

**ADIR ALEXANDRE BIBIANO FERREIRA**

**METODOLOGIA DE PREVISÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE CURTO  
PRAZO PARA PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS  
ELÉTRICOS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Antônio Gledson de Oliveira Goulart

Co- orientador (a): Mauricio Sperandio

Alegrete  
2012

CIP – Catalogação na Publicação

---

F383m Ferreira, Adir Alexandre Bibiano  
Metodologia de previsão do potencial eólico de curto prazo para  
planejamento de operação de sistemas elétricos / Adir Alexandre  
Bibiano Ferreira . – 2012.  
108 p. : il. ; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pampa, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Alegrete, 2012.  
“Orientador: Antônio Gledson de Oliveira Goulart.”

**1. Energia elétrica. 2. Energia eólica. 3. Sistemas de energia elétrica. I. Título.**

CDU: 621.311.245

---

Ficha elaborada pela bibliotecária Marlucy Veleda Farias - CRB 10/2067

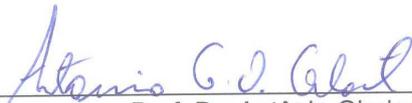
**ADIR ALEXANDRE BIBIANO FERREIRA**

**METODOLOGIA DE PREVISÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE CURTO  
PRAZO PARA PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS  
ELÉTRICOS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Sistemas de Energia

Monografia defendida e aprovada em: 06 de agosto de 2012.  
Banca examinadora:



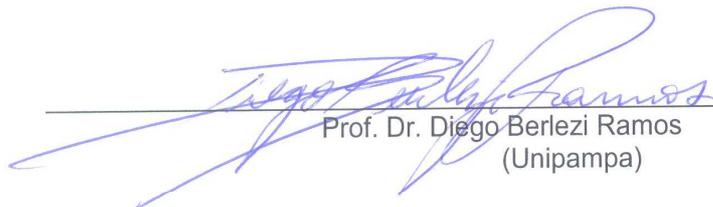
---

Prof. Dr. Antônio Gledson de Oliveira Goulart  
Orientador  
(Unipampa)



---

Profª. Dra. Daniela Buske  
(UFPEL)



---

Prof. Dr. Diego Berlezi Ramos  
(Unipampa)

Dedico a minha mãe (in memoriam), a incentivadora por eu gostar de estudar, a minha Irmã, por apoiarem, com carinho e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, capacidade e oportunidades que se apresentam a todo instante.

À minha mãe Santa Celina (in memoriam), mestres das primeiras e eternas lições, Irmã Michella, a Zoé, pelo carinho, compreensão e incentivo por minhas escolhas, guardo-os para sempre no meu coração.

Ao meu orientador Dr. Antônio G. O. Goulart e ao Dr. Mauricio Sperandio, por me apoiarem e ajudarem na a não desviar do foco, pela compreensão, paciência, disponibilidade e estímulo nos momentos difíceis.

Um agradecimento especial ao professor Dr. Marcelo Romero, sem a sua ajuda este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos professores do curso, pelo apoio, compreensão, dedicação [...]

Aos colegas do mestrado Franciele, Diego, Sergio, Marthielo, Marcelo, Paulo Sehn, Everson, Cleverton, Durgante, Wagner e outros a qual nos momentos difíceis souberam serem amigos e companheiros, sendo o mais importante à amizade conquistada.

Aos colegas que vibram com minhas conquistas em especial a Valéria Ramos, Marlucy, Katia entre outros. Também aos amigos Jackson S. Gabe, Eduardo Mariotto, Maicon Venes e outros.

A todos que tiveram marcada importância para que esta caminhada fosse possível, registro com imensa gratidão [...].

Parece-me fascinante pensar que hoje, nos mais diversos países do mundo. E com os meios mais poderosos de que dispõe a moderna tecnologia, se desenvolve uma luta para resolver em conjunto problemas colocados há dois milênios e meio pelos filósofos gregos e cuja resposta talvez venhamos a conhecer dentro de poucos anos, quando muito, em uma década ou duas.

***W. Heisenberg***

## RESUMO

A dependência da energia elétrica exige a procura de formas alternativas para produção sustentável, como os parques eólicos. Conforme o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), a geração proveniente de fontes de energia alternativas e sustentáveis como a de usinas eólicas deverá aumentar de 1% para 7%. Logo, a implantação de parques eólicos começará a afetar o planejamento e programação da operação energética, principalmente nos subsistemas sul e nordeste. No entanto, apesar do vento ser um recurso praticamente inesgotável, o problema reside na inconstância, não permitindo contar com a geração de energia elétrica que pode variar significativamente mesmo em um intervalo pequeno de tempo, o operador do sistema tem que estar preparado para atuar no despacho das demais usinas. Neste contexto, uma estimativa de curto prazo é fundamental. Essa operação não pode se basear nos mapas eólicos cujos valores de velocidade são uma média anual, no máximo de estações do ano, além de se limitarem a uma ou duas alturas o que não favorece dados confiáveis para a geração. A dificuldade em obter uma estimativa mais concreta sobre a energia disponível reside na falta de medições correlacionadas de variáveis climáticas, geração e um modelo eficiente de previsão de curto prazo, sendo um dos fatores que impede uma maior penetração deste tipo de fonte na matriz energética brasileira. Este trabalho apresenta uma metodologia para avaliar dados meteorológicos e geográficos que afere o campo de vento na altura do eixo de turbinas eólicas a fim de estimar o fluxo de ar, possibilitando calcular o potencial elétrico instantâneo produzido. Essa estimativa pode ser estendida para vários locais, a fim de acompanhar a variação de vento ocasionada pelos efeitos climáticos. O modelo meteorológico CALMET e WRF permite simular o campo de vento, criando um modelo de previsão probabilístico do vento, estimando a energia elétrica a ser produzida em determinados horários de acordo com o modelo das turbinas. O software ANAREDE analisa o comportamento da energia gerada que influenciara no fluxo de potência do sistema. Com este resultado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) pode executar a coordenação mais precisa do despacho hidrotérmico de curto prazo, bem como o dimensionamento da reserva de potência operativa.

Palavras-chave: WRF, CALMET, ANAREDE, previsão do vento, planejamento da operação, geração energia eólica.

## **ABSTRACT**

The dependence of the electrical energy demands the search for alternative ways to produce sustainable, such as wind farms. As stated in the Brazil's Ten Year Plan for Expansion of Energy (PDE), the generation from alternative and sustainable energy sources such as the wind farms is expected to increase from 1% to 7%. Therefore, the deployment of wind farms begins to affect the planning and scheduling of energy operation, mainly in south and northeast Brazilian subsystems. However, despite the wind being a virtually inexhaustible resource, the problem is the inconsistency, not allowing rely on the generation of electrical energy that can vary significantly even in a small interval of time, the system operator must be prepared to act in order of other growers. This operation cannot be based on maps whose wind speed values are the average annual maximum of seasons, and are limited to one or two heights. This paper presents a methodology for assessing meteorological and geographical data to measure the wind field in the turbine hub height, allowing to calculate the instantaneous electric power produced. This estimate can be extended to various points and times of day in order to monitor the variation of wind caused by climatic effects. The CALMET meteorological model WRF and allows to simulate the wind field, creating a probabilistic model for predicting the wind, estimating the electricity to be produced at certain times according to the model of the turbines. ANAREDE The software analyzes the behavior of the energy generated that influenced the flow of power system. With this result the System Operator can perform a more precise coordination of the hydrothermal short term dispatch, as well as the operative power reserve dimensioning.

**Keywords:** WRF, CALMET, ANAREDE, Wind Forecast, Operation Planning, Wind Generation.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Ano de 2025: Geração de energia mundial por ano.....                 | 30 |
| Figura 2. Curva de potência típica de uma turbina.....                         | 35 |
| Figura 3 – Curvas sazonais normalizadas de ventos e chuvas na região Nordeste. | 38 |
| Figura 4 - Fluxograma de dados Geofísicos. ....                                | 41 |
| Figura 5 – Definindo dados Geofísicos. ....                                    | 42 |
| Figura 6 – Zona UTM .....  | 43 |
| Figura 7 - Tela inicial do CALMET.....   | 44 |
| Figura 8 - Uso e cobertura do terreno .....                                    | 45 |
| Figura 9 - Modelo Topográfico .....  | 45 |
| Figura 10 - Velocidade do vento.....   | 46 |
| Figura 11– Valores de X, Y e Z .....   | 46 |
| Figura 12 – Relatório pontual da velocidade do vento .....                     | 47 |
| Figura 13 - SWERA.....   | 48 |
| Figura 14 - Malha de interligação do SIN .....                                 | 52 |
| Figura 15 – Potencial Eólico Brasileiro.....                                   | 53 |
| Figura 16 - Potencial Eólico do Rio Grande do Sul a 50m .....                  | 54 |
| Figura 17 – Atlas Eólico do Rio Grande do Sul .....                            | 54 |
| Figura 18 – Maquete do Parque Eólico de Cerro Chato.....                       | 55 |
| Figura 19 – Localização dos aerogeradores do Parque Eólico de Cerro Chato..... | 56 |
| Figura 20- Fluxograma da Metodologia Proposta .....                            | 57 |
| Figura 21 - Fluxograma do <i>Weather Research and Forecast (WRF)</i> .....     | 59 |
| Figura 22 - Fluxograma do Modelo CALMET .....                                  | 60 |
| Figura 23 - Dados informados na configuração do TERREL .....                   | 61 |
| Figura 24 – Dados de configuração do CTGPROC.....                              | 61 |
| Figura 25- Dados de configuração do MAKEGEO .....                              | 62 |
| Figura 26 – Dados de Configuração do CALMET .....                              | 63 |
| Figura 27 – Simulando dados no PRTMET .....                                    | 63 |
| Figura 28 – Mapa Topográfico .....   | 64 |
| Figura 29 – Mapa de Uso e Cobertura .....                                      | 65 |
| Figura 30 – Rugosidade .....   | 65 |
| Figura 31 – Mapa da Velocidade do Vento às 00h00minh.....                      | 66 |
| Figura 32 – Relatório do Aerogedor CH1 .....                                   | 66 |
| Figura 33 – SWERA – Encontrar uma localização .....                            | 67 |
| Figura 34 – Resolução da velocidade do Vento .....                             | 67 |
| Figura 35- Sistema sul de Energia .....  | 68 |
| Figura 36 – Boletim Semanal de Operação.....                                   | 68 |
| Figura 37 - Velocidade do Vento e Local das coletas de dados.....              | 71 |
| Figura 38 - Energia Total Simulada das 00h: 00min às 08h00minh .....           | 74 |
| Figura 39 – SWERA – Velocidade do Vento .....                                  | 75 |
| Figura 40 – Parque Eólico sem geração. ....                                    | 77 |
| Figura 41 – Fluxo de Potência à 0h.....  | 78 |
| Figura 42 – Linha 1188 .....   | 79 |
| Figura 43 – Sentido do fluxo de potência às 6h .....                           | 80 |
| Figura 44 – Sentido do Fluxo de Potência às 7h.....                            | 80 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Empreendimentos em operação na produção de energia.....             | 31 |
| Tabela 2 – Escala de Tempo para a previsão .....                               | 32 |
| Tabela 3 – Tabela com a Velocidade do Vento e Energia Gerada às 00h00min. .... | 72 |
| Tabela 4 – Comparação da Geração de energia .....                              | 75 |
| Tabela 5 – Energia Gerada por Parque .....                                     | 76 |
| Tabela 6 – Boletim Semanal da Operação 14/01 a 20/01 .....                     | 77 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANAFAS - Programa de análises de faltas simultâneas  
ANATEM - Programa de análise de transitórios eletromecânicos  
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica  
CMO - Custo Marginal da Operação  
FLUPOT - Fluxo de potência ótimo  
GNL - Gás natural Liquefeito  
MP - Método de Persistência  
NPT - Método Numérico de Previsão de Tempo  
NH2 - Análise da Confiabilidade de Geração e Transmissão  
RNA - Redes Neurais Artificiais  
PACDYN – Programa de Estabilidade e pequenas perturbações  
PLD - Preço de Liquidação das Diferenças  
PMO - Programação mensal da operação energética  
PDP - Programa Diário de Produção  
WPS - WRF Pre-processing System

## LISTA DE SIGLAS

ANAREDE - Programa de Análise de Redes GRF  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
ASG - The Atmospheric Studies at Group  
BIG - Banco de Informações de Geração  
CALMET - California Meteorological Model  
CAM - Modelo Climático Community Atmosphere Model  
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica  
CTG - Composite Theme Grid  
CGH - Central Geradora Hidrelétrica  
DEM - Modelo de Elevação Digital  
EOL - Central Geradora Eolielétrica  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
IEC - International Electrotechnical Commission  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LMSC - Laboratório de Modelagem e Simulação Computacional  
LULC- Land Cover  
MEASNET - International Network for Harmonised and Recognised Measurements in Wind Energy  
MM5 - Modelo em Mesoescala  
NASA - National Aeronautics and Space Administration  
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration  
NSM's - Network Security Management Systems  
NCAR - National Center for Atmospheric Research  
NCEP - National Center for Environmental Prediction  
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico  
PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia  
PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas  
PROINFA - Programa de Incentivo às fontes alternativas  
PSU - Pennsylvania State University  
PSERC - Power Systems Engineering Reserarch Center  
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission  
SIN - Sistema Interligado Nacional  
SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment  
UNSEGED - United Nations Solar Energy Group for Environment and Development  
UFV - Usina Fotovoltaica  
UHE - Usina Hidrelétrica de Energia  
UTE - Usina Termelétrica de Energia  
UTM - Universal Transverse Mercator  
UTN - Usina Termonuclear  
USGS -United States Geological Survey  
WRF - Weather Research and Forecast

## SUMÁRIO

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1      | INTRODUÇÃO.....   | 25 |
| 2      | REFERENCIAL TEÓRICO.....  | 29 |
| 2.1    | As Diferentes formas de Geração Energia Elétrica.....   | 29 |
| 2.2    | Estudos realizados na previsão do vento, geração de energia elétrica e operação do sistema..... | 31 |
| 2.3    | WRF.....  | 38 |
| 2.4    | CALMET.....   | 40 |
| 2.4.1. | Configuração dos dados Geofísicos (pré-processamento).....                                      | 41 |
| 2.4.2. | Simulando no CALMET (simulação).....  | 43 |
| 2.4.3. | Pós-processador PRTMET (pós-processamento).....   | 44 |
| 2.5    | SWERA – Avaliação do recurso energético solar e eólico.....                                     | 47 |
| 2.6    | ANAREDE – Análise e avaliação do impacto de energia na malha elétrica.....                      | 48 |
| 2.7    | O ONS e os Procedimentos de rede.....   | 51 |
| 3      | METODOLOGIA.....  | 55 |
| 3.1    | Metodologia do WRF.....   | 58 |
| 3.2    | Metodologia do CALMET.....  | 59 |
| 3.3    | Metodologia do SWERA.....   | 67 |
| 3.4    | Metodologia do ANAREDE.....   | 67 |
| 3.5    | Auxílio Computacional.....  | 69 |
| 4      | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....  | 71 |
| 4.1    | Velocidade do vento de hora em hora.....  | 71 |
| 4.2    | Analisando a influência da Geração do Parque Eólico Cerro Chato.....                            | 76 |
| 5      | CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 83 |
|        | REFERÊNCIAS.....  | 85 |
|        | APENDICE A.....   | 91 |

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica move o mundo, representa para a sociedade a maneira de promover o desenvolvimento, pelo funcionamento das indústrias, dos meios de transporte, do conforto, segurança e lazer.

Com a criação e modernização das empresas, as produções de produtos manufaturados aumentam o que também faz aumentar o consumo de energia elétrica neste setor.

Diversas são as formas de geração de energia elétrica, sendo o princípio básico a transformação da energia mecânica em energia elétrica. As hidrelétricas como exemplo são causadoras de grandes impactos ambientais, como por exemplo: inundações, alterações climáticas, a não preservação de espécies animais e da mata nativa, dentre outros fatores.

No Brasil, devido às imensas bacias hidrográficas foram construídas usinas hidrelétricas de pequeno, médio e grande porte, capazes de gerar aproximadamente 80% da energia demandada, o restante é dividido entre termoelétricas, nuclear, eólica e solar.

A matriz energética do Brasil irá aumentar até o ano de 2020, conforme o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), com a geração proveniente de fontes de energias alternativas e sustentável como as usinas eólicas, térmicas a biomassa e de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). O enfoque maior será na geração eólica, onde aumentará de 1% para 7% [1].

A cada ano aumenta a necessidade e dependência da energia elétrica, o que implica que há necessidades de estudos, incrementos em pesquisa e na produção.

Apesar do custo da produção de energia elétrica por usinas hidroelétricas ser menor do que termoelétricas essas têm altos custos devido aos impactos ambientais, em relação à inundação de extensas áreas de florestas ou agrícolas necessárias para a construção das represas, assim como altos custos de transmissão, pelo motivo que os rios que permitem a instalação encontram-se muito distantes dos grandes centros urbanos [2]. Já as usinas termoelétricas têm um alto custo de operação e causam grande poluição atmosférica, geralmente estão localizadas próximas dos centros urbanos para reduzir a necessidade de linhas

transmissão, também afirma Mangueira [48].

Existe a preocupação muito grande com o meio ambiente, pois, qualquer mudança no cenário ambiental traz fortes efeitos que influenciam diretamente no clima global. Por este motivo, hoje, busca-se formas alternativas para a produção de energia limpa com menores mudanças no meio, uma forma é a implantação de parques eólicos. O vento é um recurso praticamente inesgotável, no entanto apresenta bruscas variações na velocidade, conforme a estação climática, relevo e variação da pressão.

Em geral os mapas eólicos demonstram a velocidade média anual e velocidade por estações do ano em diferentes alturas. Isso não permite a análise do potencial eólico em tempo real, é necessário um modelo que estime a previsão de vento diária, hora em hora, permitindo aproximar o potencial energético a ser gerado e liberado na malha elétrica controlada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Assim este pode buscar a combinação mais eficiente das diversas fontes de produção de energia (hidrelétricas, térmicas, a biomassa, nuclear e eólica).

Utilizando os mapas eólicos que apresentam a velocidade do vento anual, pode-se estimar o potencial eólico-elétrico efetivamente aproveitável por usinas eólicas. Por meio do mapa de velocidade, ferramentas de geoprocessamento e cálculos, estima-se a produção de energia elétrica em usinas eólicas [20]. Entretanto, com a média anual de vento não é possível identificarmos qual seria a estação do ano, muito menos diagnosticar o mês ou o dia de maior conversão do vento em energia elétrica.

A falta de um modelo da previsão do vento com dados confiáveis pode produzir uma falsa estimativa na geração de energia, o que pode implicar em não atender a demanda do sistema e aumentar os custos de produção.

A avaliação precisa do potencial de vento em uma determinada região é fundamental para a instalação e aproveitamento do recurso eólico renovável como fonte de energia sustentável [2], [3]. Não ter uma previsão de vento confiável implica diretamente na elevação de custos [4], sendo contrária a regra de modicidade tarifária.

A previsão do potencial eólico depende dos dados de relevo, rugosidade e meteorológicos coletados como: velocidade do vento, direção do vento, pressão atmosférica, variação da temperatura, temperatura do ponto de orvalho, precipitação, umidade, nebulosidade, tempo presente, data e hora que são pontos

de relação direta com o campo de vento. Pode-se também a partir de várias simulações criar um modelo de previsão probabilístico do vento, a fim de estimar a energia elétrica a ser produzida em determinados horários de acordo com o modelo das turbinas.

Para desenvolver a metodologia de previsão do potencial eólico de curto prazo utilizou-se a combinação dos programas, *California Meteorological Model* (CALMET) com o *Weather Research and Forecast* (WRF) e o Programa de Análise de Redes GRF (ANAREDE), para estimar a previsão do campo de vento e obter o impacto da energia gerada pelos aerogeradores para a elaboração do planejamento da operação do sistema em curto prazo.

O WRF escolhido é a versão mais atual na previsão do campo de vento, além de ser compatível com outros softwares (MM5, NOAH, WASP). O WRF tem agregado a sua programação vários códigos de outros simuladores, mas está baseada originalmente no modelo regional ETA, que hoje é utilizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para as suas simulações. Um software nem sempre apresenta solução completa para atingir as necessidades da pesquisa, o WRF apresenta duas deficiências como descrição do terreno e a capacidade de resolução em pequena escala [21]. Para suprir esta deficiência o CALMET vem a complementar o WRF, onde reconhece os arquivos do tipo 3D.dat, além de ter variáveis como a precipitação, a temperatura, a pressão, a radiação solar que podem influenciar na simulação. O ANAREDE é o software a qual o Operador Nacional de Sistema utiliza para controlar o fluxo de potência entre as usinas geradoras de energia. O SWERA possui um banco de dados a qual é utilizado como parâmetro para a energia elétrica produzida pelo campo de vento da simulação.

Os dados meteorológicos utilizados como entrada no software WRF e CALMET é referente ao dia 17 de janeiro de 2012, a simulação do campo de vento das 0h até 8h numa área de 25 km x 25 km na qual está localizado o Parque Eólico Cerro Chato I, II e III no município de Santana do Livramento.

Determinado o potencial eólico e a quantidade de energia gerada pelos aerogeradores a análise desta no ANAREDE permitirá verificar o comportamento do fluxo de potência na Usina Térmica de Candiota III e nas Usinas Hidráulicas de Jacuí, Passo Real, Itauba que são geradoras de energia elétrica que compõem o sistema sul.

Observa-se que há uma tendência para que sejam implantados mecanismos que gerencie a produção de energia oriunda de fontes alternativas, assim como a distribuição adequada desta ao sistema elétrico de potência.

A escolha do tema desta dissertação tem o objetivo de buscar a solução para um problema na produção de energia elétrica oriunda das fontes renováveis, sendo a energia eólica o foco. O problema está em como obter uma previsão do vento que se aproxime do real, realizar a operação e a coordenação do sistema elétrico com as fontes hidrotérmicas.

A estrutura desse trabalho compõe-se da seguinte forma:

O capítulo 2 comenta diferentes formas de geração de energia elétrica, os estudos a qual tem sido realizado na previsão de vento, geração de energia elétrica e operação do sistema; a descrição do software WRF, CALMET, SWERA, ANAREDE e quais as ações do ONS no tratamento da operação energética.

O capítulo 3 trata da metodologia usada na configuração dos dados iniciais e caminhos utilizados para a simulação dos mapas de vento a partir da velocidade hora a hora nos software, o quantitativo de energia gerada pelo potencial eólico, tendo a descrição de como obter a velocidade média mensal do vento pelo SWERA para um parâmetro da produção de energia elétrica e uma breve descrição do auxílio computacional envolvido.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos nas simulações relativos à geração eólica hora a hora na área delimitada pelo Parque Eólico Cerro Chato e a quantidade de energia gerada, a comparação destes é feita com os dados reais da velocidade do vento coletados pelos aerogeradores do parque a qual foram autorizados pela Eletrosul e posteriormente a velocidade média consultada no software SWERA e a avaliação da influência da geração de Cerro Chato quando despachada na malha integrada do sistema interligado nacional (SIN).

O capítulo 5 apresenta considerações finais a propósito da pesquisa desenvolvida.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda as diferentes formas de geração de energia elétrica elencando quais são as fontes de energias renováveis e não renováveis.

Além disso, esta revisão bibliográfica também apresenta o que tem sido realizado na previsão do vento, na geração de energia e na operação do sistema.

### 2.1 As Diferentes formas de Geração Energia Elétrica

Podemos caracterizar a produção de energia elétrica a partir de suas fontes, sendo elas renováveis e não renováveis.

Energias renováveis diferem na produção por ser auto-sustentável, inesgotável, com pequenas variações devido as mudanças meteorológicas, mas recuperável sem interferência do homem neste processo, considerada uma energia limpa, ainda pouco difundida. Temos como exemplos as seguintes energias: hidráulica, biomassa, eólica, solar, biogás, geotérmica e do mar.

