de las energías renovables en la Argentina y en el mundo”. 2004.
- . SEO/BirdLife. “Documento de Posición sobre Parques Eólicos y Aves”. 2006.
- . UNAM, “Estado del arte y tendencias de la tecnología eoloeléctrica”, Instituto de investigaciones eléctricas, Universidad Autónoma de México.1998.
- . WWEA. “Planning of a wind farm”. 2007.