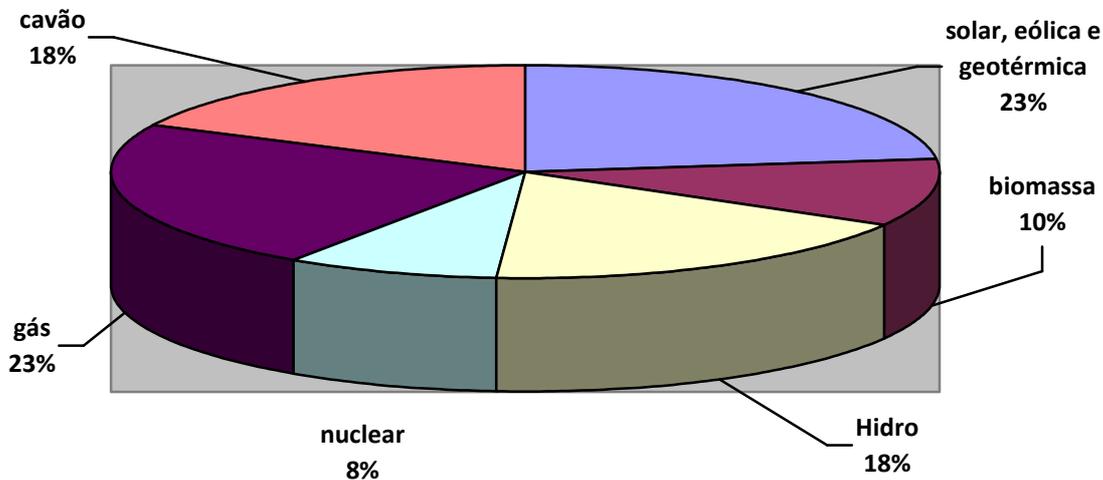
Já as fontes de energias não renováveis também extraídas da natureza, porém estas não são auto-sustentáveis, esgotam, provocam grandes impactos ambientais desde inundações até influencias no aquecimento global. Sendo a de gás natural (combustível fóssil), derivados de petróleo, nuclear e carvão mineral.

A previsão da demanda da geração de energia renovável no mundo é apresentada pelo *United Nations Solar Energy Group for Environment and Development (UNSEGED)* com os percentuais de participação de cada uma no cenário energético para os anos de 2025 [6].

Podemos verificar que haverá um aumento significativo na produção de energia a partir das fontes renováveis, tomando o espaço hoje ocupado por algumas fontes não renováveis, conforme Figura 1.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias a geração de energia elétrica no futuro será diversificada e influenciada pela região de instalação da usina. O fornecimento resultará da combinação das fontes hídrica, eólica, térmica, solar, biomassa, carvão mineral, petróleo e nuclear [6]. A biomassa produzirá componentes que servirão para a produção dos biocombustíveis como etanol, metanol, biodiesel e outros [8].

Figura 1. Ano de 2025: Geração de energia mundial por ano



Fonte: Aldabo, 2002.

A geração hidroelétrica necessita analisar a vazão da água dos rios, a quantidade de água referente à estação do ano, o relevo e a forma de armazenamento. O armazenamento de água que pode ser por reservatório e fio d'água. Com fio d'água operam as usinas chamadas de Pequenas Centrais Hidroelétricas - PCH's que se difere em tecnologia e por não necessitar de grandes reservatórios, o que produz menor impacto ambiental. É obrigatória a visualização dos critérios de potência de instalação e limites para o nível de água estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) conforme resolução nº 652 de 9 de dezembro de 2003 [5], [7].

No Brasil a exploração de energia é muito diversificada. De acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL o Brasil possui no total 2.513 empreendimentos em operação, sendo a geração total de 116.011.698 kW de potência, conforme Tabela 1. A participação de cada fonte produtora em potência de energia está distribuída conforme Tabela 1[9]. A maior produção de energia se encontra nas centrais hidrelétricas, (CGH, PCH, UHE) com 953 unidades produzindo a potência total de 82.105.379 kW. A partir do vento a geração eólica (EOL) com suas 60 unidades instaladas corresponde a 1.185.742 kW, aproximando-se a 1%.

As usinas UTE que usam o gás são 140 unidades, petróleo são 917 unidades, biomassa são 419 unidades e 10 a base de carvão mineral.

Tabela 1 - Empreendimentos em operação na produção de energia

| Empreendimentos em Operação         |                 |                              |       |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|-------|
| Tipo                                | Quantidade<br>e | Potência Fiscalizada<br>(kW) | %     |
| Central Geradora Hidrelétrica (CGH) | 362             | 206.425                      | 0,18  |
| Central Geradora Eolielétrica (EOL) | 60              | 1.185.742                    | 1,02  |
| Pequena Central Hidrelétrica (PCH)  | 411             | 3.757.050                    | 3,24  |
| Usina Fotovoltaica (UFV)            | 6               | 1.087                        | 0     |
| Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) | 180             | 78.141.904                   | 67,36 |
| Usina Termelétrica de Energia (UTE) | 1492            | 30.712.490                   | 26,47 |
| Usina Termonuclear (UTN)            | 2               | 2.007.000                    | 1,73  |
| Total                               | 2.513           | 116.011.698                  | 100   |

Fonte: BIG – Banco de informações de Geração, 23/10/2011.

A expansão de empreendimentos para a geração de energia tem sido incentivada pelo governo federal brasileiro a partir da realização de leilões a fim de cadastrar empresas interessadas a investir no setor.

No ano de 2010 foram realizados os leilões de fontes alternativas de energia elétrica (A- 3 e Reserva) a qual contratou 89 usinas, sendo elas 70 centrais eólicas, 12 termelétricas à biomassa e 7 PCHs, sendo o período de exploração que variam de 15 anos (biomassa), 20 anos (eólica) e 30 anos (PCH), o que aumentou em 2.892,2 MW instalados [10].

## 2.2 Estudos realizados na previsão do vento, geração de energia elétrica e operação do sistema

Várias técnicas têm sido utilizadas na previsão do vento, buscando um desempenho eficaz, assim como para a estabilidade e confiança no montante de energia elétrica gerada que penetra na malha elétrica de distribuição. Conforme *Foley et al* [26] os avanços na previsão eólica são necessários para diminuir os

riscos de incertezas, o que possibilita um melhor sistema de planejamento, operação e rede de energia integrada.

As previsões de vento são classificadas de acordo com a técnica empregada, levando em consideração o tempo de simulação as quais podem ser de curtíssimo prazo, curto prazo, médio prazo e longo prazo, conforme Tabela 2 [26 - 27- 28 - 29].

Tabela 2 – Escala de Tempo para a previsão

| Tempo            | Medição                            |
|------------------|------------------------------------|
| Curtíssimo prazo | De 0 segundo a 30 minutos à frente |
| Curto prazo      | De 30 minutos a 6 horas à frente   |
| Médio prazo      | De 6 horas a 1 dia à frente        |
| Longo prazo      | De 1 dia a 1 semana à frente       |

Fonte: Soman et al, 2010.

Os métodos de previsão baseados em uma das seguintes formas: (1) Método de Persistência; (2) Abordagens Físicas; (3) Abordagens Estatísticas e (4) de Abordagem Híbrida [26- 27- 28], [30].

O método de persistência (MP) prediz a velocidade do vento supondo que a velocidade do vento no instante  $t_{(1)}$  é “t + x” igual a  $t_{(0)}$ . Entretanto a técnica exige a necessidade de correlação entre os valores da velocidade atual e posteriormente. O MP é um método numérico de previsão de tempo (NPT) a qual serve de base de origem e formam a base de dados para a previsão de energia eólica e métodos de previsão [26], [31]. Conforme *Bludszuweit et al* aplica o MP nas suas atividades [33].

Os NPT consideram como requisitos essenciais para as simulações fatores como obstáculos, rugosidade superficial local e suas alterações, os efeitos da orografia, a escala de vento e o layouts dentro de parques eólicos e as curvas das turbinas eólicas [27]. Estes geralmente são modelos de meso ou micro-escala que realizam a interpolação e extrapolação dos dados na altura do aerogerador [31].

O método com abordagem física necessita de dados reais para completar as lacunas que possui, como velocidade do vento, direção, condições do terreno, condições climáticas a fim de obter uma estimativa da energia eólica, mas é permitido usar dados de entrada a partir NPT ou fornecido pelo serviço de meteorologia local [26-27], [31].

As ferramentas computacionais envolvidas nas simulações de previsão da velocidade do vento tendem a melhorar a modelagem, assim cada vez mais é necessário aumentar a capacidade de resolução dos computadores empregados na extração do campo de vento [27 - 28].

A abordagem a partir do método estatístico esta baseada na análise de uma série de dados passados, armazenados em banco de dados, o que tende a facilitar na organização da simulação computacional [30].

As condições meteorológicas (pressão atmosférica, altitude, nebulosidade e etc) são desconsideradas, por este motivo este é chamado de “caixa preta”, sendo realizada somente a relação entre o tempo de previsão e a saída da energia potencial eólica, para isto são empregadas algumas técnicas de redes neurais artificiais (RNA) descritas em [26-27-28] e a lógica fuzzy. O método de abordagem usando RNA [28] e a lógica fuzzy [32].

O método de abordagem híbrida é a relação entre duas situações onde uma complementa a outra, como, por exemplo, aplicar um método numérico com um de abordagem física. Também pode ser na mesma simulação analisar os dados de vento para curtíssimo prazo e curto prazo ou médio prazo e longo prazo. Muitos autores tem usado a hibridação em suas pesquisas [32, 34].

A aplicação dos métodos de persistência, físico, estatístico e híbrido tem dado origem ao desenvolvimento de softwares de previsão de vento. *Foley et al* [26] apresenta alguns softwares desenvolvidos internacionalmente baseados no método físico (Prediktor, SOWIE), no método estatístico (WPPT, Sipleólico, WPMS, GH Forecaster, Aleasoft at UPC Spain) e no método híbrido (Zephyr, Previento, eWind TM, WEPROG, LocalPred & RegioPred, Scirocco). Em *Kariniotakis et al* [31] são apresentados outros softwares como o: WAsP, HIRLAM, Previento, Lokalmodell (LM), WPPT (Wind Power Prediction Tool), Zephyr, LocalPred & RegioPred.

É possível realizar a combinação de modelos de mesoescala que fornecem dados iniciais do vento para outros modelos diagnósticos para predizer o campo de

vento. Alguns modelos que realizam a interface têm sido utilizados são: Forewind, MM5, WRF, COAMPS, wokstation-ETA e OMEGA [31], [39].

A determinação do potencial eólico depende do estudo por um determinado período dos dados meteorológicos de uma região, construindo assim um histórico de dados. A partir de programas que permitam exibir um diagnóstico do campo de vento local instantâneo é possível estimar a geração de energia eólica.

Dados meteorológicos de fonte segura e a computação em evolução proporcionam a construção de modelos para a previsão e monitoramento. Os modelos utilizam a velocidade do vento como entrada para prever a potência do parque eólico [3]. Neste contexto, esta dissertação propõe uma metodologia para a previsão do potencial eólico de curto prazo.

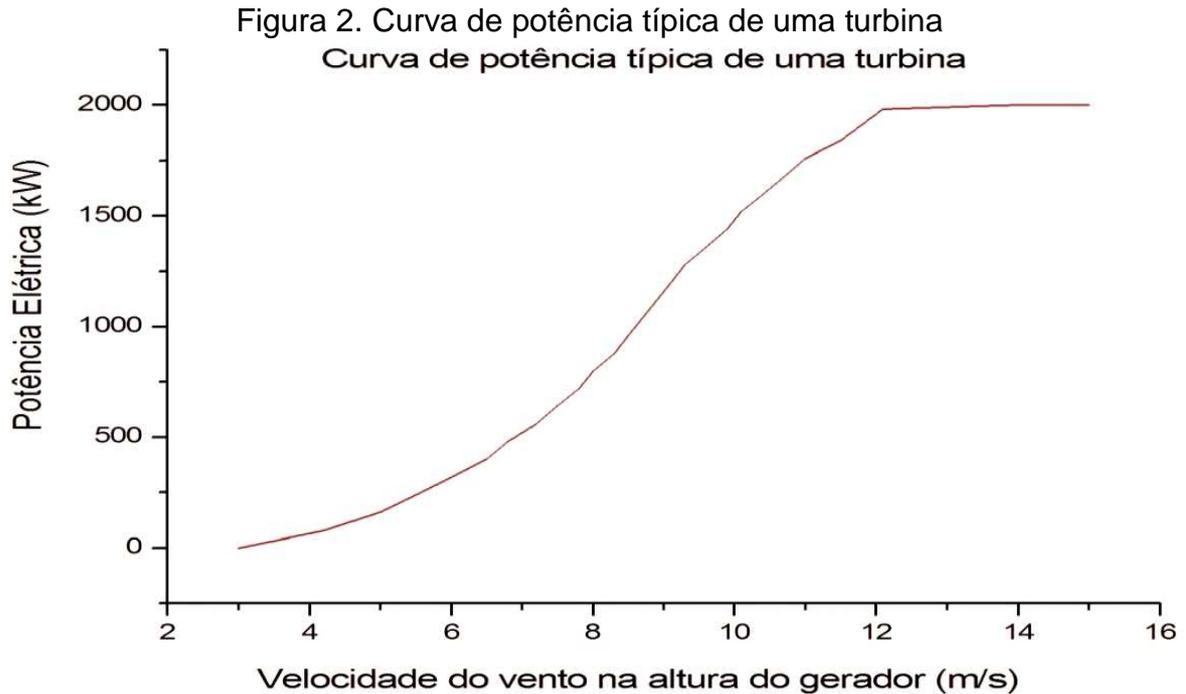
O modelo eólico de previsão de desempenho tem de ser capaz de prever a quantidade de energia produzida em horários futuros [3]. Pois, os investimentos na implantação de parques eólicos são altos, por este motivo a instalação de aerogeradores com capacidades muito superiores das possibilidades que o local admite inviabiliza o projeto. Uma forma de se avaliar, inicialmente, o potencial eólico de uma determinada região é a partir da densidade de Potência do vento [17].

A potência ( $P$ ) de vento disponível em uma dada corrente de ar de velocidade ( $V$ ) é proporcional ao cubo da velocidade, dado pela equação (1) [18-19], [27-28]:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p \quad (1)$$

Onde  $P$  é a potência do vento,  $\rho$  é a densidade do ar em  $\text{kg/m}^3$ ,  $A$  área da turbina em  $\text{m}^2$ ,  $V$  a velocidade do vento em  $\text{m/s}$  e  $C_p$  o coeficiente de potência da turbina.

Para a instalação de uma turbina eólica em um parque é fundamental atender os procedimentos da IEC (*International Electrotechnical Commission e IEC System for Conformity Testing and Certification of Wind Turbines*) e MEASNET (*International Network for Harmonised and Recognised Measurements in Wind Energy*) [15], [46]. A forma da curva de potência para a turbina usada no parque da empresa Wobben Windpower e o modelo E82 é mostrada na Figura 2 [15], [46].



Fonte: LATEC, 2007.

A estimativa da geração de energia é realizada a partir do rendimento do aerogerador, sendo calculada em função das características e da curva de potência que são fornecidas pelo fabricante. Cada fabricante determina para a turbina eólica através de testes a curva de potência de acordo com a sua eficiência.

É necessário que a velocidade mínima do vento seja de aproximadamente 3 m/s para movimentar as pás de uma turbina [44] e quando atingir aproximadamente 12 m/s por questões de segurança a rotação das pás estabilizam e se mantem constante a produção de energia elétrica, velocidade superior a 12 m/s podem provocar danos à estrutura do aerogerador se necessário o sistema realiza a parada total.

É possível realizar a conversão dos valores e determinar a energia eólica a ser gerada a partir da curva de potência da turbina específica ou da lei de potência logarítmica [26].

Um detalhe na geração de energia é a variabilidade do vento que pode impactar problemas na qualidade de energia, causando diferenças na tensão devido à flutuação da carga de acordo com Souza *et al* [46] e Dester [44]. É necessário que equipamentos de medição no local estejam sempre em operação para identificar as prováveis situações quando as usinas eólicas estiverem em funcionamento e conectadas a rede elétrica evitando mau desempenho dos equipamentos e atuações

dos sistemas de proteção tanto no momento de manobras na transmissão como na distribuição [47]. Assim, o desenvolvimento de novas tecnologias será indispensável para o controle e monitoramento da operação.

O Brasil possui grande oferta de energia elétrica oriundas de várias fontes renováveis, a maior parte da geração é das hidrelétricas, a geração eólica hoje ainda é pequena.

O Programa de Incentivo às fontes alternativas – PROINFA, regulamentado pela lei 10.438 de 26 de abril de 2002 e revisado pela Lei nº 10.762 de 11 de novembro de 2003, com financiamentos e garantias de compra e preço da energia, visa aumentar a participação das fontes alternativas na matriz energética brasileira, assim incentiva a implantação de parques eólicos em caráter de concessão.

O primeiro leilão de energia eólica do país em nota técnica da EPE teve um excelente interesse de empresas em participar. Foram cadastrados 441 projeto com potencial total de 13.341 MW para a região nordeste, sudeste e sul envolvendo 11 estados. A modalidade de reserva foi à forma de contratação do volume de energia a ser vendida ou comprada para os empreendedores que dispõem dos menores preços para uma vigência de 20 anos de duração [13]. A participação de várias empresas contribui para a redução no valor da energia gerada, com isso permite uma alternativa mais interessante do ponto de vista econômico e ambiental.

Logo, a implantação de parques eólicos começará a afetar o planejamento e programação da operação energética, principalmente nos subsistemas sul e nordeste. Como o vento é um recurso inconstante e que pode variar significativamente mesmo em um intervalo pequeno de tempo, o operador do sistema tem que estar preparado para atuar no despacho das demais usinas.

Hoje as estimativas de produção de energia eólica são calculadas com base em padrões de comportamento de longo prazo, embora a produção possa variar significativamente no curto prazo. Com relação aos dados anemométricos, apesar da adoção de padrões estabelecidos por instituições internacionais, o curto histórico de medição de vento no Brasil exige a prática de extrapolação do histórico de vento, inclusive pelas instituições certificadoras. Para tal prática são utilizados dados meteorológicos de bancos de malha geográfica global e modelos topográficos [40].

Atualmente, o planejamento da operação energética do sistema interligado nacional (SIN) contempla apenas as fontes de geração hidro e termoelétricas. Sendo dividido em duas grandes etapas, onde o NEWAVE é o modelo de otimização

utilizado no planejamento de médio prazo (cinco anos), e o DECOMP é empregado no horizonte de curto prazo (2 meses). Tendo por objetivo determinar o despacho de geração das usinas hidráulicas e térmicas que minimiza o custo de operação ao longo do período de planejamento, dado o conjunto de informações disponíveis. Isto resultada no Custo Marginal da Operação (CMO), e conseqüentemente no Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), usado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) nas transações financeiras do setor.

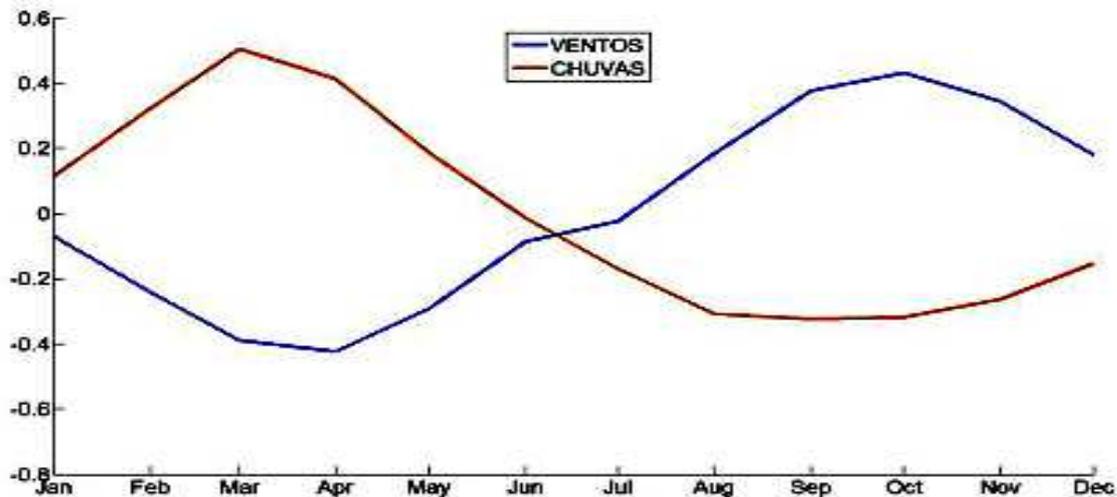
Nesse sentido, discute a dinâmica das variáveis climatológicas associadas à geração hidroelétrica e eólica, tratando as características principais de cada uma, possíveis complementariedades, como mostra a Figura 3, e a necessidade de modelos específicos e inovadores para o fenômeno em estudo [41].

No trabalho é feita uma análise comparativa dos resultados obtidos pelo NEWAVE com um modelo climático numérico de domínio global, porém foi feito um pós-processamento gerando uma grade para a América do Sul (*downscaling*) [42]. Os autores mostram que uma grande parcela da formação do preço de curto prazo, mínimo de 43,0% com seis meses de antecedência, é explicada pelas condições climáticas.

Apesar dos parques eólicos não serem “despacháveis”, eles afetam a operação das usinas programadas, alterando os montantes de geração. Recentemente um esforço foi feito para inserir os requisitos de despacho antecipado das usinas a gás natural liquefeito (GNL) que entraram em operação em 2011 no modelo de otimização [43]. Da mesma forma, as usinas eólicas também devem ser consideradas, a fim de se buscar a operação ótima do sistema, que é uma das premissas do SIN.

Mas além da questão energética, existe o problema da operação devido à variabilidade da energia eólica, que se torna mais preocupante quanto maior sua penetração na matriz de energia elétrica, podendo haver circunstâncias nas quais as flutuações de potência podem atingir percentuais relevantes. Na Alemanha, onde a participação da fonte eólica era de 14 % no ano de 2005 (com um fator de capacidade de apenas 17 %), ocorreu uma situação na qual o operador defrontou-se com variações no fornecimento de potência eólica que chegaram a atingir 80 % da potência instalada desta fonte, gerando sérias dificuldades no suprimento da carga [44].

Figura 3 – Curvas sazonais normalizadas de ventos e chuvas na região Nordeste.



Fonte: PINTO, 2011.

Da mesma forma, com o incremento considerável das energias renováveis no Brasil e a diversificação de seu sistema elétrico, faz-se necessário no futuro pensar na aplicação de sistemas de segurança para a administração da rede “*Network Security Management Systems*” (NSM’s), junto com o cálculo do fluxo de carga dinâmico da rede [45].

É apresentado por Mangueira *et al* [48] que o operador de sistema possui um desafio na operação, pois na geração eólica no despacho da carga não pode ser inferior à demandada. Por este motivo é aplicada a lógica fuzzy para avaliar estatisticamente o impacto da geração eólica na rede elétrica convencional.

Portanto, a operação do SIN não pode se basear em mapas eólicos cujos valores de velocidade são uma média anual, além de geralmente se limitarem a uma altura de 50 metros, enquanto os novos geradores já superam os 100 m. É preciso uma análise mais detalhada do potencial de geração de curto prazo para cada turbina ou parque eólico, pois isso afetará a necessidade de reserva girante e armazenamento em pequenos reservatórios e, conseqüentemente, o custo da operação.

### 2.3 WRF

O Weather Research Forecast (WRF) é um modelo prognóstico de mesoescala desenvolvido pela *National Center for Atmospheric Research* (NCAR).

As informações utilizadas para as simulações estão armazenadas num banco de dados meteorológicos. É uma ferramenta utilizada para simulações atmosféricas, simples e eficaz de domínio público e distribuído gratuitamente. Sua operação pode ser de pequenas máquinas portáteis a grandes máquinas chamadas de clusters.

As inserções dos dados meteorológicos no WRF seguem um formato específico, com estes dados configurados no formato FORTRAN90 do tipo (1X, A5, A22, 1X, A2, 1X, I3, 2X, A1, I2, 2X, A1, I3, 1X, I2, 2X, I4), onde cada variável representa um número de posição. A escala de simulação tem o tamanho de 5 km com uma resolução de 90m.

O WRF é um código redesenhado para uma grade de escala que pode variar a resolução de 1 a 10 km destinados a previsão do tempo operacional, a previsão do clima regional, qualidade do ar, simulação e estudos dinâmicos [16].

Os modelos de mesoescala usados na previsão do tempo são usados para simular o campo horizontal do vento numa área extensa e assim observar quais são as zonas com maior recurso eólico [21].

O sistema de equações usadas são as soluções Eulerianas para equações compressíveis e não hidrostáticas. Quando conservativa para variáveis e escalares e as suas coordenadas verticais de pressão hidrostática seguem o terreno, onde o topo do modelo é representado por uma superfície de pressão constante. As variáveis de prognóstico são a massa da coluna de ar seco, velocidades (U, V e W), temperatura potencial e altura do geopotencial. As variáveis não conservativas, tais como temperatura, pressão e densidade, são diagnosticadas a partir das variáveis de prognóstico [21].

O local de análise e simulação no WRF é calculado em uma malha de cálculo tridimensional. As variáveis de massa são definidas no centro da malha e as componentes do vento nos limites da malha. Para o cálculo da velocidade do vento as variáveis U e V são interpoladas para o centro da malha. A defasagem na malha é solucionada com a discretização espacial do tipo Arakawa-C tanto horizontal como vertical [21].

A função do WRF Pre-processing system (WPS) é fundamental na localização e resolução da área determinada para a simulação, na interpolação e gerar mapas estatísticos e interpolar as condições de fronteira, sendo estes procedimentos dependentes dos módulos inclusos como o geogrid.exe, ungrid.exe e metgrid.exe [21].

O modelo WRF possui muitas opções físicas e muitos esquemas que provêm de outros anteriores como o modelo Climático *Community Atmosphere Model* (CAM), de previsão do tempo em grande escala (ETA) ou o modelo em mesoescala criado pela PSU/NCAR (*Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research*) o MM5 [21].

Os dados meteorológicos são configurados para o programa WRF que trabalha em mesoescala com resolução de 5 km.

As informações utilizadas para a simulação estão armazenadas num banco de dados meteorológicos da *National Center for Atmospheric Research* (NCAR). O mapeamento é realizado por *softwares* de simulação numérica a partir de modelos digitais de terreno (relevo e rugosidade) ou de reanálises (dados atmosféricos em base global) – NCAR / NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) [15].

O desenvolvimento de complementos para o WRF permitirá uma nova geração do modelo de previsão em mesoescala com um sistema de armazenamento, que amplia na compreensão e previsão de sistemas de precipitação de mesoescala, assim promovendo aproximação entre as comunidades de pesquisa e previsão operacional [16].

O WRF é um modelo numérico que necessita de computadores com tecnologia e grande capacidade operacional para executar e produzir os arquivos necessários que determinam o campo de vento. Portanto, o WRF com sua linguagem em FORTRAN organiza em tabelas os valores dos dados meteorológicos e produz o arquivo 3d.dat que finaliza o arquivo para a geração do modelo diagnóstico do campo de vento.

## **2.4 CALMET**

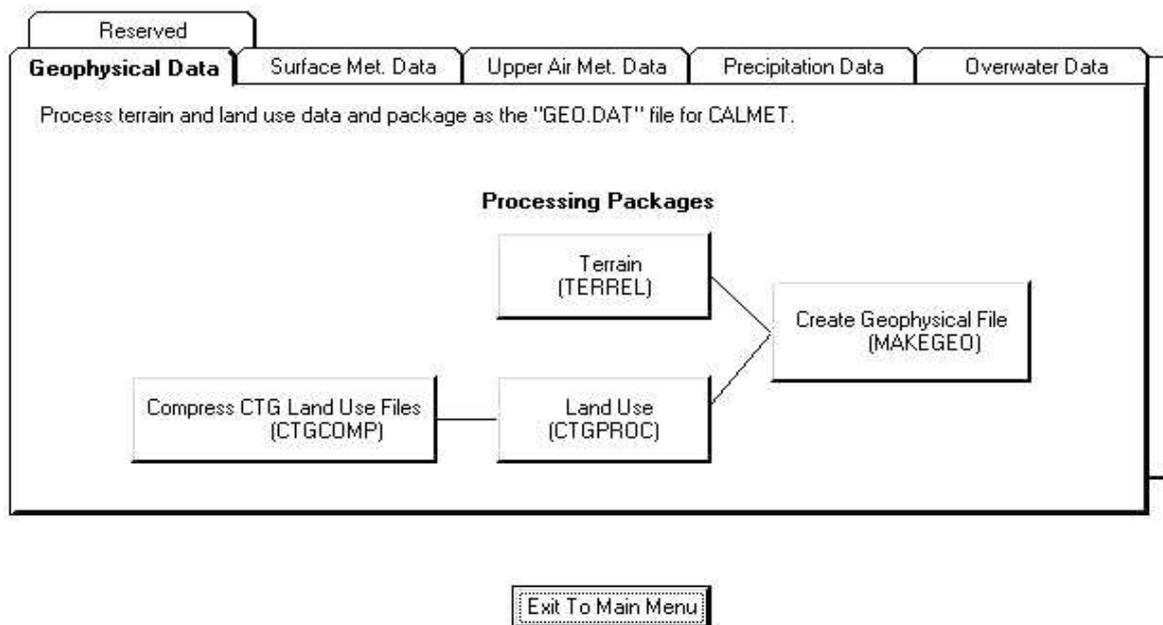
A configuração dos dados no CALMET passará por três etapas: os dados pré-processados, a simulação dos dados e os dados pós-processamento.

A Seguir, serão descritos os passos necessários para a configuração do software CALMET.

### 2.4.1. Configuração dos dados Geofísicos (pré-processamento)

A obtenção dos dados geofísicos requer parâmetros configurados pelos pré-processadores: TERREL, CTGPROC e MAKEGEO, conforme fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma de dados Geofísicos.



Fonte: Ferreira, 2012.

Na simulação dos dados pré-processados pode ser utilizada o domínio de 100 X 100 km ou menor, com espaçamento de 1 km ou menor no eixo horizontal, conforme Figura 5.

A resolução utilizada na configuração do TERREL que define o espaço no campo horizontal é determinada pelos dados de topografia. A zona UTM (*Universal Transverse Mercator*) para a metade da região sul é a 21 Sul (S) a qual podemos ver na figura 6 [57], sendo adequada a CTOPO30-USGS (United States Geological Survey), com resolução aproximada de 900m.

Cada etapa da inclusão dos dados dos pré-processados necessitam algumas informações características como: os pontos de domínios, número de células na grade horizontal e espaçamento, a zona UTM, hemisfério, o código da

região dentre outros. No final do processo dos dados geofísicos é gerado o arquivo (GEO.DAT) com as informações de uso e cobertura do terreno.

Figura 5 – Definindo dados Geofísicos.

The screenshot shows a software dialog box titled "Meteorological grid information". At the top, there is a button labeled "Load parameters from an existing grid". The dialog is divided into several sections:

- Grid type:** Two radio buttons are present. The first is selected and labeled "Cartesian, reference in Lower Left CORNER (1,1) --REQUIRED FOR CALMET--". The second is labeled "Other Grid Options".
- Reference Point Defining Domain Location:** Two input fields. The first is labeled "X (Easting):" with the value "567" and "km" next to it. The second is labeled "Y (Northing):" with the value "6655" and "km" next to it.
- Cartesian horizontal definition:** Three input fields. The first is labeled "No. X Grid cells:" with the value "100". The second is labeled "No. Y Grid cells:" with the value "100". The third is labeled "Grid spacing (km)" with the value "1".
- Projection:** A dropdown menu is set to "Universal Transverse Mercator (UTM)". Below it, "UTM Zone:" is set to "21" and "Hemisphere:" is set to "S".
- Datum-Region:** A section with the instruction "Type DATUM code on the right or define it using the menus below:". A dropdown menu is set to "WGS-84". Below this are three more dropdown menus labeled "Continent/Ocean:", "Ellipsoid/Geoid", and "Region", all of which are currently empty.

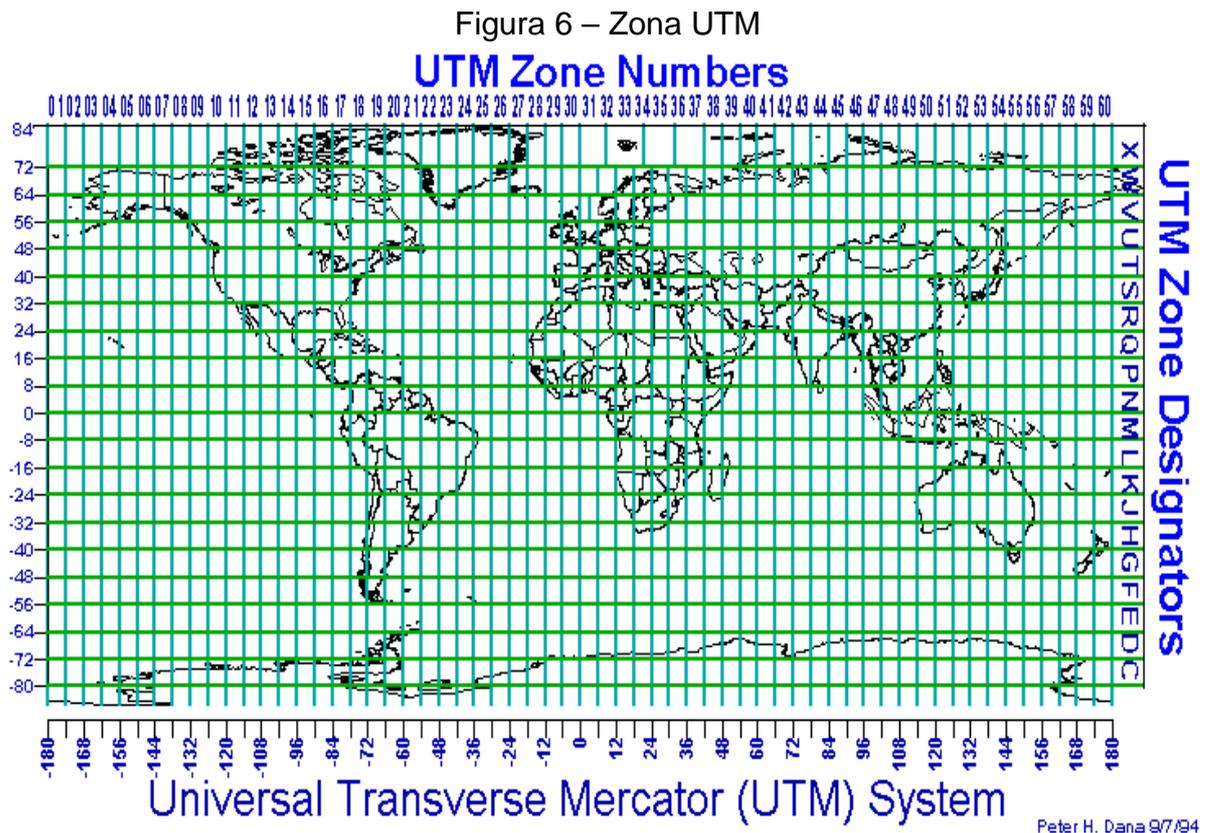
At the bottom of the dialog, there is a checked checkbox labeled "Error checker enabled", and two buttons labeled "Previous" and "Next".

Fonte: Ferreira, 2012.

O TERREL é responsável pela extração e tratamento de dados de elevação de terreno englobando os formatos do Modelo de Elevação Digital (DEM), dados digitais de terreno ARM3, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) entre outros, com resolução espacial de até 30 metros. Os dados são selecionados a partir das características do domínio escolhido pelo usuário, com a dimensão em km, resolução espacial na grade, número de células, coordenadas em UTM. Os arquivos de resultados gerados após processamento serão lidos pelo pré-processador CTGPROC [14].

CTGPROC executa a extração e processamento dos dados de uso do solo, no formato *Composite Theme Grid* (CTG) e *Land Cover* (LULC) da USGS, com resolução para 900m. O programa organiza os dados necessários em uma grade regular baseado nas informações definidas no TERREL. Os arquivos gerados serão utilizados pelo MAKEGEO [14].

O MAKEGEO é um pré-processador com a função de calcular as categorias de uso do solo e os parâmetros superficiais para cada célula da grade, utilizando os arquivos gerados no TERREL (terrel.dat) e no CTGPROC (lu.dat). Como resultado final, o arquivo GEO.DAT, que contem todos os dados necessários e no formato adequado para ser utilizado pelo CALMET [14].



Fonte: Universidade do Colorado, EUA.

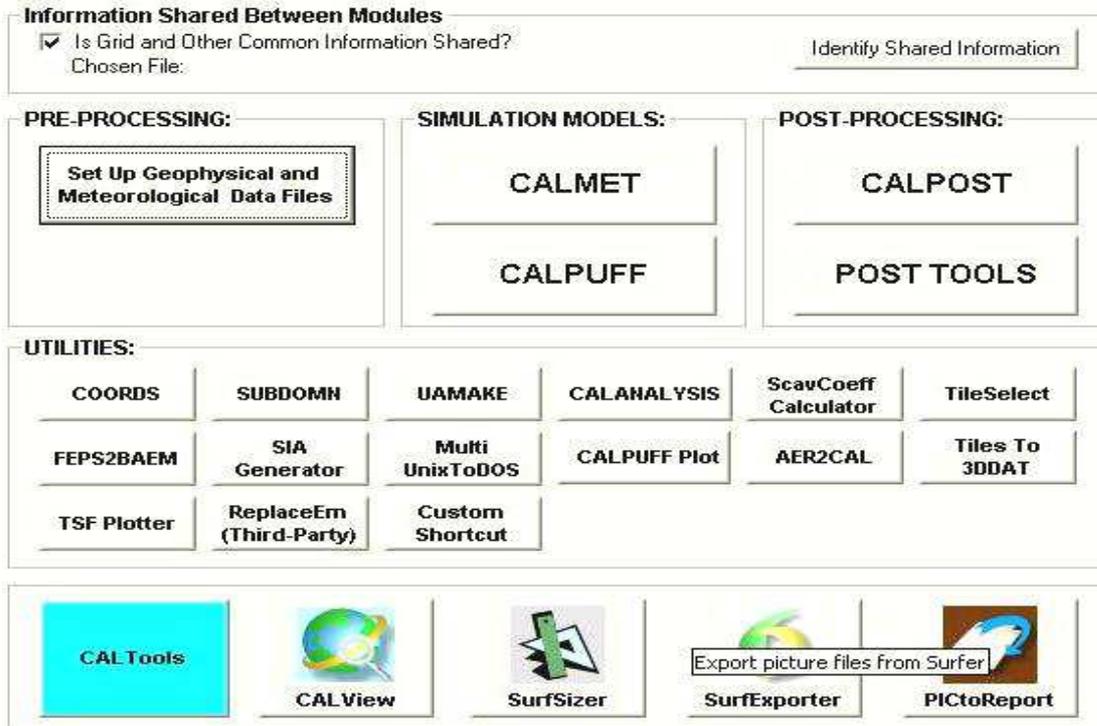
#### 2.4.2. Simulando no CALMET (simulação)

A simulação no modelo diagnóstico CALMET começa com a inclusão dos dados geofísicos e meteorológicos.

A Figura 7 mostra a tela inicial, a qual habilita a inclusão das informações. Após inserir os dados no módulo CALMET tem-se o arquivo gerado com a extensão CALMET.DAT.

O simulador do modelo CALMET é responsável pela assimilação de todas as informações geradas pelos pré-processadores. Nesta fase, a interpolações são acionadas para gerar o campo de vento inicial, bem como as parametrizações que computam os efeitos topográficos sobre o escoamento [14].

Figura 7 - Tela inicial do CALMET



Fonte: Ferreira, 2012.

### 2.4.3. Pós-processador PRTMET (pós-processamento)

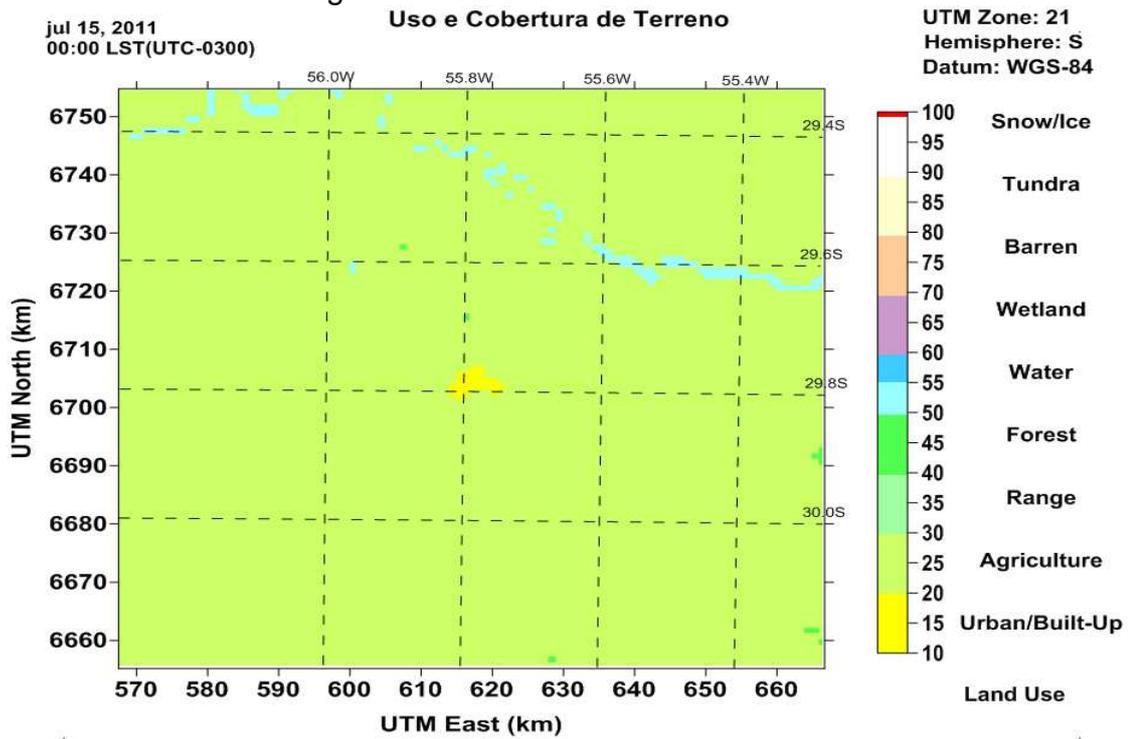
O programa de pós-processamento meteorológico (PRTMET) analisa os arquivos com dados de saída produzidos pelo CALMET. Ele permite analisar e interpretar os níveis do campo de vento, dados de terreno, comportamento da velocidade e direção do vento para o dia e horário determinado pelo usuário.

As imagens produzidas no pós-processamento para uso e cobertura do terreno conforme Figura 8, o modelo de terreno e das linhas do campo de vento pode analisar pela Figura 9 e na figura 10 a velocidade do vento.

A área de simulação do referente à figura 8 é de 100 km por 100 km. Conforme a legenda pode identificar a área urbana, florestas, áreas de agricultura, água e outros pontos referentes à grade.

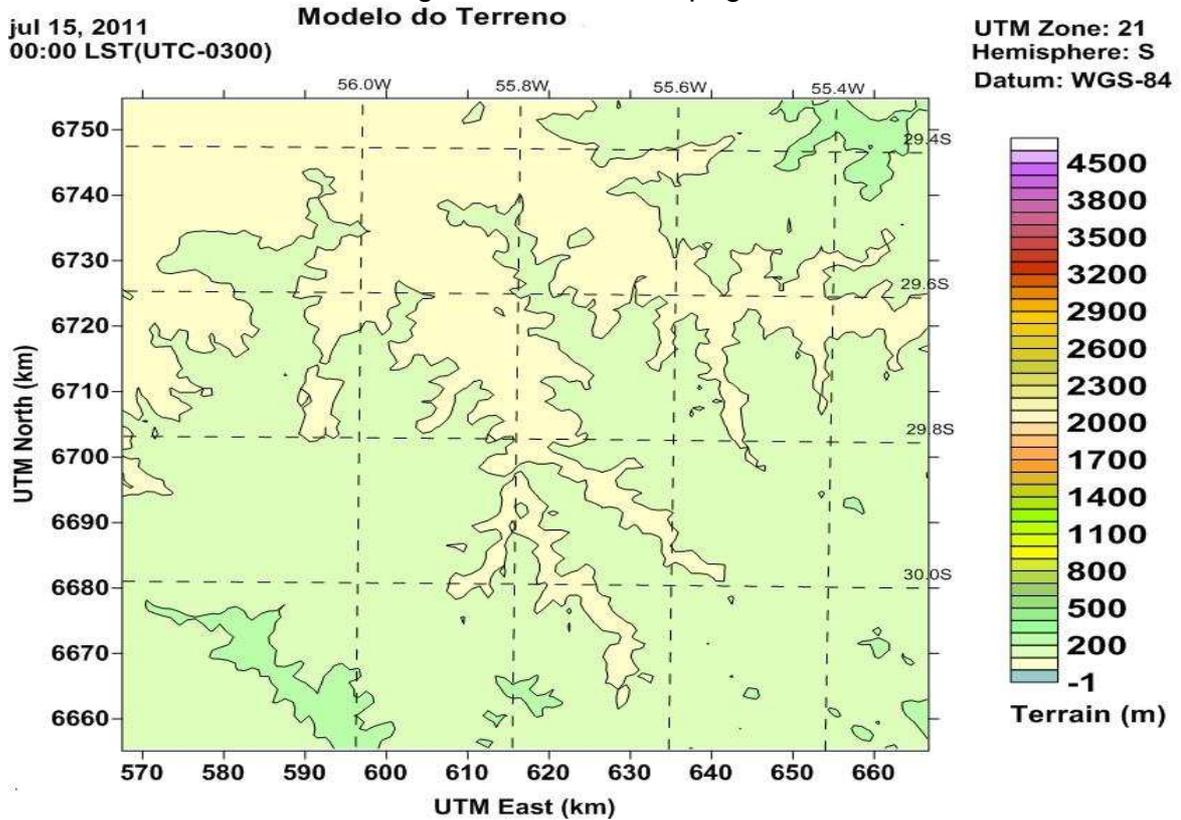
Na Figura 9 abaixo temos o modelo do terreno ou também podemos chamar de modelo topográfico, esta apresenta a elevação em relação a nível do mar, sendo possível identificar locais com obstáculos que podem interferir na região do campo de vento. O arquivo que o CALMET usa para gerar este mapa do terreno é o GTOPO30.

Figura 8 - Uso e cobertura do terreno



Fonte: Ferreira, 2012.

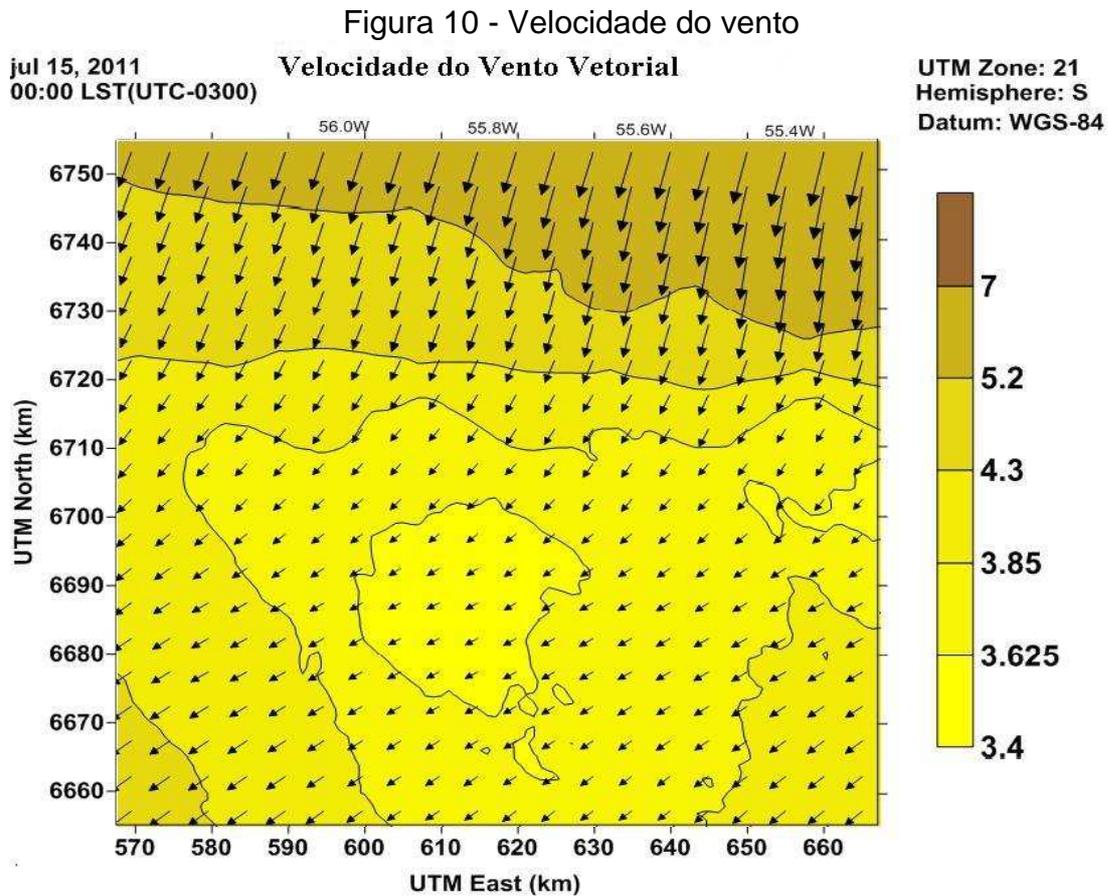
Figura 9 - Modelo Topográfico



Fonte: Ferreira, 2012.

A figura 10 estima a velocidade de vento na área definida para o estudo, sendo na área escura a velocidade de 7m/s variando até mais clara de 3,4 m/s. As linhas de vento são determinadas pela sua intensidade conforme o tamanho do vetor.

A Figura 11 mostra o valor da coluna x que corresponde aos valores na horizontal (direção norte-sul) e o valor da coluna y vertical na direção leste- oeste e z o valor da velocidade no ponto.



Fonte: Ferreira, 2012.

Figura 11– Valores de X, Y e Z

**Coordenadas X e Y no mapa**

X=630.8397, Y=6744.867, Z=5.621472

X=648.0229, Y=6737.361, Z=5.859635

Fonte: Ferreira, 2012.

Com o valor da velocidade do vento (z) no ponto (x, y), serão elaboradas tabelas com as velocidades de cada ponto escolhido hora a hora, para o período de curto prazo determinado, o que gerarão posteriormente os gráficos para estimar a energia gerada. Outra maneira de obter a velocidade do vento é extrair o relatório informando o valor da linha e coluna e como resultado tem-se o valor para todos os horários simulados, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Relatório pontual da velocidade do vento

Timeseries at CALMET gridpoint ( 40 , 41 )

| YEAR | MONTH | DAY | HOUR | SEC | YEAR | MONTH | DAY | HOUR | SEC  | WS<br>(m/s) | WD<br>(deg) | WS<br>(m/s) | WD<br>(deg) |
|------|-------|-----|------|-----|------|-------|-----|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|      |       |     |      |     |      |       |     |      |      | Layer 1     | Layer 1     | Layer 5     | Layer 5     |
| 2012 | 1     | 17  | 0    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 0    | 3600 | 4.91        | 95.66       | 8.40        | 88.61       |
| 2012 | 1     | 17  | 1    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 1    | 3600 | 5.07        | 83.35       | 8.77        | 76.35       |
| 2012 | 1     | 17  | 2    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 2    | 3600 | 4.98        | 78.43       | 8.53        | 72.64       |
| 2012 | 1     | 17  | 3    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 3    | 3600 | 4.75        | 76.50       | 8.14        | 70.82       |
| 2012 | 1     | 17  | 4    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 4    | 3600 | 4.45        | 76.35       | 7.79        | 70.03       |
| 2012 | 1     | 17  | 5    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 5    | 3600 | 4.16        | 76.56       | 7.63        | 68.97       |
| 2012 | 1     | 17  | 6    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 6    | 3600 | 2.66        | 82.74       | 6.57        | 70.17       |
| 2012 | 1     | 17  | 7    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 7    | 3600 | 3.11        | 81.42       | 4.35        | 78.00       |
| 2012 | 1     | 17  | 8    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 8    | 3600 | 2.68        | 88.45       | 3.53        | 86.84       |

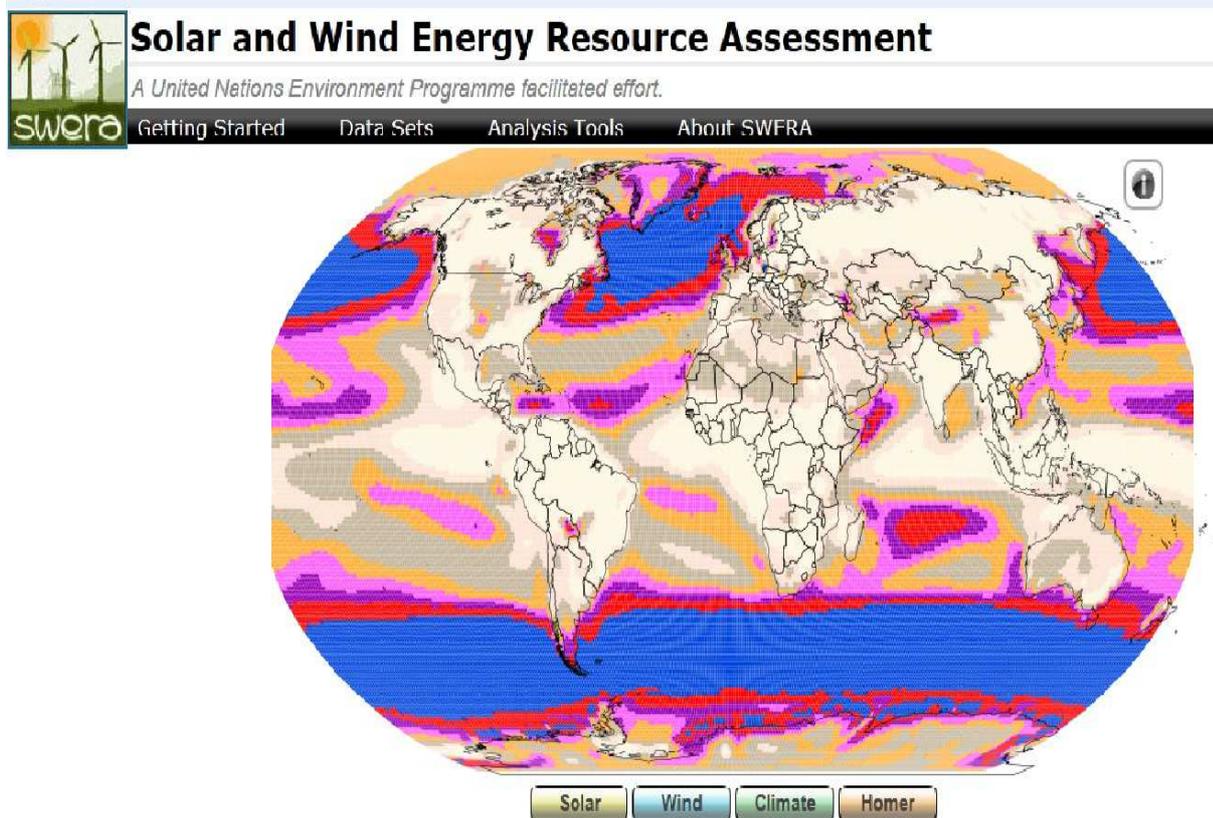
Fonte: Ferreira, 2012.

## 2.5 SWERA – Avaliação do recurso energético solar e eólico

O simulador SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) permite que o usuário avalie as fontes de energias renováveis solar e eólica a partir do mapa geográfico, informando cidade, estado, país ou as coordenadas geográficas do local, conforme Figura 13 [56].

O swera utiliza banco de dados de vento da NASA (National Aeronautics and Space Administration), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) entre outros institutos de pesquisa.

Figura 13 - SWERA



Fonte: SWERA, 2012.

Após o preenchimento das informações são fornecidos os dados da velocidade média anual e mensal do local determinado.

Este simulador é livre, disponível para acesso a rede no site <<http://en.openei.org/apps/SWERA/>>.

## 2.6 ANAREDE – Análise e avaliação do impacto de energia na malha elétrica

A rede elétrica necessita de monitoramento sobre o fluxo de carga elétrica gerada pelas usinas que compõem o sistema interligado. Para isto, são desenvolvidos programas que usam técnicas e métodos para analisar este comportamento, avaliar as possibilidades e auxiliar no momento da operação e planejamento de sistemas elétricos de potência buscando a melhor solução para reduzir possíveis variações no fluxo de potência ativa e reativa, tensões nas barras. Devido aos avanços computacionais, houve uma melhora nos sistemas elétricos, na

operação e planejamento com a utilização de técnicas numéricas baseados nos seguintes métodos numéricos computacionais [49 - 50].

O método de continuação que busca resolver o problema de fluxo de potência convencional e o de análise modal que é associado ao fenômeno de estabilidade de tensão do sistema [51]. É observado que para sistemas de grande porte, o algoritmo de múltiplos polos dominantes determina um número pré-determinado de autovalores dominantes no momento da transferência a partir de dados estimados inicialmente.

Outro programa, conforme Canossa [49], que permite realizar a programação da interface gráfica, do fluxo de potência e do fluxo de carga continuado é o MATLAB/Simulink.

Foi desenvolvida uma ferramenta computacional didática chama PF Analyst com a função de analisar o fluxo de potência, sendo demonstrada grande eficiência para medições de pequeno porte, com menos de 30 barras [52].

Outras ferramentas para aplicação no sistema elétrico de potência são MATPOWER que utiliza a base do Matlab desenvolvido pelo *Power Systems Engineering Reserarch Center* (PSERC), o PowerWorld, PSAT [52]. Foi desenvolvido pelo CEPEL o NH2 (Análise da Confiabilidade de Geração e Transmissão), FLUPOT (Fluxo de potência ótimo), ANAFAS (programa de análises de faltas simultâneas), ANATEM (Programa de análise de transitórios eletromecânicos) e PACDYN (estabilidade e pequenas perturbações) [53].

O conjunto de aplicações computacionais chamado Programa de Análise de Redes GRF (ANAREDE) é utilizado pela maioria das concessionárias de energia elétrica no Brasil e nos cursos de engenharia elétrica no sentido de ensino e pesquisa [53]. O ANAREDE é um software de uso profissional que permite ao operador realizar a análise do fluxo de potência, o equivalente de redes, análise de contingências, a análise de sensibilidade de tensão, despacho de potência ativa, fluxo de potência continuado, com a possibilidade de desenho e visualização da rede [22], [24]. Ainda mais, nas simulações podem ser utilizadas as funções para análise e investigação do fluxo de potência pelo Método de Newton; opções de flat-start, redução de passo; de controle de *tap* do transformador, tensão em barra remota, limite de tensão, limite geração reativa; monitoramento de relatórios de monitoração e convergência [22].

O ANAREDE tem como objetivo o cálculo do estado operativo da rede elétrica para definidas condições de carga, geração, topologia e determinadas restrições operacionais, assim consegue as condições iniciais para o Método de Newton que podem ser ainda estabelecidas pelo Método Desacoplado Rápido [22]. De um ponto de vista mais específico, o objetivo é manter o módulo das tensões das barras o mais próximo possível de seu valor nominal, reduzindo desta forma a corrente nas linhas de transmissão e, portanto, reduzindo as perdas, contribuindo para a melhora da margem de segurança de tensão [24].

Como o sistema elétrico brasileiro é composto por usinas de diversas faixas de potência e baseadas em uma matriz energética diversificada, em que as grandes centrais convivem de modo complementar com pequenos geradores, conectados em geral nos níveis de tensão de distribuição é inerente ao processo métodos eficaz no momento do planejamento e operação [23].

O sistema interligado é vantajoso quanto a ganhos energéticos, ou seja, uma energia mais estável e de qualidade conseguida a partir da coordenação das operações que compõem o sistema, mas em função do aumento das interligações as operações tornam-se mais complexa a levando a ocorrência de “*blackouts*” na rede, a qual esta ligada diretamente a um planejamento detalhado da operação compatível com os quesitos qualidade e segurança [24].

É estipulado três princípios para a análise do fluxo de potência: segurança, planejamento e operação, simulação de sistemas elétricos [49]. A segurança é evitar que o sistema trabalhe no limite de operação e identificar prováveis problemas e até mesmo a perda na transmissão. O planejamento e operação influenciam no processo da avaliação de novas topologias do sistema elétrico para atender a demandas futuras com a redução de perdas. A simulação do sistema tem a função de analisar os equipamentos em funcionamento e assim realizar uma manutenção de forma preditiva, preventiva e corretiva.

A eficiência de um sistema depende do planejamento baseado nos requisitos técnicos e nunca seja contra ou de pouca importância à proteção e controle [55].

Seguindo todas as normas e procedimentos estipulados para funcionamento do sistema interligado tem-se uma excelente qualidade no serviço de fornecimento de energia elétrica.

## 2.7 O ONS e os Procedimentos de rede

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) realiza a coordenação e controle da operação da geração e da transmissão de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) [11]. O ONS é uma associação civil de direito privado, sem fins lucrativos, a qual esta autorizada a executar suas atividades no ambiente do SIN e relacionar-se de forma direta ou indiretamente com os agentes geradores de energia. A Lei de nº 9648 de 27 de maio de 1998 e pelo Decreto nº 2655 de 2 de julho de 1998, permite sua atuação a partir da Resolução ANEEL nº 351 de 11 de novembro de 1998 [11].

A ANEEL é uma autarquia que visa regulamentar e fiscalizar a produção, a transmissão, a distribuição e comercialização da energia elétrica de acordo com a política e diretrizes do governo federal [11].

As fontes de geração de energia que compõem o SIN é o sistema hidrotérmico, sendo a maior participação das usinas hidroelétricas, onde a energia gerada é liberada na malha de transmissão que abrange o território nacional [11].

O SIN é interligado por regiões que compõem o sistema: Sul – Sudeste/Centro-oeste; Acre/Rondônia – Sudeste/Centro-Oeste; Norte – Sudeste/Centro-Oeste; Nordeste – Sudeste/Centro-Oeste; Norte – Nordeste [11], [54]. A figura 14 mostra a interligação da malha energética controlada pelo SIN na região Sul e Sudeste.

O planejamento e programação da operação, estudos, normas e procedimentos técnico-operacionais, da coordenação, supervisão e controle da rede de operação do sistema eletroenergético entre outros é princípio básico da ONS, sendo necessária a aprovação da ANEEL [11].

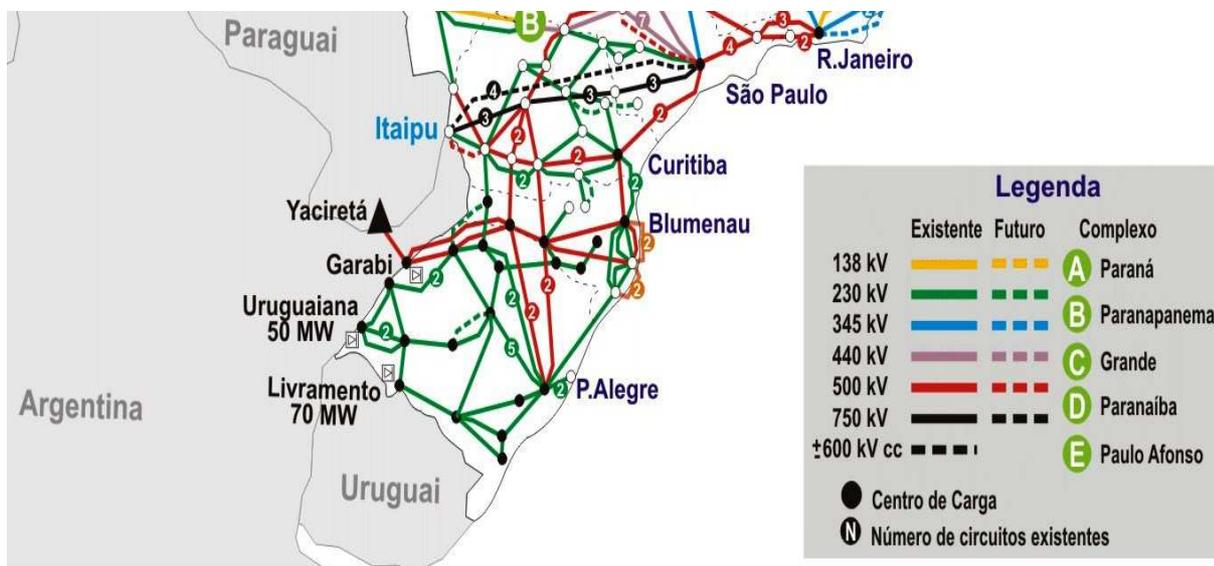
O controle do sistema é realizado a partir do planejamento plurianual da operação energética, este é revisado ou alterado em momentos de relevância como: alteração da demanda de carga ou oferta, término de obras de transmissão ou geração, leilões e outros [11]. A partir deste é estabelecido à sistemática e prazos para a programação mensal da operação energética (PMO).

O PMO define a metodologia e prazo para cumprir as diretrizes energéticas em curto prazo da operação coordenado do SIN [11]. Esta contém informações sobre o despacho da geração das usinas hidroelétricas e termoelétricas, estimativa

do despacho de geração, disponibilidade de geração média semanal, níveis de armazenamento dos reservatórios e etc [11].

O procedimento que trata da Programação Diária da Operação Eletroenergética (PDE) tem o propósito de otimizar a operação do Sistema Interligado Nacional (SIN) determinando a geração hidráulica, térmica e a troca de energia entre os subsistemas e os agentes de geração obedecendo a um intervalo de 30(trinta) minutos para informar a previsão de carga integralizada do SIN, baseado na política de operação do PMO [11].

Figura 14 - Malha de interligação do SIN



Fonte: ONS, 2012.

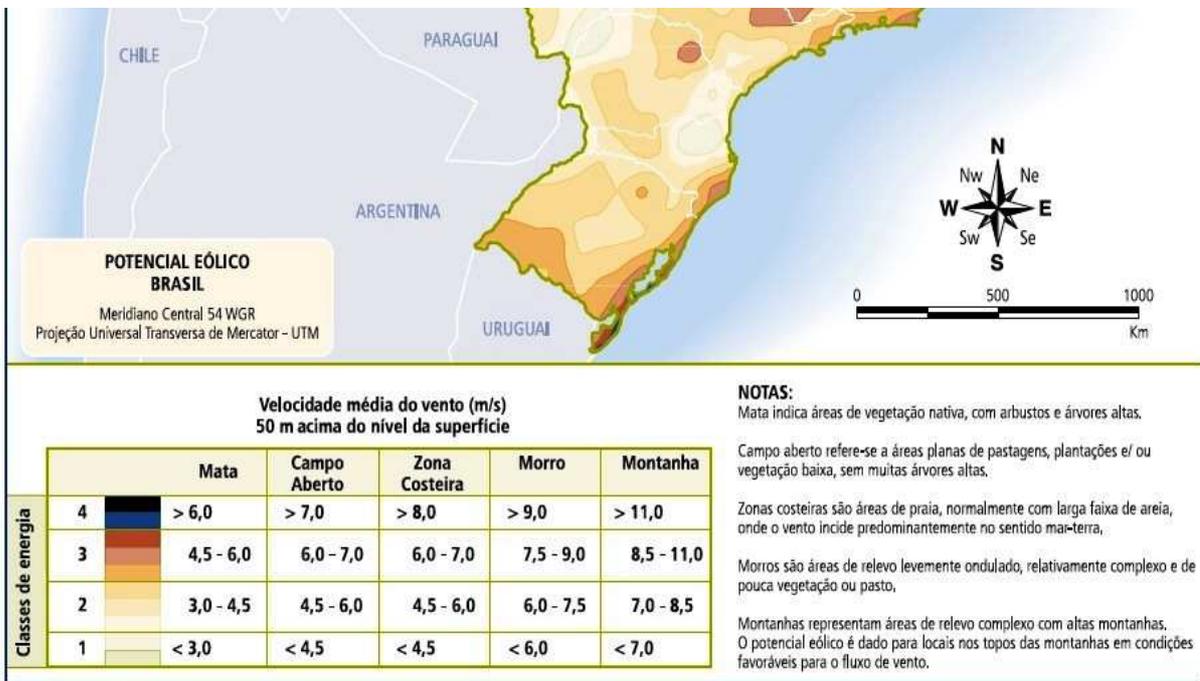
Dados como previsões de aflúncias e meteorológicas, restrições para controle de cheias, requisitos de uso múltiplo da água, restrições ambientais, cronogramas de manutenção, de geração e transmissão, as restrições operativas das unidades geradoras, as inflexibilidades das usinas, as restrições operativas do sistema de transmissão e diretrizes para a operação elétrica do SIN são usadas na composição do programa diário da operação eletroenergética (PDE) [11].

Quanto à energia eólica o agente gerador tem a obrigação de informar através do Programa Diário de Produção (PDP) o valor da geração de energia. O ONS mantém o controle da quantidade de energia eólica gerada, manutenções e restrições operativas, mas esta não é incluída no PMO e PDE.

Como o percentual da geração eólica ainda é pequeno e pela falta da estimativa mais aproximada do real e confiável, pode ser o motivo para não incluir na programação, pois através de dados apresentados no atlas eólico brasileiro onde estima-se a velocidade média anual ou a velocidade média por estação do ano não é possível ter confiabilidade na energia gerada.

O potencial eólico brasileiro demonstra que, além do litoral, a região da fronteira com o Uruguai e Argentina possui um elevado índice de vento e em alguns pontos como morros ou montanhas, a velocidade é acima da média anual de 7 m/s, conforme figura 15 [25].

Figura 15 – Potencial Eólico Brasileiro

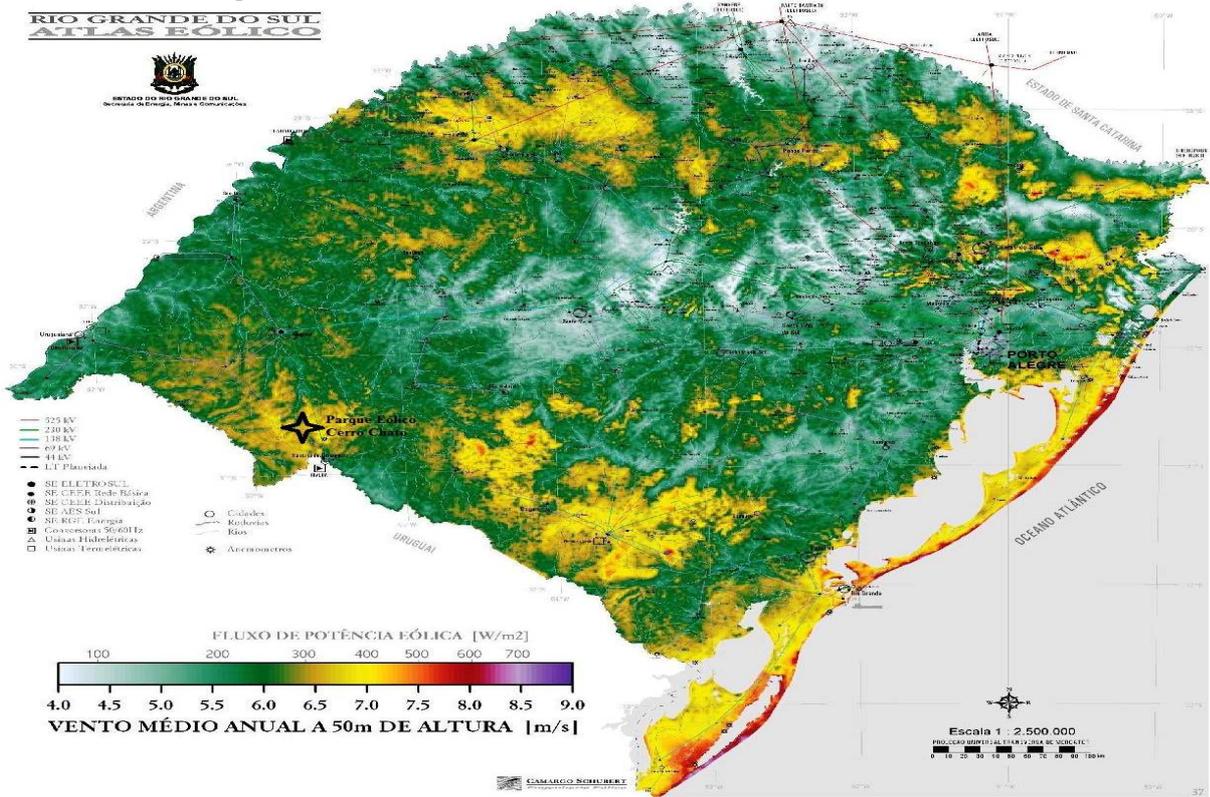


Fonte: Atlas de Energia Elétrica,

O atlas eólico do Rio Grande do Sul a 50m de altura apresenta semelhanças com o potencial eólico do Brasil, conforme apresentado Figura 16. É observado que na região de instalação do Parque Eólico Cerro Chato a velocidade média é aproximadamente a mesma. Na referência [35] que o potencial eólico estimado a 50m de altura atinge 15.840 MW.

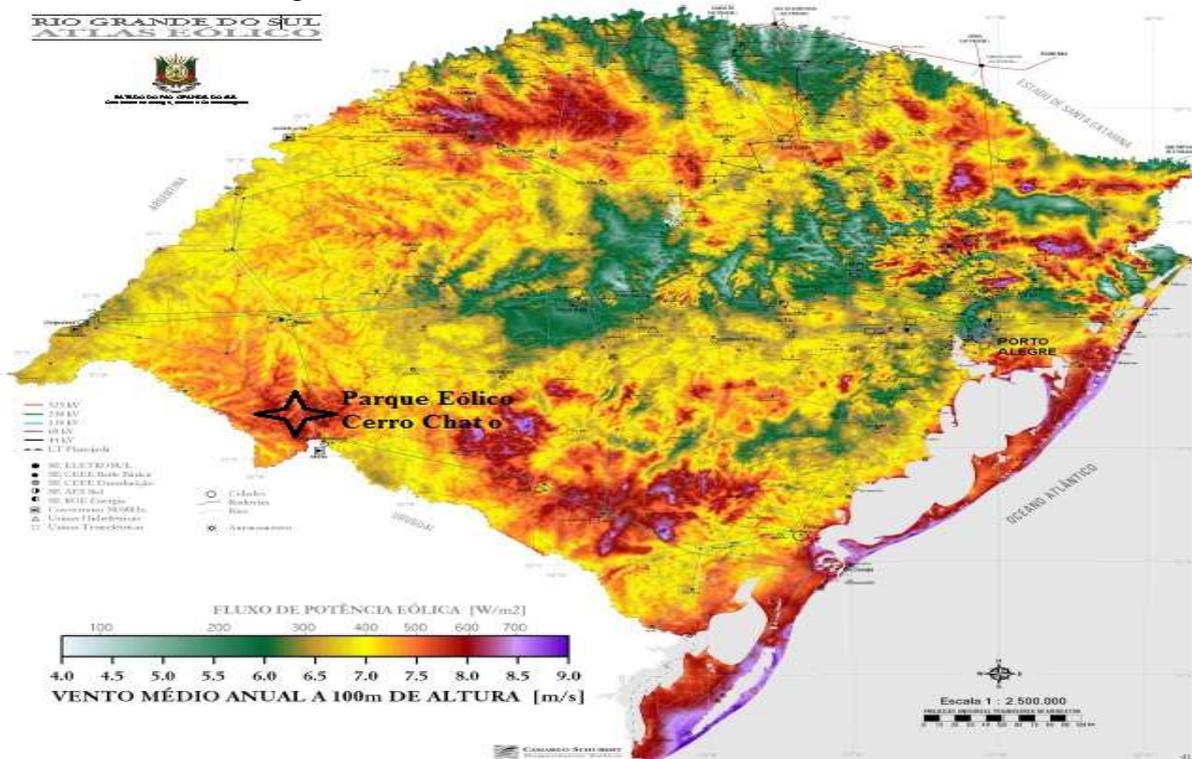
Na região da fronteira o vento possui uma média anual de vento aproximadamente de 7 m/s a 100m de altura, por este mapa o local onde esta instalado o parque eólico de cerro chato é de 8 m/s [20], conforme Figura 17.

Figura 16 - Potencial Eólico do Rio Grande do Sul a 50m



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul

Figura 17 – Atlas Eólico do Rio Grande do Sul



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul

### 3 METODOLOGIA

A previsão do vento hoje é um fator de extrema importância para os parques eólicos que estão em funcionamento. Este trabalho busca criar um modelo de previsão do potencial eólico e geração de energia em curto prazo para o planejamento da operação de sistemas elétricos.

A seguir é apresentada a metodologia usada para avaliar dados meteorológicos e geográficos, para aferir o campo de vento na altura do eixo de turbinas eólicas a fim de estimar o fluxo de vento, possibilitando calcular o potencial elétrico instantâneo produzido. Essa estimativa pode ser estendida para vários pontos e horários do dia, a fim de acompanhar a variação de vento ocasionada pelos efeitos climáticos em um parque eólico completo.

Pode-se ver a distribuição dos aerogeradores dentro do Parque Eólico de Cerro Chato na Figura 18.

Figura 18 – Maquete do Parque Eólico de Cerro Chato

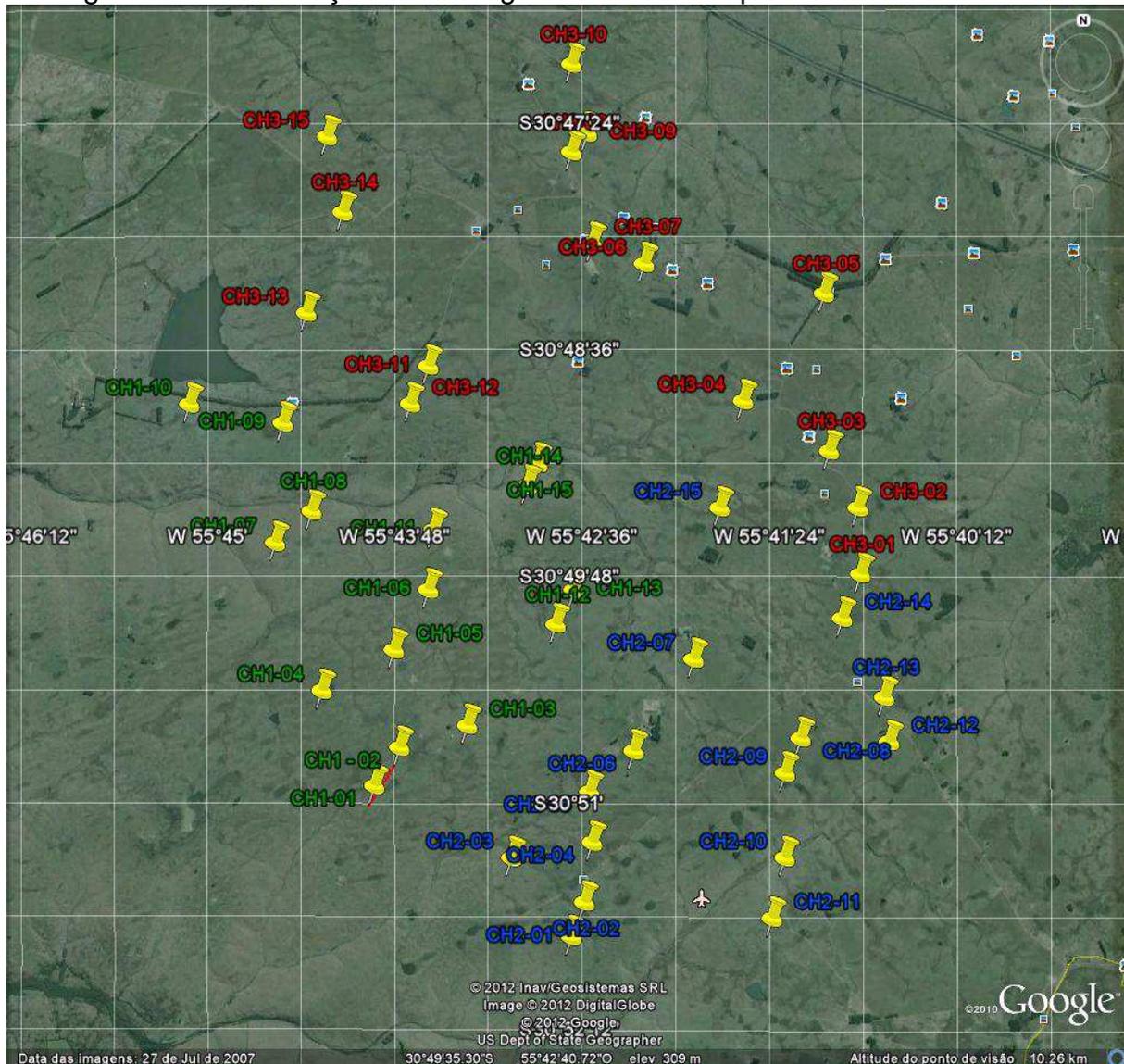


Fonte: Ferreira, 2012.

Cada gerador instalado possui a sua localização em coordenadas geográficas ou UTM, os 45 aerogeradores estão distribuídos na área aproximada de 80 km<sup>2</sup>, após a simulação do campo de vento para o parque eólico serão emitidos relatórios com as velocidades do vento para cada ponto e horário simulado. Na

Figura 19 estão identificados os aerogeradores conforme suas coordenadas geográficas e por parque.

Figura 19 – Localização dos aerogeradores do Parque Eólico de Cerro Chato



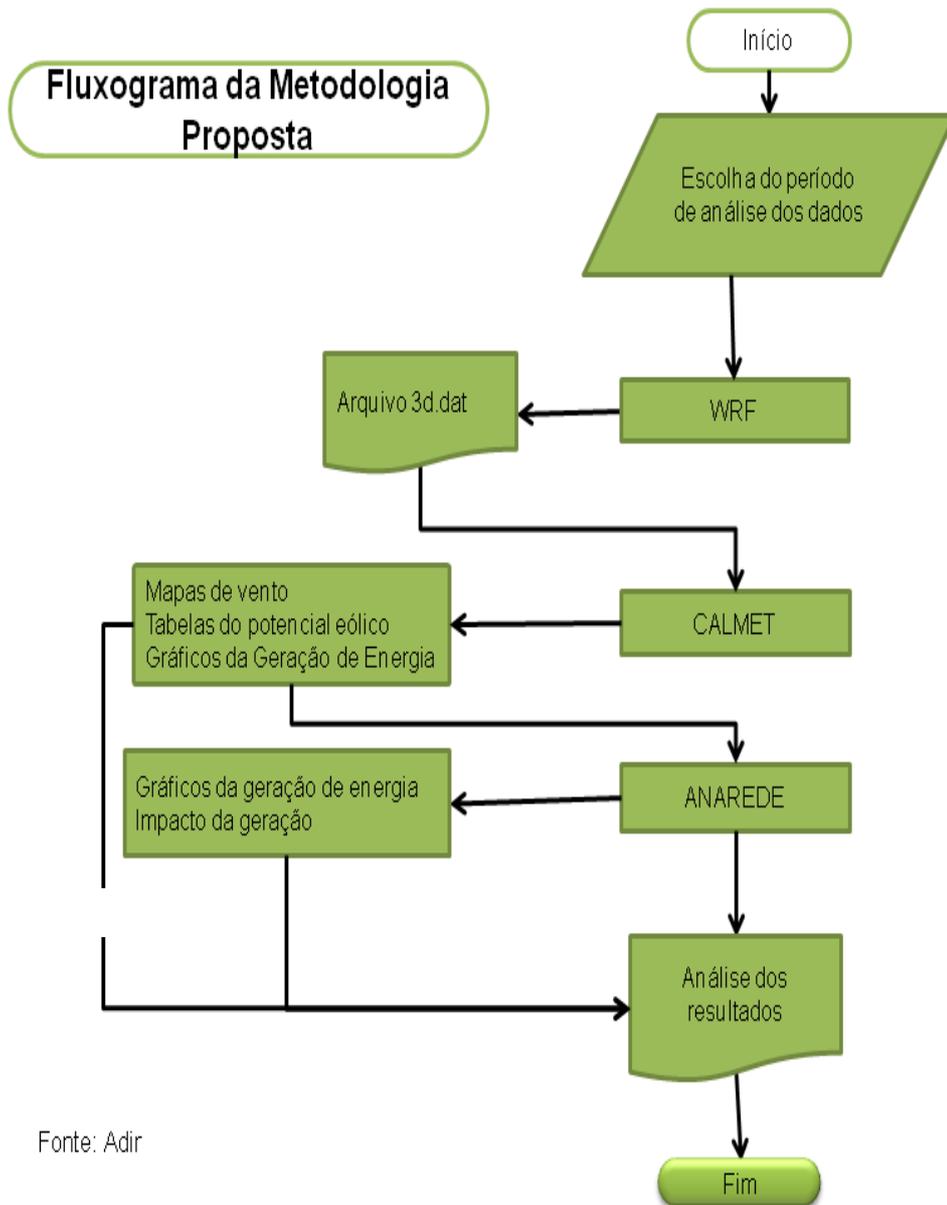
Fonte: Ferreira, 2012, montagem sobre Google Earth.

O complexo eólico está instalado na cidade de Santana do Livramento, no sentido leste, localizado pelas coordenadas geográficas: latitude (S) 30° 50' 43,8" Sul e longitude (O) 55° 41' 16" Oeste.

Existe a divisão deste em três usinas eólicas conforme Figura 19, chamadas por: Cerro Chato I – CH1 (em verde), Cerro Chato II – CH2 (em azul) e Cerro Chato III – CH3 (em vermelho), cada um contém 15 aerogeradores com potencial nominal de 2MW, totalizando a soma de 45 aerogeradores, com capacidade de gerar 90MW.

Para a organização, obtenção dos resultados e atingir o objetivo do trabalho de criar um modelo do potencial eólico, o fluxograma com a metodologia proposta é apresentado na Figura 20.

Figura 20- Fluxograma da Metodologia Proposta



Fonte: FERREIRA, 2012.

O período de análise de dados climatológicos (temperatura, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, precipitação, umidade relativa do ar, ponto de orvalho e nebulosidade) será de 8 h (oito horas) analisando hora a hora o

potencial eólico de cada ponto. Atualmente a proposta da programação de geração diária por usina é elaborada pelos agentes estimando a sua produção [11].

O modelo de mesoescala *Weather Research and Forecast* (WRF) é responsável pela modelagem dos dados meteorológicos da região definida. Este produz o arquivo (3d.dat) que contem informações meteorológicas da situação dos ventos no período escolhido arbitrariamente que serão unidas a outros dados para a simulação do campo de vento.

Para a geração dos mapas do campo de vento o modelo diagnóstico tridimensional *California Meteorological Model* (CALMET), que utiliza os dados do WRF como dados iniciais para prever o campo de vento.

O software ANAREDE é o último a ser empregado com o fim de avaliar o impacto da energia eólica produzida e sua influência quando liberada no sistema elétrico.

### 3.1 Metodologia do WRF

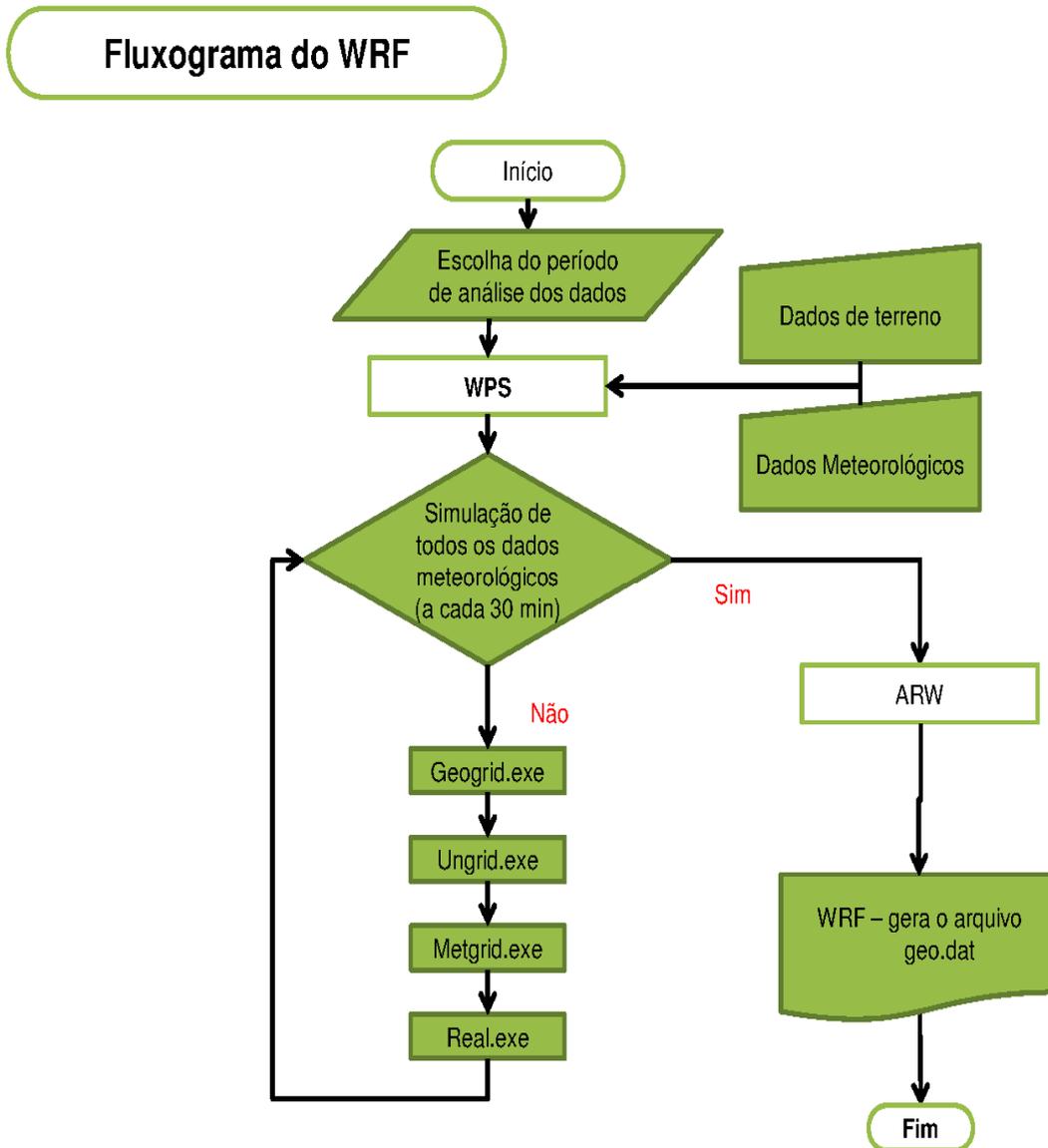
A metodologia usada na modelagem do WRF segue o fluxograma descrito na Figura 21.

A escolha do período de simulação, o tamanho do domínio (inclui o local de simulação, número de pontos na grade, distâncias entre os pontos) no software é o ponto inicial, na modelagem, que requer informações relacionadas ao terreno e dados meteorológicos inseridas em formas pacotes, onde cada informação tem a sua posição. Estas informações são do tipo: dia, mês, ano, elevação, temperatura, humidade, pressão, direção e velocidade do vento, precipitação e etc.

O WPS (*WRF Pre-processing System*) é o responsável em definir a localização e resolução, gerar os mapas de dados estáticos (topografia, solos) e criar as condições iniciais e de fronteiras para o domínio da simulação [21].

O WPS é um conjunto de programas que processa os dados terrestres e meteorológicos e codifica como dados de entrada para o programa *Advanced Research WRF* (ARW).

O Geogrid define o domínio do modelo e cria arquivos estáticos dos dados terrestres. O UNGRIB decodifica os dados, o METGRID utiliza os dados meteorológicos na interpolação para o domínio do modelo e REAL que é o programa de inicialização para casos reais [21].

Figura 21 - Fluxograma do *Weather Research and Forecast (WRF)*

Fonte: FERREIRA, 2012.

Os dados de saída do WPS fornecem um arquivo 3-dimensional da atmosfera escalonada horizontalmente na grade do modelo a qual é enviado ao ARW que produzira o arquivo 3d.dat.

### 3.2 Metodologia do CALMET

O CALMET contempla um conjunto de modelos conhecido como modelos de consistência de massa, baseados na equação da continuidade, que calculam

campos de vento em uma malha tridimensional, sendo composto por dois módulos: diagnóstico do campo de vento e micrometeorológico [14].

A extração de dados utilizando o CALMET deve seguir o fluxograma do modelo apresentado na Figura 22.

.A primeira etapa é informar os dados de entrada na fase de pré-processamento, sendo a configuração do TERREL e CTGPROC.

Os parâmetros do TERREL definem a área de domínio, o tamanho da área, o espaçamento na grade de simulação, a zona UTM, o hemisfério de simulação, o código de referência do sistema geodésico global e o arquivo com as informações de elevação do terreno, os valores estão na Figura 23.

Figura 22 - Fluxograma do Modelo CALMET

Fluxograma do Modelo Meteorológico Califórnia - CALMET

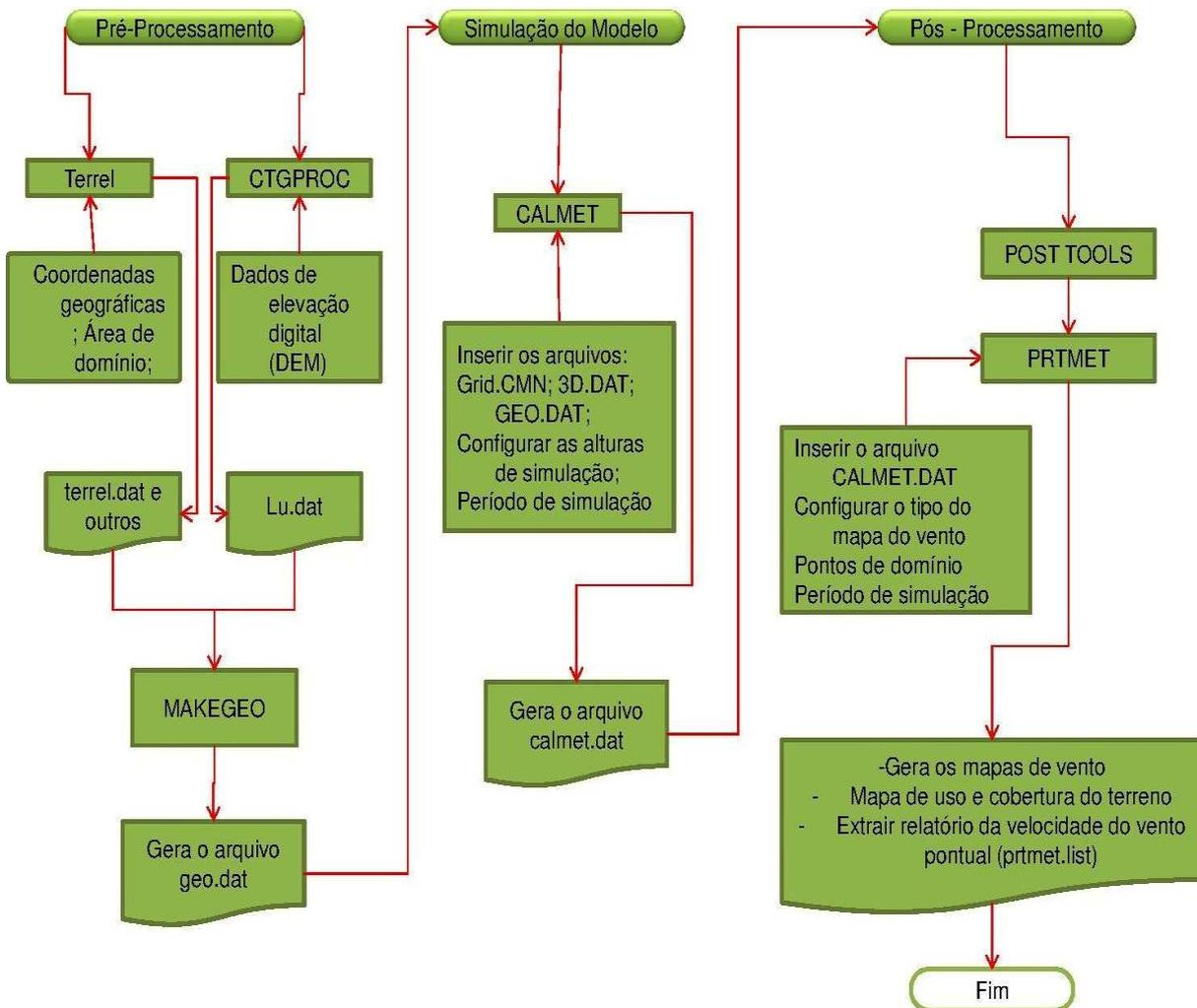


Figura 23 - Dados informados na configuração do TERREL

```

Dados da configuração do TERREL
Grid Info (for output) -----
datum   : WGS-84
pmap    : UTM
Hemisphere : S
UTM zone : 21
xorgk   : 611.088989
yorgk   : 6576.42285
sizek   : 0.250000000
nx      : 100
ny      : 100

Terrain Data Input File Names -----
dbfile  :SRTM3  c:\calpuff\testcase\cerroc~1\s31w055.hgt\s31w055.hgt
dbfile  :SRTM3  c:\calpuff\testcase\cerroc~1\s30w055.hgt\s30w055.hgt
dbfile  :SRTM3  c:\calpuff\testcase\cerroc~1\s30w056.hgt\s30w056.hgt
dbfile  :SRTM3  c:\calpuff\testcase\cerroc~1\s31w056.hgt\s31w056.hgt

The following 1-degree data files are needed:
31s055w.DEM

The following SRTM data files are needed:
s31w056.HGT or .BIL

The following GTOPO30 data files are needed:
W060S10.DEM

```

Fonte: FERREIRA, 2012.

A coordenada em UTM é definida a partir da coordenada geográfica do local, sendo necessário realizar a transformação estabelecendo os pontos do domínio. A área contém 100 células para eixo X e 100 células para eixo Y, com espaçamento na grade de 0,25 km ou 250m, o que corresponde ao domínio de 25 km x 25 km e área total de 625km<sup>2</sup>. Os dados de terreno e de elevação usados estão disponíveis na página da *The Atmospheric Studies at Group (ASG)*.

O CTGPROC usa as informações do arquivo sausgs2 que são as informações de uso e cobertura do terreno (*land use and land cover - LULC*), na Figura 24 podemos ver o arquivo inserido e o arquivo de saída.

Figura 24 – Dados de configuração do CTGPROC

```

Dados do CTGPROC

Output File Names -----
runlst  : ctgproc.lst
ludat   : lu.dat
(LUDAT written in fractional land use format)

-----
PROCESS Information
-----

Land use data file: sausgs~1.img

```

Fonte: FERREIRA, 2012.

O MAKEGEO é a última etapa do pré-processamento, é fornecido os arquivos terrel.dat e lu.dat gerados respectivamente pelo TERREL E CTGPROC para obter como saída o arquivo geo.dat a qual contém os dados para a simulação do local definido conforme Figura 25.

Figura 25- Dados de configuração do MAKEGEO

```

Configuração do MAKEGEO
Application ----
GEO.DAT file

Control File Used ----
makegeo.inp

Input Land Use File ----
ludat : c:\calpuff\testcase\cerroc~1\lu.dat
Input Terrain File ----
terrdat : c:\calpuff\testcase\cerroc~1\terrel.dat

Output GEO.DAT File ----
geodat : geo.dat
Output List File ----
runlst : makegeo.lst
Output Plot Files ----
lugrd : qaluse.grd
tegrd : qaterr.grd
luclr : LUSE.CLR

Grid data (for output) -----
datum : WGS-84
pmap : UTM
Hemisphere : S
UTM zone : 21
xorgn : 611.088989
yorgn : 6576.42285
izone : 21
delx : 0.250000000
nx : 100
ny : 100

Land Use Processing Data ----

Supplemental fractional land use file provided for missing data?: F

Land use category used for missing data: 55
(Must be listed in input categories for valid run)
(May be set to invalid LU to produce only QA files)

```

Fonte: FERREIRA, 2012.

Na etapa da simulação os arquivos gerados no pré-processamento e no WRF geo.dat e 3d.dat são anexados. Em função do fuso horário (UTC-03h00min) a programação é estipulada para que os resultados da velocidade do vento sejam hora a hora. É necessário informar as alturas da célula de simulação a qual o simulador faz uma média entre o par da altura incluída, dividida em 12 (doze) níveis. A altura média de 0m e 20m foi 10m, entre 20m e 30m igual a 25m, de 30m a 40m foi igual 35m e assim sucessivamente. Devido à altura do aerogerador os valores foram inseridos para que a altura média coincidissem com o eixo da turbina, conforme Figura 26.

Tendo elaborado o arquivo CALMET.DAT, é possível passar para a fase do pós-processamento, onde a inserção deste arquivo tem que acessar o POST TOOLS e PRTMET e informar dados como período de simulação (dia e horário), a área de domínio do mapa ou o valor pontual para emitir o relatório da velocidade do vento e principalmente na altura do aerogerador, após é possível simular o programa, conforme Figura 27.

Figura 26 – Dados de Configuração do CALMET

Dados Utilizados na Simulação do CALMET

| <p>Input group no. 1 -- General run parameters</p> <p>Run starting date -- year: 2012<br/> month: 1<br/> day: 17<br/> Julian day: 17<br/> hour: 0<br/> second: 0</p> <p>Run ending date -- year: 2012<br/> month: 1<br/> day: 17<br/> Julian day: 17<br/> hour: 9<br/> second: 0</p> <p>UTC time zone: UTC-0300</p> <p>Run length (hours): 9</p> <p>Input group no. 2 -- Grid parameters</p> <p>No. horizontal grid cells: 100 x 100<br/> Horizontal grid size (m): 250.<br/> Reference coordinates of<br/> SW corner of grid cell (1,1): ( 611088.,6576423.)<br/> N.Latitude SW corner of (1,1): -30.94<br/> W.Longitude SW corner of (1,1): 55.84<br/> Map Projection: UTM<br/> NIMA Datum ID: WGS-84<br/> NIMA Date: 02-21-2003<br/> UTM Hemisphere: S<br/> UTM Zone: 21</p> <p>No. vertical grid cells: 12<br/> Vertical cell face heights (m): 0.0 20.0 30.0 40.0 80.0 140.0 200.0 300.0 600.0 900.0 1500.0 2200.0<br/> 3000.0<br/> Cell center heights (m): 10.0 25.0 35.0 60.0 110.0 170.0 250.0 450.0 750.0 1200.0 1850.0 2600.0</p> | <p style="text-align: center;">INPUT FILES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Default Name</th> <th>Unit No.</th> <th>File Name and Path</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CALMET.INP</td> <td>15</td> <td>C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\CALMET.INP</td> </tr> <tr> <td>GEO.DAT</td> <td>8</td> <td>C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\GEO.DAT</td> </tr> <tr> <td>SURF.DAT</td> <td>10</td> <td>SURF.DAT</td> </tr> <tr> <td>MM51.DAT</td> <td>20</td> <td>C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\3D\3D.DAT</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">OUTPUT FILES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Default Name</th> <th>Unit No.</th> <th>File Name and Path</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CALMET.LST</td> <td>16</td> <td>C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\CALMET.LST</td> </tr> <tr> <td>CALMET.DAT</td> <td>7</td> <td>C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\CALMET.DAT</td> </tr> </tbody> </table> | Default Name                            | Unit No. | File Name and Path | CALMET.INP | 15 | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\CALMET.INP | GEO.DAT | 8 | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\GEO.DAT | SURF.DAT | 10 | SURF.DAT | MM51.DAT | 20 | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\3D\3D.DAT | Default Name | Unit No. | File Name and Path | CALMET.LST | 16 | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\CALMET.LST | CALMET.DAT | 7 | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\CALMET.DAT |
|--|--|---|----------|--------------------|------------|----|---|---------|---|--------------------------------------|----------|----|----------|----------|----|--|--------------|----------|--------------------|------------|----|---|------------|---|---|
| Default Name   | Unit No.   | File Name and Path                      |          |                    |            |    |   |         |   |                                      |          |    |          |          |    |  |              |          |                    |            |    |   |            |   |   |
| CALMET.INP   | 15   | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\CALMET.INP |          |                    |            |    |   |         |   |                                      |          |    |          |          |    |  |              |          |                    |            |    |   |            |   |   |
| GEO.DAT  | 8  | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\GEO.DAT    |          |                    |            |    |   |         |   |                                      |          |    |          |          |    |  |              |          |                    |            |    |   |            |   |   |
| SURF.DAT   | 10   | SURF.DAT                                |          |                    |            |    |   |         |   |                                      |          |    |          |          |    |  |              |          |                    |            |    |   |            |   |   |
| MM51.DAT   | 20   | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\3D\3D.DAT  |          |                    |            |    |   |         |   |                                      |          |    |          |          |    |  |              |          |                    |            |    |   |            |   |   |
| Default Name   | Unit No.   | File Name and Path                      |          |                    |            |    |   |         |   |                                      |          |    |          |          |    |  |              |          |                    |            |    |   |            |   |   |
| CALMET.LST   | 16   | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\CALMET.LST |          |                    |            |    |   |         |   |                                      |          |    |          |          |    |  |              |          |                    |            |    |   |            |   |   |
| CALMET.DAT   | 7  | C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\CALMET.DAT |          |                    |            |    |   |         |   |                                      |          |    |          |          |    |  |              |          |                    |            |    |   |            |   |   |

Fonte: FERREIRA, 2012.

Figura 27 – Simulando dados no PRTMET

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\CALPUFF\CALPRO\MET_AQ>C:
C:\CALPUFF\CALPRO\MET_AQ>cd "C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1\"
C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1>"C:\CALPUFF\CALPRO\PRTMET.EXE" prtmnet.inp
SETUP PHASE
COMPUTATIONAL PHASE
TERMINATION PHASE
C:\CALPUFF\TESTCASE\CERROC~1>pause
Pressione qualquer tecla para continuar. . . _

```

Fonte: FERREIRA, 2012.

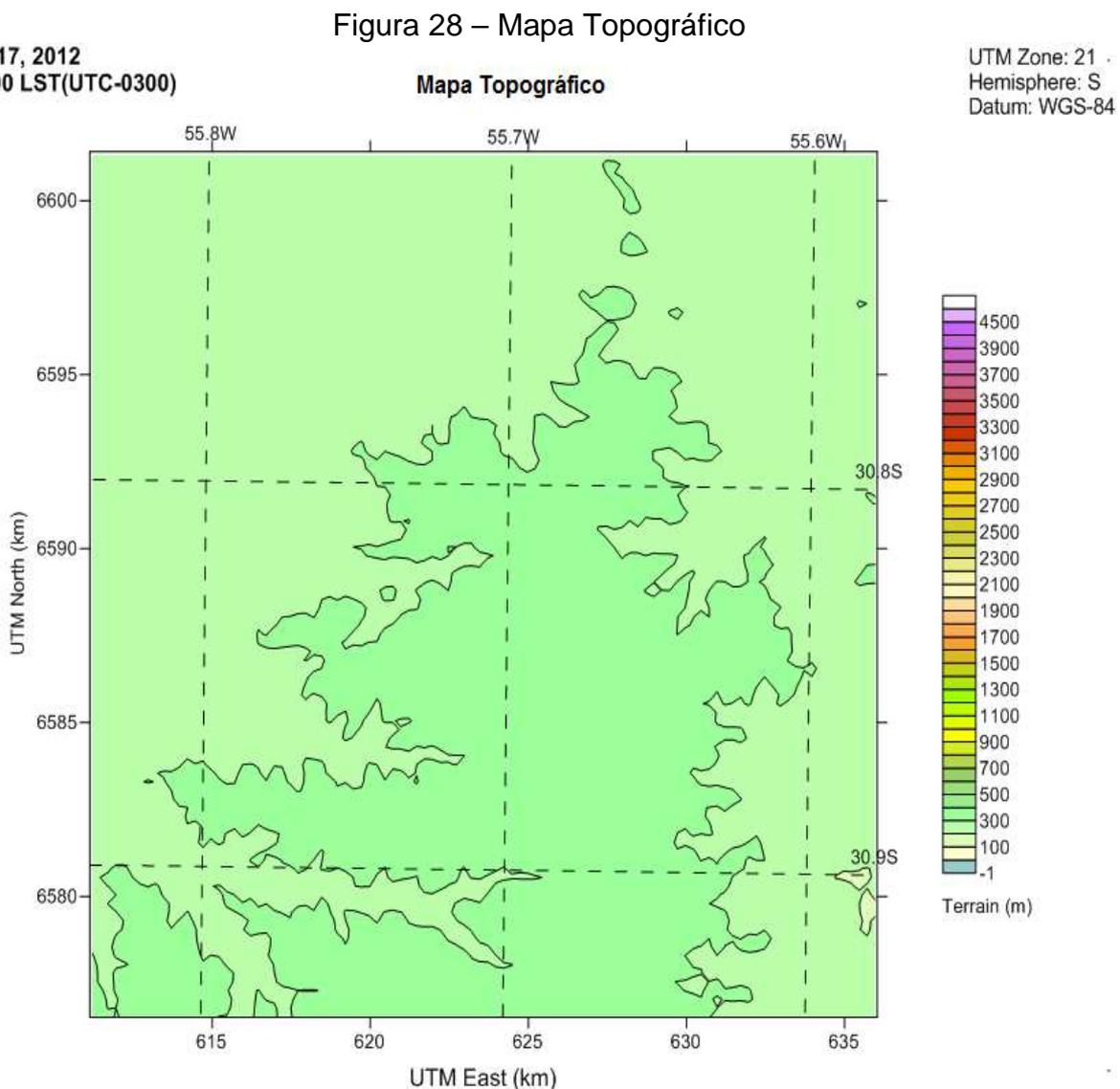
O software CALMET após realizar todas as etapas permite a extração dos mapas para o local que esta inserida o Parque Eólico Cerro Chato, como o mapa topográfico que mostra as áreas de maior elevação do terreno conforme Figura 28.

O mapa de uso e cobertura onde se identifica área urbana, áreas de agricultura, floresta, água conforme figura 29..

Observam-se as áreas de maior rugosidade sendo um obstáculo no fluxo de vento conforme Figura 30.

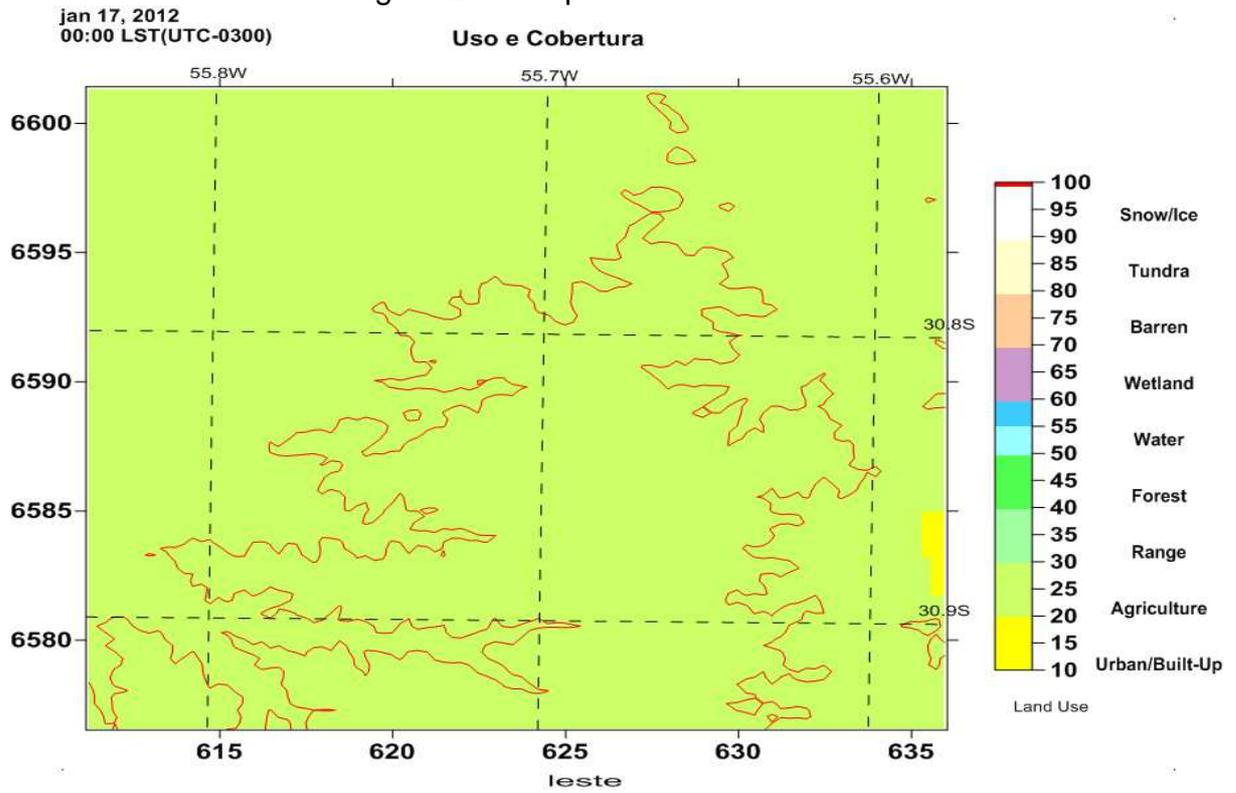
O mapa da velocidade do vento mostra a região com as intensidades do vento conforme Figura 31.

O relatório da velocidade do vento pontual permite ter a intensidade do vento para todo o horário de simulação e o nível de altura desejado conforme Figura 32.



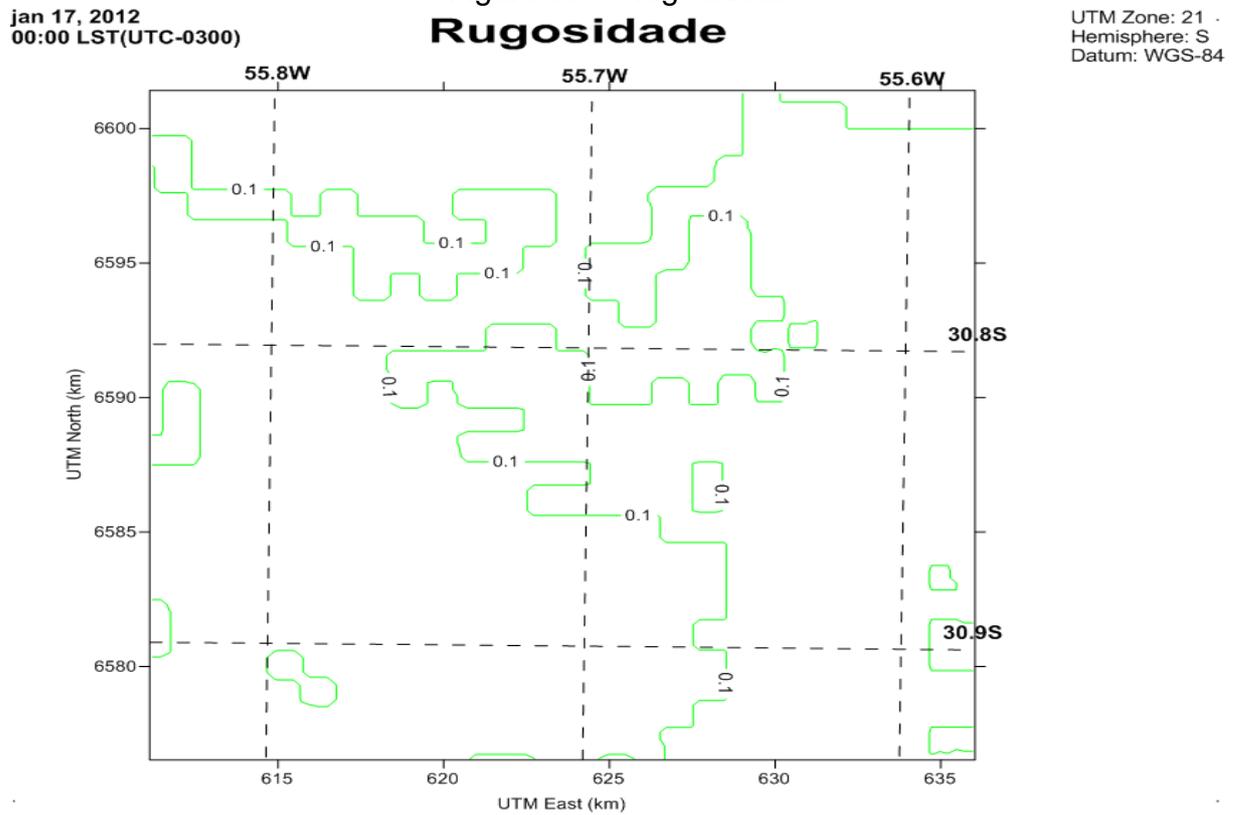
Fonte: FERREIRA, 2012.

Figura 29 – Mapa de Uso e Cobertura



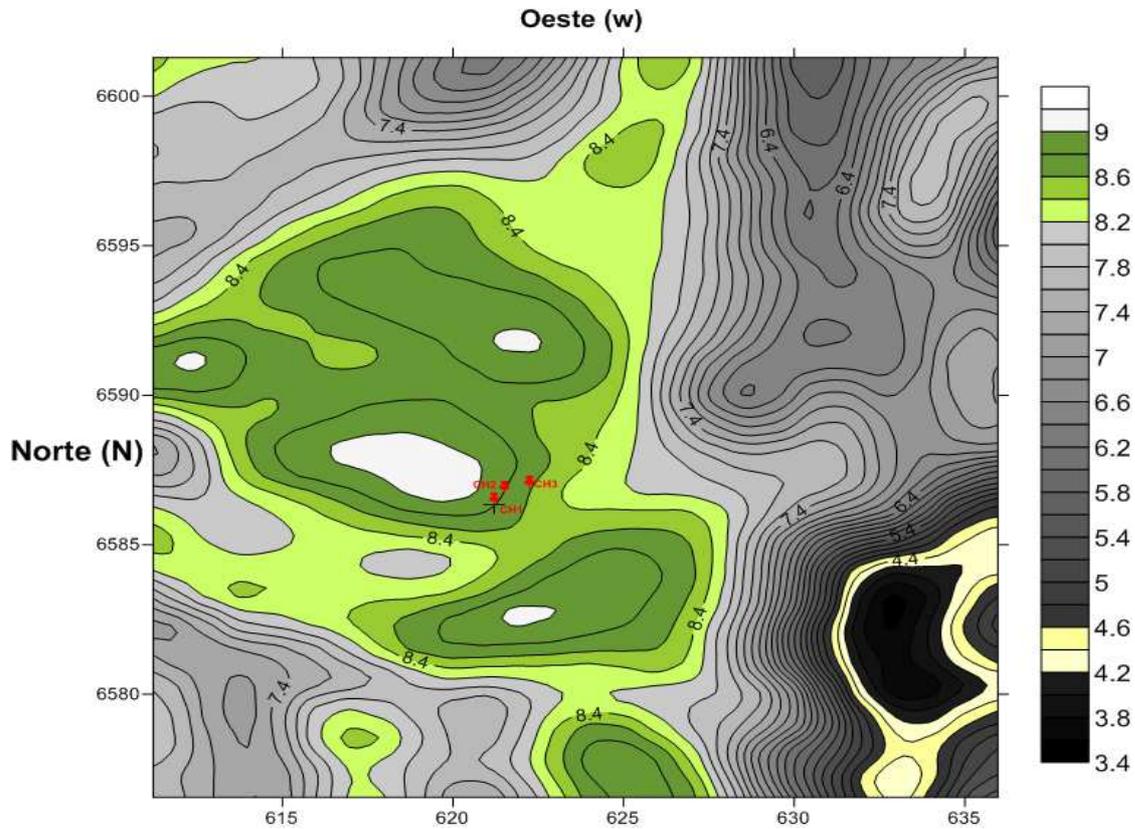
Fonte: FERREIRA, 2012.

Figura 30 – Rugosidade



Fonte: FERREIRA, 2012.

Figura 31 – Mapa da Velocidade do Vento às 00h00minh  
**Velocidade do Vento às 00:00h**



Fonte: FERREIRA, 2012.

Figura 32 – Relatório do Aerogedor CH1

Timeseries at CALMET gridpoint (40, 41)

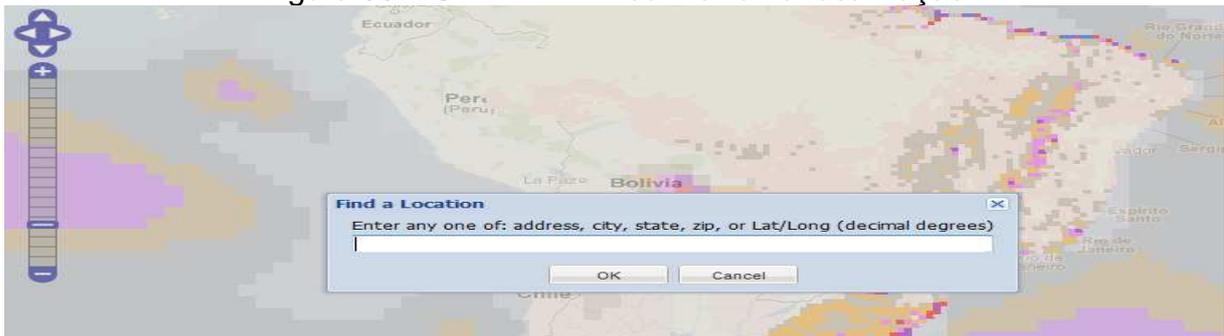
| YEAR | MONTH | DAY | HOUR | SEC | YEAR | MONTH | DAY | HOUR | SEC     | WS<br>(m/s) | WD<br>(deg) | WS<br>(m/s) | WD<br>(deg) |
|------|-------|-----|------|-----|------|-------|-----|------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|      |       |     |      |     |      |       |     |      | Layer 1 | Layer 1     | Layer 5     | Layer 5     |             |
| 2012 | 1     | 17  | 0    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 0    | 3600    | 4.91        | 95.66       | 8.40        | 88.61       |
| 2012 | 1     | 17  | 1    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 1    | 3600    | 5.07        | 83.35       | 8.77        | 76.35       |
| 2012 | 1     | 17  | 2    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 2    | 3600    | 4.98        | 78.43       | 8.53        | 72.64       |
| 2012 | 1     | 17  | 3    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 3    | 3600    | 4.75        | 76.50       | 8.14        | 70.82       |
| 2012 | 1     | 17  | 4    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 4    | 3600    | 4.45        | 76.35       | 7.79        | 70.03       |
| 2012 | 1     | 17  | 5    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 5    | 3600    | 4.16        | 76.56       | 7.63        | 68.97       |
| 2012 | 1     | 17  | 6    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 6    | 3600    | 2.66        | 82.74       | 6.57        | 70.17       |
| 2012 | 1     | 17  | 7    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 7    | 3600    | 3.11        | 81.42       | 4.35        | 78.00       |
| 2012 | 1     | 17  | 8    | 0   | 2012 | 1     | 17  | 8    | 3600    | 2.68        | 88.45       | 3.53        | 86.84       |

Fonte: FERREIRA, 2012.

### 3.3 Metodologia do SWERA

O software SWERA fornece os dados sobre o mapa geográfico do país no qual se deseja a média dos valores do vento. Para o local simulado, as coordenadas geográficas são latitude  $30^{\circ} 49' 35,31''$  S e longitude  $55^{\circ} 42' 28,12''$  w, conforme Figura 33.

Figura 33 – SWERA – Encontrar uma localização



Fonte: SWERA, 2012.

A seleção do banco de dados e a resolução podem ser definidas na tela do software, conforme a Figura 34.

Figura 34 – Resolução da velocidade do Vento



Fonte: SWERA, 2012.

Com o valor da velocidade média mensal do mês de janeiro de 2012, substituindo na equação 1, e multiplicando o mesmo valor para os 45 aerogeradores obtém-se a estimativa da geração de energia elétrica média.

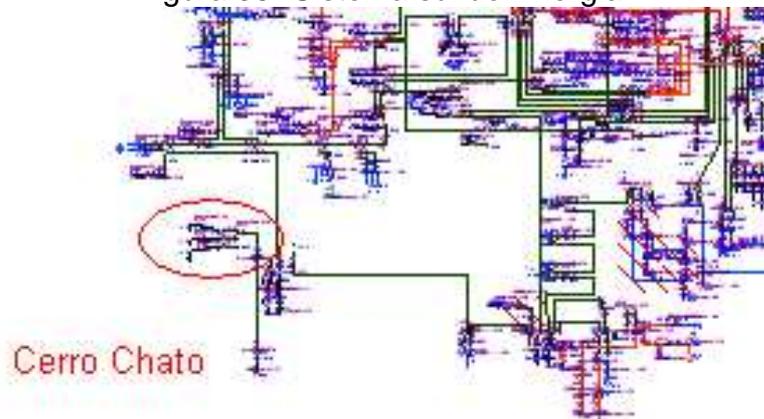
### 3.4 Metodologia do ANAREDE

A versão do ANAREDE utilizada é V.9.7.2 para analisar o comportamento da geração de energia do Parque Eólico Cerro Chato que esta conectada ao Sistema Sul, sendo o arquivo usado no software é SULJUL11\_mod, conforme a Figura 35.

Os dados de geração referente das Usinas hidráulicas de Jacuí, Itauba, Passo Real e Usina Térmica de Candiota III são extraídos do Boletim Semanal da Operação da ONS no período de 14 a 20/01, conforme Figura 36.

Estes valores serão substituídos no modelo para simular o comportamento o fluxo de potência na malha sem e com o funcionamento do Parque Eólico Cerro Chato.

Figura 35- Sistema sul de Energia



Fonte: FERREIRA, 2012.

Figura 36 – Boletim Semanal de Operação

| BOLETIM SEMANAL DA OPERAÇÃO ONS |     |     |       |
|---------------------------------|-----|-----|-------|
| Boletim de 14/01 a 20/01        |     |     |       |
| TUBARAO                         | 0   | 0   | 0.0   |
| TERMO CABO                      | 0   | 0   | 0.0   |
| POTIGUAR                        | 0   | 0   | 0.0   |
| POTIGUAR III                    | 0   | 0   | 0.0   |
| UTE P.FERRO 1                   | 0   | 0   | 0.0   |
| TERMOMANAUS                     | 0   | 0   | 0.0   |
| TER BRASILIA                    | 0   | 0   | 0.0   |
| CAMA.MURICY 1                   | 0   | 0   | 0.0   |
| EUZEBIO ROCHA                   | 45  | 45  | 0.6   |
| TERMONORTE I                    | 0   | 0   | 0.0   |
| TERMONORTE II                   | 129 | 129 | -0.1  |
| CAMACARI POLO                   | 0   | 0   | 0.0   |
| GERAMAR II                      | 0   | 0   | 0.0   |
| GERAMAR I                       | 0   | 0   | 0.0   |
| UTE VIANA                       | 0   | 0   | 0.0   |
| UTE GLOBAL I                    | 0   | 9   | 0.0   |
| UTE GLOBAL II                   | 0   | 2   | 0.0   |
| UTE LINHARES                    | 0   | 0   | 0.0   |
| TERMONORDESTE                   | 0   | 0   | 0.0   |
| UTE ATLANTICO                   | 232 | 251 | 8.1   |
| CANDIOTA III                    | 287 | 278 | -3.1  |
| UT.MARACANAU I                  | 0   | 0   | 0.0   |
| TERMOPARAIBA                    | 22  | 16  | -26.8 |
| UT.CAM.GRANDE                   | 0   | 0   | 0.0   |
| 0,00                            | 0   | 0   | 0.0   |

<< >> | Hidráulica e Térmica e Eólica | Hidráulica - Por Usina | Térmica - Por Usina | Eólica - Por Usina

Fonte: ONS, 2012.

Durante a noite das 0h até às 6h é considerado como carga leve no sistema e das 6h até às 15h a carga é média.

Os valores da geração de Cerro Chato serão substituídos hora a hora, sendo das 0h até às 8h do dia 17/01/2012.

### **3.5 Auxílio Computacional**

Os dados meteorológicos necessários para a simulação foram realizados Laboratório de Modelagem e Simulação Computacional (LMSC), no Campus Bagé.

O LMSC tem instalado um cluster com 11 servidores, cada um com 2 processadores quad-core Xeon 2.8 GHz, 16GB RAM e 4HD SAS de 146GB, com sistema operacional Linux da marca Dell de 80 processadores.



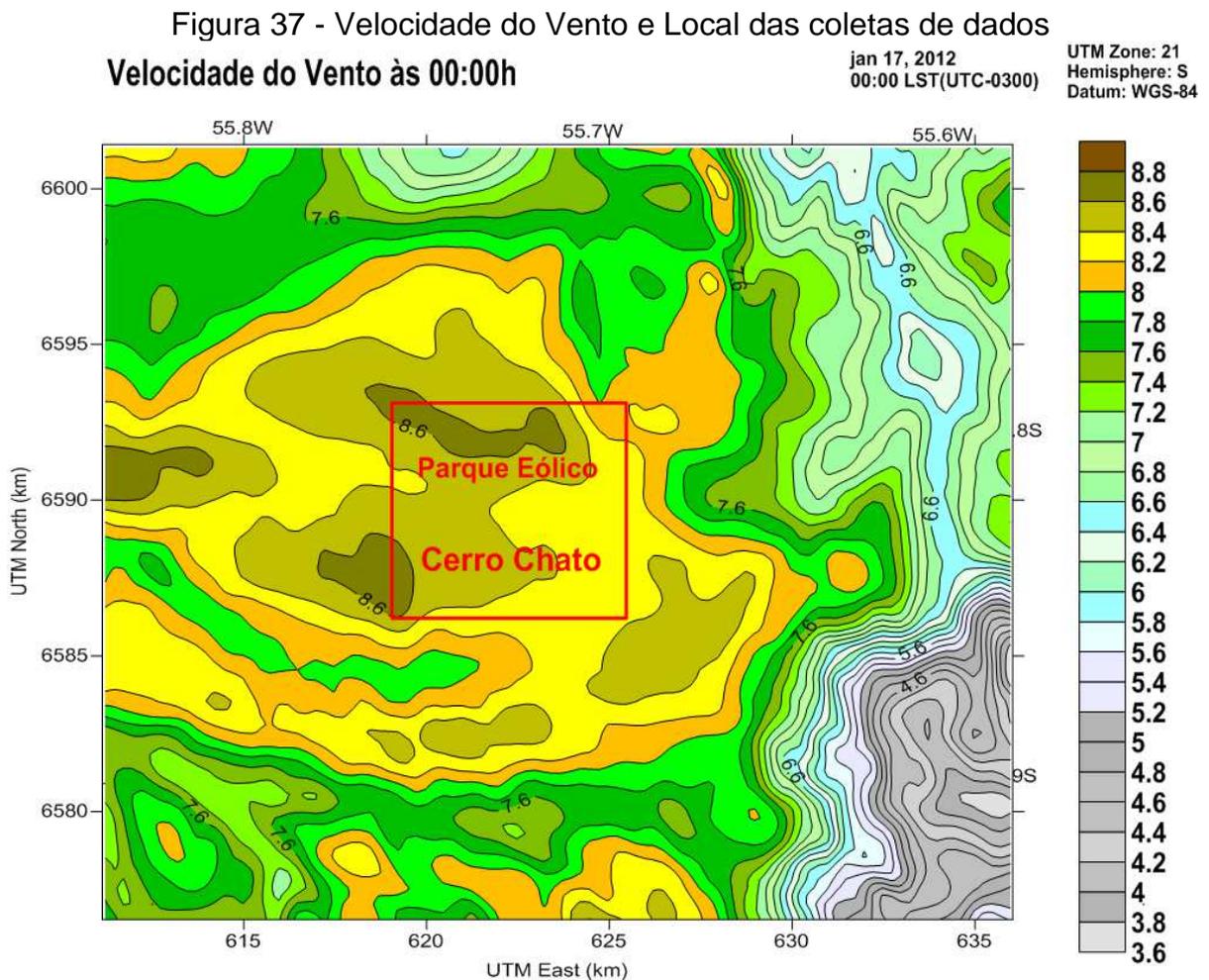
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando os dados de vento produzidos pelo CALMET e PRTMET de hora em hora, vamos calcular o potencial eólico e a energia elétrica gerada nos pontos do domínio onde estão alocados os aerogeradores.

### 4.1 Velocidade do vento de hora em hora

A estimativa da velocidade do vento na altura do eixo do aerogerador a 110m é fator determinante para analisar o potencial eólico e verificar a produção de energia elétrica em curto prazo.

O campo de vento produzido no primeiro horário simulado, sendo às 00h00min do dia 17-01-2012, pode-se analisar na Figura 37.



Fonte: FERREIRA, 2012.

Na Figura 37, na área de domínio podemos constatar que a velocidade difere de ponto a ponto conforme legenda, em m/s. A velocidade se mantém entre 8,6 e 8,2 m/s onde estão os aerogeradores.

Conforme relatório extraído do CALMET, foi coletada a velocidade do vento no local de cada aerogerador para determinar o total gerado às 00h00minh do dia, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela com a Velocidade do Vento e Energia Gerada às 00h00min.

| Dados de Vento às 00:00h |             |    |                   |                         |                   |             |    |                   |                         |
|--------------------------|-------------|----|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------|----|-------------------|-------------------------|
| Aerogerador              | Coordenadas |    | Velocidade<br>m/s | Potência<br>Gerada (kW) | Aerogerador       | Coordenadas |    | Velocidade<br>m/s | Potência<br>Gerada (kW) |
|                          | x           | y  | z                 |                         |                   | x           | y  | z                 |                         |
| 1                        | 40          | 41 | 8,40              | 671,0087                | 24                | 41          | 58 | 8,50              | 695,2597                |
| 2                        | 42          | 42 | 8,43              | 678,2238                | 25                | 37          | 58 | 8,44              | 680,6403                |
| 3                        | 43          | 45 | 8,54              | 705,1214                | 26                | 35          | 57 | 8,37              | 663,8450                |
| 4                        | 44          | 39 | 8,25              | 635,6999                | 27                | 42          | 62 | 8,63              | 727,6503                |
| 5                        | 46          | 42 | 8,36              | 661,4685                | 28                | 44          | 62 | 8,63              | 727,6503                |
| 6                        | 48          | 43 | 8,33              | 654,3729                | 29                | 47          | 60 | 8,54              | 705,1214                |
| 7                        | 50          | 37 | 8,29              | 644,9914                | 30                | 51          | 55 | 8,30              | 647,3283                |
| 8                        | 51          | 39 | 8,29              | 644,9914                | 31                | 48          | 61 | 8,56              | 710,0871                |
| 9                        | 54          | 38 | 8,30              | 647,3283                | 32                | 51          | 61 | 8,61              | 722,6030                |
| 10                       | 55          | 34 | 8,38              | 666,2272                | 33                | 53          | 60 | 8,51              | 697,7165                |
| 11                       | 50          | 44 | 8,37              | 663,8450                | 34                | 55          | 56 | 8,30              | 647,3283                |
| 12                       | 46          | 49 | 8,38              | 666,2272                | 35                | 59          | 60 | 8,24              | 633,3911                |
| 13                       | 48          | 50 | 8,37              | 663,8450                | 36                | 60          | 52 | 8,28              | 642,6601                |
| 14                       | 52          | 47 | 8,34              | 656,7324                | 37                | 61          | 50 | 8,33              | 654,3729                |
| 15                       | 53          | 48 | 8,32              | 652,0190                | 38                | 65          | 49 | 8,22              | 628,7902                |
| 16                       | 34          | 49 | 8,56              | 710,0871                | 39                | 66          | 50 | 8,05              | 590,5789                |
| 17                       | 35          | 50 | 8,46              | 685,4904                | 40                | 68          | 49 | 8,11              | 603,8831                |
| 18                       | 37          | 47 | 8,46              | 685,4904                | 41                | 57          | 44 | 8,29              | 644,9914                |
| 19                       | 38          | 50 | 8,50              | 695,2597                | 42                | 55          | 43 | 8,27              | 640,3344                |
| 20                       | 40          | 50 | 8,45              | 683,0625                | 43                | 59          | 38 | 8,46              | 685,4904                |
| 21                       | 42          | 52 | 8,42              | 675,8131                | 44                | 63          | 40 | 8,52              | 700,1790                |
| 22                       | 45          | 54 | 8,35              | 659,0976                | 45                | 66          | 39 | 8,56              | 710,0871                |
| 23                       | 42          | 59 | 8,54              | 705,1214                | TOTAL GERADO (kW) |             |    | 30.171,5129       |                         |

Fonte: FERREIRA, 2012.

Com os dados das velocidades para cada aerogerador, substituindo na equação 1 é possível calcular o quanto de energia elétrica é gerado hora a hora para cada ponto.

O valor do coeficiente de potência máximo teórico que uma turbina eólica

pode atingir é 0,593 [17]. Tomando como exemplo o parque eólico de Cerro Chato em Santana do Livramento – RS, cujas turbinas instaladas têm um rendimento de aproximadamente 35% com pás de 82 m de diâmetro e altura do aerogerador de 108m.

Usando os seguintes valores para a massa específica do ar de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ , área da pá de  $5.281 \text{ m}^2$  e coeficiente de potência de 0,35, obtêm o quanto de energia elétrica é gerada hora a hora no local definido na Figura 37 do Parque Eólico Cerro Chato, o que resulta na Tabela 3, com os valores das velocidades dos 45 aerogeradores.

Os mapas e tabelas gerados para os horários seguintes encontram-se no apêndice.

A velocidade do vento à 1h, na área de limitação do parque pode constatar que a velocidade varia de 8,8m/s a 8,2 m/s, com uma média de 8,54 m/s. Nesta simulação a geração de energia teve um aumento na sua produção em 5,55% em relação ao gerado às 0h0min.

No mapa de vento das 2h, verifica-se que a intensidade do vento tende a diminuir, predominando na maior parte a velocidade de 8,2 m/s. A média da velocidade do vento é de 8,35m/s, em alguns pontos do parque, já aparecem velocidades menores que a média.

A geração referente às 3h é menor que a anterior, o que implica em dizer que a velocidade do vento diminuiu com uma variação de 8,2m/s a 7,4 m/s.

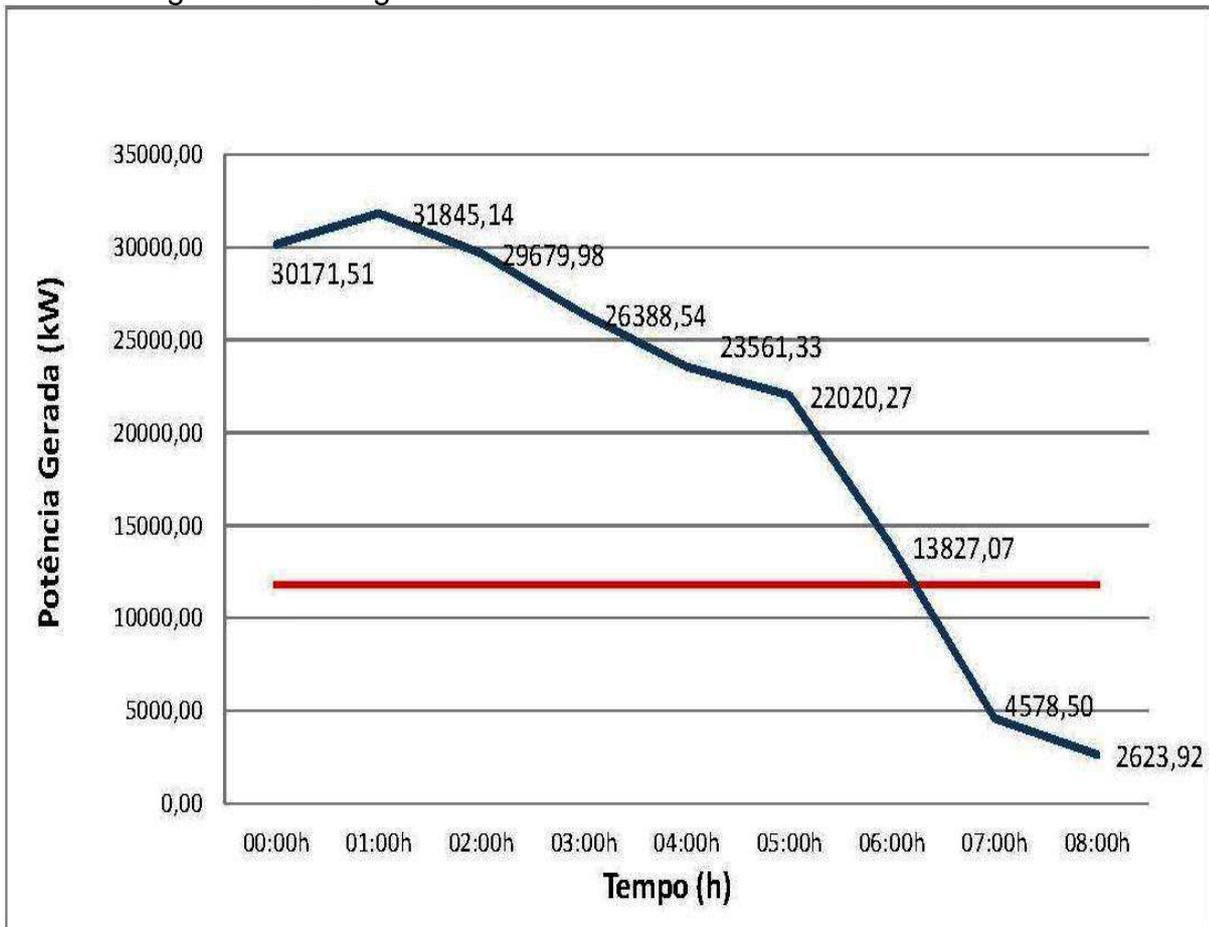
A velocidade do vento a partir da 1h vem decrescendo a cada hora de geração quase que linearmente, chegando à velocidade a atingir 7,2 m/s em alguns locais do parque.

A geração de energia elétrica entre 5h e 6h diminui aproximadamente 8 MW, o que representa 43% comparada à geração da 1h. No mapa de vento dentro da área do parque a velocidade do vento fica na faixa de 6,6 m/s e 6,2 m/s.

Às 7h a velocidade do vento diminui mais ainda, a média gira em torno dos 4,5 m/s.

A geração de energia elétrica às 8h atinge a menor produção, o equivalente a 8,7% do que foi gerado às 0h0min do mesmo dia. A simulação de 8 horas da estimativa do potencial eólico e energia gerada são apresentadas na Figura 38 (linha azul).

Figura 38 - Energia Total Simulada das 00h: 00min às 08h00minh



Fonte: FERREIRA, 2012.

A curva na figura 38 (linha azul) é baseada em dados simulados pelos modelos para cada aerogerador, os dados de entrada do modelo de mesoescala são do banco de dados do NCAR/NCEP,

Podemos verificar que a geração de energia teve um desempenho decrescente devido à redução da velocidade do vento no local. A cada hora onde estão alocados os “geradores” existe variação na velocidade do vento, o que implica na queda na produção de energia elétrica pelo parque eólico.

Analisando a energia gerada vemos que é máxima à 1h, atingindo aproximadamente 31,85 MW e a menor produção às 8h o equivalente a 2,6 MW.

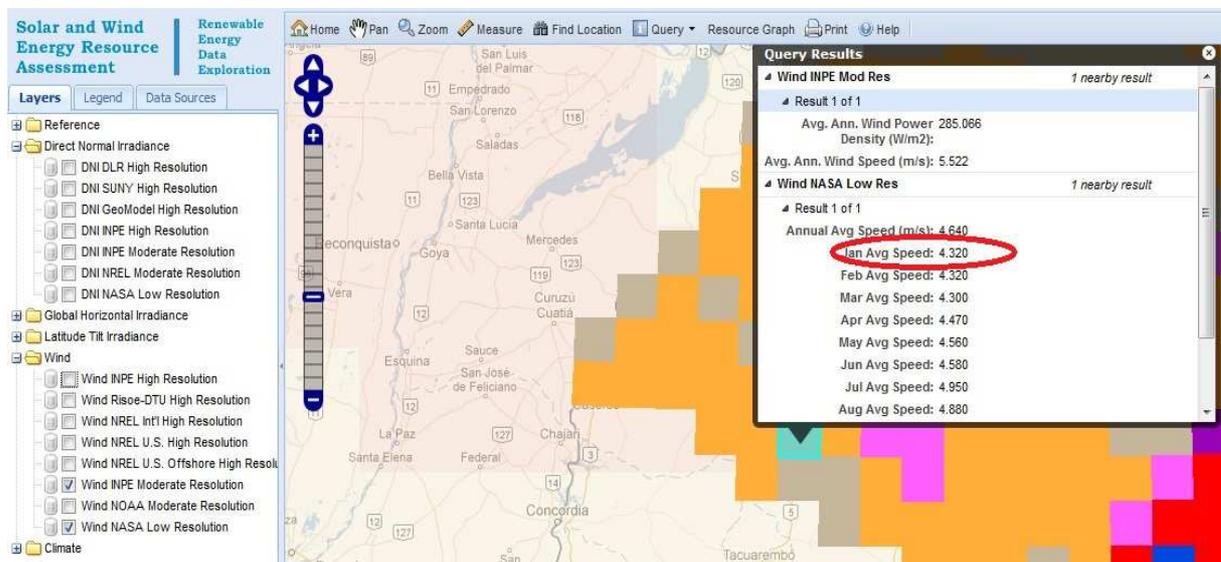
Para a validação dos resultados obtidos pelo WRF e CALMET foi utilizado como parâmetro o software SWERA a qual fornece a média mensal dos ventos para qualquer local que seja informado os dados.

Na Figura 38, a linha na cor vermelha representa a geração de energia média mensal que seria aproximadamente de 11,8 MW. Esta geração média é

proveniente da velocidade média do mês de janeiro de 2012 extraída do software SWERA, sendo o valor de 4,320 m/s conforme Figura 39.

Comparando a potência elétrica gerada para Cerro Chato durante as 8h de simulação com a energia média do SWERA, o percentual de produção manteve-se acima da média, mas com redução da 0h até às 6h e na geração das 7h às 8h a produção foi abaixo da média, conforme Tabela 4.

Figura 39 – SWERA – Velocidade do Vento



Fonte: SWERA, 2012.

Tabela 4 – Comparação da Geração de energia

| Comparação da geração de energia |             |            |            |
|----------------------------------|-------------|------------|------------|
|                                  | CALMET (MW) | SWERA (MW) | Percentual |
| 0 h                              | 30,171      | 11,745     | 61%        |
| 1h                               | 31,845      | 11,745     | 63%        |
| 2h                               | 29,679      | 11,745     | 60%        |
| 3h                               | 26,388      | 11,745     | 55%        |
| 4h                               | 23,561      | 11,745     | 50%        |
| 5h                               | 22,02       | 11,745     | 47%        |
| 6h                               | 13,827      | 11,745     | 15%        |
| 7h                               | 4,578       | 11,745     | -157%      |
| 8h                               | 2,623       | 11,745     | -348%      |

Fonte: Ferreira, 2012.

Analisando a Tabela 4 vemos que a geração de energia conseguida pelo CALMET teve um percentual positivo acima da média até às 6h. Neste dia 17/01/2012 durante as horas da modelagem, a geração eólica teve uma redução na velocidade do vento, o que levou a atingir uma redução da geração.

#### 4.2 Analisando a influência da Geração do Parque Eólico Cerro Chato

O Programa ANAREDE permite analisar a influência e o comportamento da geração de energia entre as fontes hidráulica, térmica, eólicas e etc.

De posse dos valores da geração de energia elétrica conforme Tabela 5, proveniente da fonte de energia eólica, previsto para as próximas horas a análise destes é essencial na coordenação entre as fontes hidro e térmicas de maneira a armazenar água e reduzir os custos de produção.

Tabela 5 – Energia Gerada por Parque

| Energia gerada por Parque Eólico de Cerro Chato |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|
| Hora  | CH1 (MW) | CH2 (MW) | CH3 (MW) |
| 0   | 9,9      | 10,5     | 10,3     |
| 1   | 11       | 10,5     | 10,3     |
| 2   | 10       | 9,9      | 9,6      |
| 3   | 8,9      | 8,9      | 8,5      |
| 4   | 8,2      | 7,5      | 7,9      |
| 5   | 7,5      | 7,1      | 7,4      |
| 6   | 4,7      | 4,5      | 4,5      |
| 7   | 1,5      | 1,6      | 1,5      |
| 8   | 0,8      | 1        | 0,9      |

Fonte: Ferreira, 2012.

A verificação do comportamento da energia produzida pelo Parque Eólico Cerro Chato implica na geração das usinas hidráulicas e térmicas. Em função da simulação do vento ter sido no dia 17/01 o valor de geração utilizado para cada usina foi de acordo com o boletim semanal da operação, conforme Tabela 6.

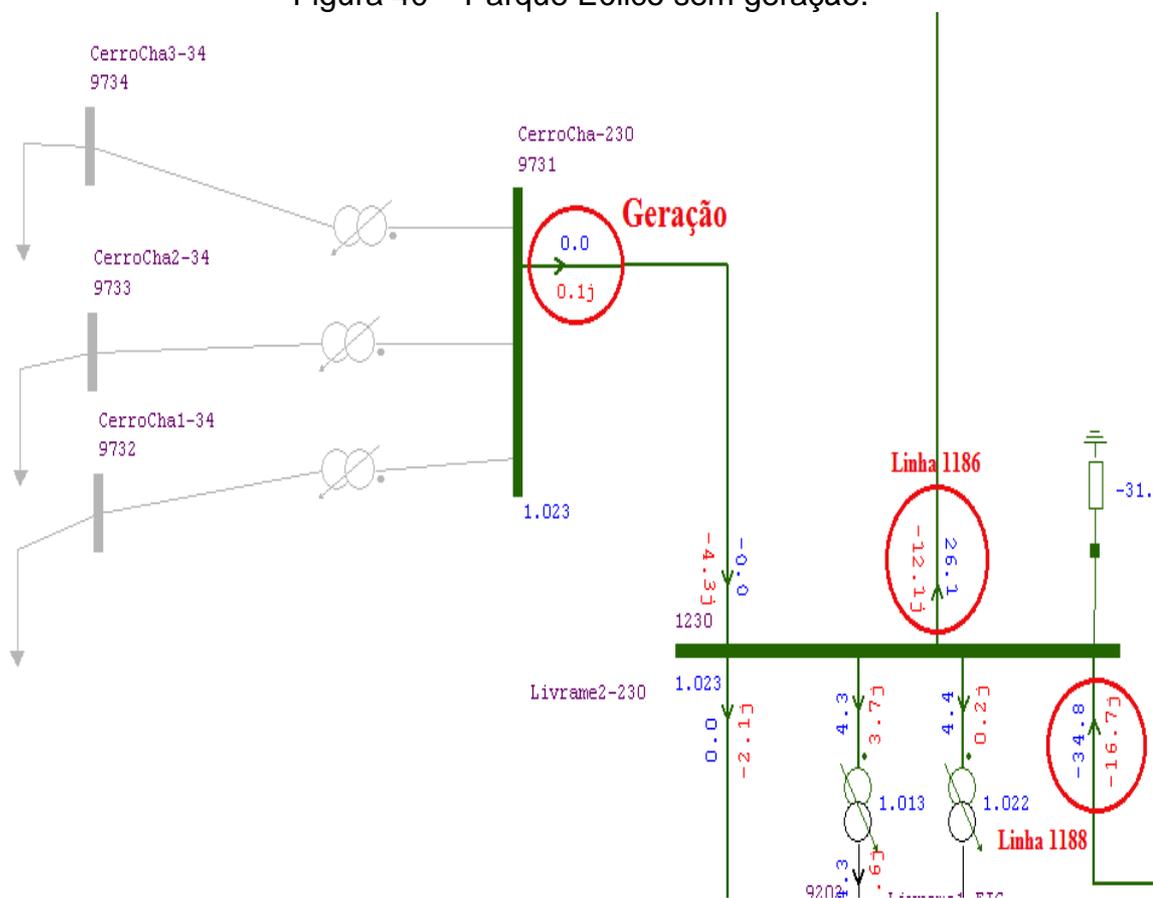
Tabela 6 – Boletim Semanal da Operação 14/01 a 20/01

| Boletim Semanal da Operação |         |
|-----------------------------|---------|
| USINA                       | Geração |
| Itauba                      | 81 MW   |
| P. Real                     | 47 MW   |
| Jacui                       | 89 MW   |
| Candiota                    | 259MW   |

Fonte: ONS, 2012.

Não havendo geração de energia pelo parque conforme Figura 40, modifica o fluxo de potência tendo variações, as duas linhas (1186 – Alegrete a Livramento e 1188 – Bagé a Livramento) que estão ligadas a barra CA 1230 de 236,3 kV são as que mais sofrem. Também existem alterações em outras linhas como: 1188 – Bagé a P. Médici; na barra CA 1243 da usina de Passo Real; na barra CA 1215 Itauba e na barra CA 1216 Jacuí.

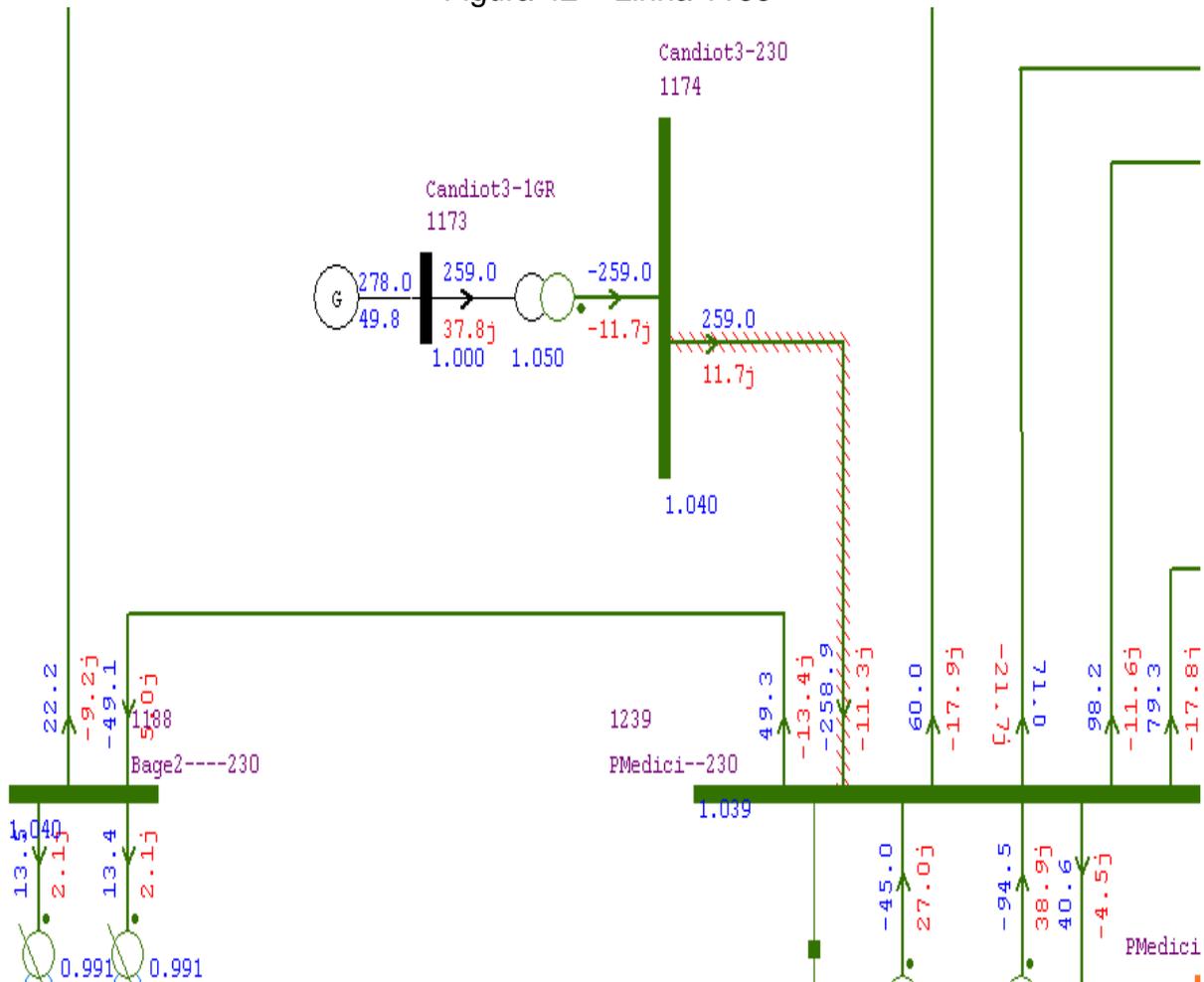
Figura 40 – Parque Eólico sem geração.



Fonte: Ferreira, 2012.



Figura 42 – Linha 1188



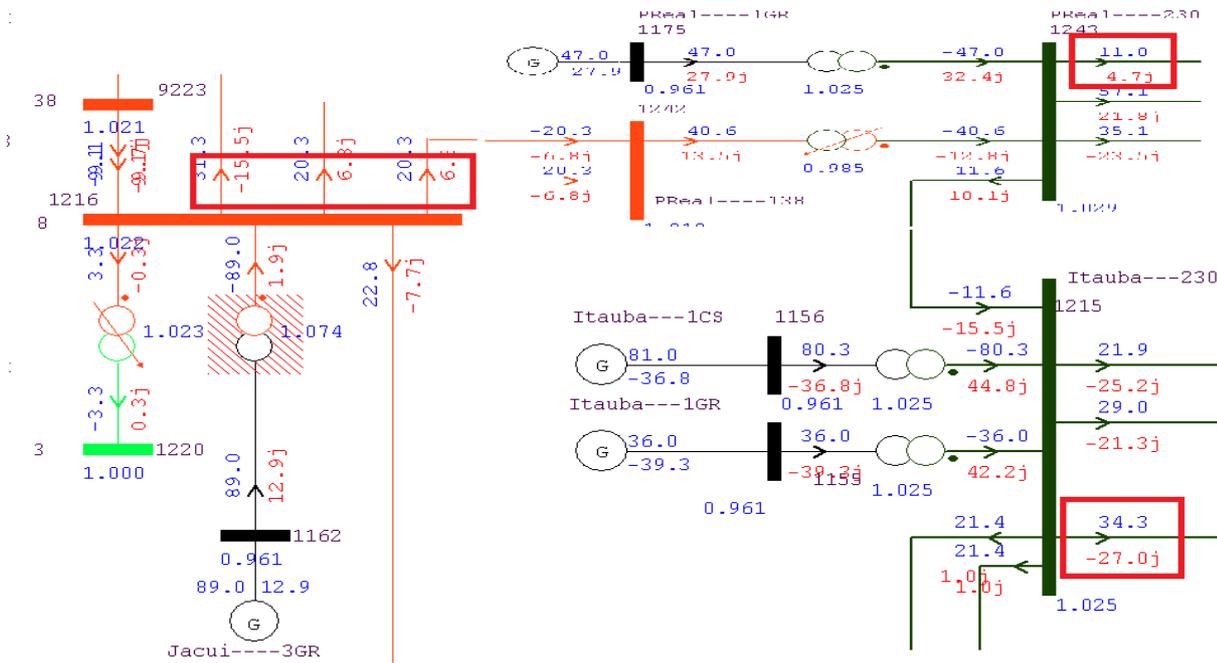
Fonte: Ferreira, 2012.

Na Figura 42 verifica-se que a linha CA 1174 de Candiota III (hachurada) indica uma situação a ser analisada, mas esta não é provocada pela geração de Cerro Chato. O problema está na própria geração da usina térmica, a qual está gerando 259,3 MVA, acima da capacidade da linha que é 240 MVA.

No período das 7h até às 8h, a demanda da carga é readequada de leve para média, o que provocou a inversão do fluxo de potência em algumas linhas que estão ligadas às usinas de Jacuí, Passo Real, Itauba e Cerro Chato, a qual pode comparar na Figura 43 e Figura 44.

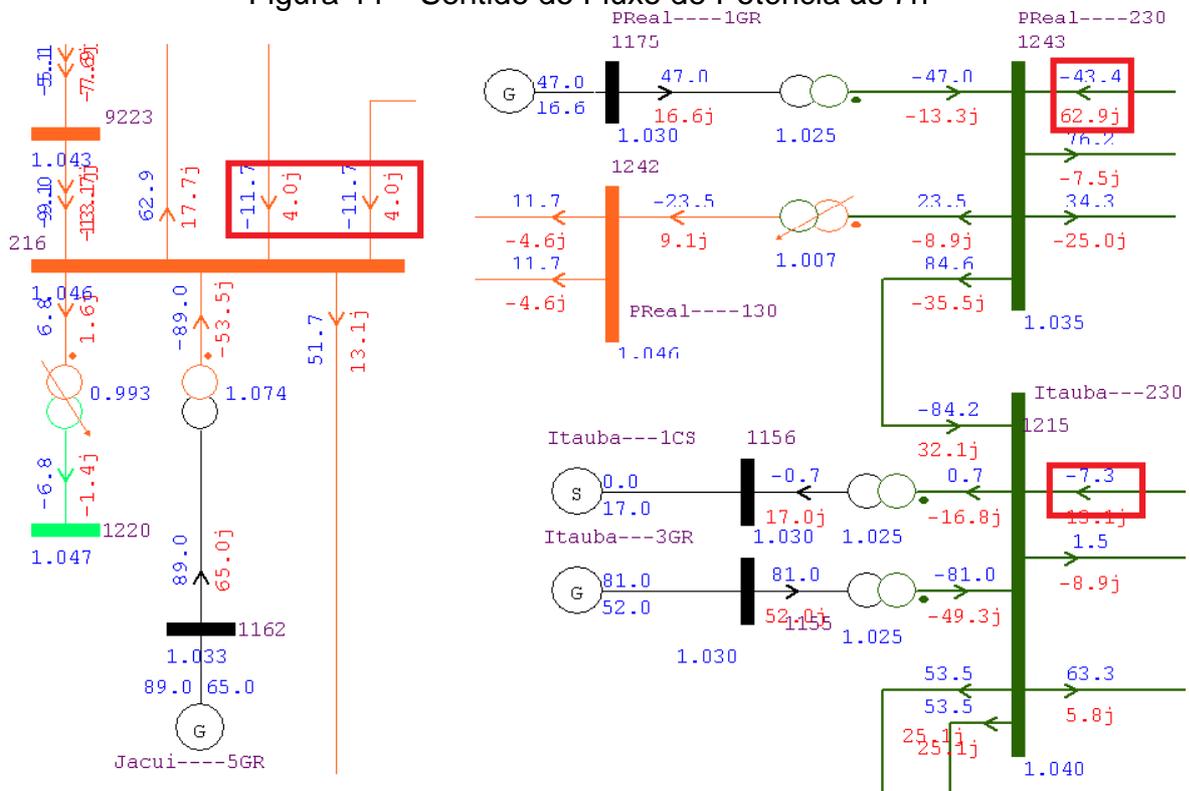
Na simulação da geração de energia às 6h o fluxo de potência tem o sentido de saída das barras para a distribuição nas usinas hidroelétricas e térmicas conforme Figura 43.

Figura 43 – Sentido do fluxo de potência às 6h



Fonte: Ferreira, 2012.

Figura 44 – Sentido do Fluxo de Potência às 7h



Fonte: Ferreira, 2012.

Quando a geração começa a operar com carga média e a geração de energia em Cerro Chato é baixa, ocorreu a inversão do fluxo de potência na linha que conecta a Usina de Jacuí a Passo Real, na linha 1243 de Passo Real a Tapera, na linha 1215 de Itauba a Nova Santa Rita e na linha 1186 de Alegrete a Livramento.

Alterações no fluxo de potência são provocadas pelo aumento ou redução na geração de energia elétrica hora a hora, não importando a fonte de produção, como consequência afeta o fluxo em todo o sistema de energia.

As modificações provenientes das instalações de novas usinas geradoras implicam no aumento do montante da geração, da carga e tensões no sistema.

A variação do potencial eólico esta diretamente ligada à geração de energia, esta hoje é permissível pelo pequeno número de parques eólicos em funcionamento, quando ocorre a queda na velocidade do vento a geração mínima não chega a violar o sistema, pois esta dentro dos limites permitidos pelo patamar de folga que o operador do ONS possui.

Portanto, os dados relacionados à quantidade de energia gerada pelo Parque Eólico Cerro Chato simuladas no ANAREDE mostram que o seu funcionamento provoca alterações no fluxo de potência, mas devido à capacidade de 90 MW não causa um problema energético existindo a menor geração.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a determinação do modelo de previsão do potencial eólico de curto prazo para o planejamento da operação de sistemas elétricos foi utilizado na simulação o modelo diagnóstico CALMET, o programa de mesoescala WRF que permitiram a análise do campo de vento na região e o software ANAREDE a qual se pode analisar o comportamento do fluxo de potência no sistema elétrico. O SWERA uma ferramenta computacional disponível com dados mensais da velocidade do vento. A união destes simuladores permitiu atingir o objetivo do trabalho, de criar o modelo de previsão do potencial eólico utilizando a velocidade pontual hora a hora, diferenciando de como hoje é determinado este a partir da velocidade média mensal ou anual.

Este procedimento foi aplicado onde está instalado o Parque Eólico Cerro Chato I, II e III, mas este pode ser estendido a qualquer região onde exista uma usina eólica.

A variação da velocidade do vento na área de domínio provoca alterações, o que tem relação direta na produção de energia elétrica, por este motivo que a previsão eólica tem de ser a mais real possível e confiável.

O ONS necessita de uma previsão da produção de energia de antemão, a fim de equilibrar a energia gerada pelas diversas fontes de modo a otimizar a utilização dos recursos de geração e transmissão do Sistema Interligado Nacional – SIN. Portanto, a previsão eficaz da geração de parques eólicos permite que seja realizada a coordenação da operação do sistema elétrico de forma a buscar maior economia, segurança e sustentabilidade.

De posse dos valores da geração de energia eólica previsto para as próximas horas o operador do sistema pode coordenar a geração das fontes hidro e térmicas de maneira a armazenar água e reduzir os custos de produção. Com estes resultados é permitida no sistema a execução do despacho hidrotérmico de curto prazo, bem como o dimensionamento da reserva de potência operativa. Ambos os estudos produzem subsídios para o tratamento dos aspectos comerciais envolvidos e são fundamentais para a manutenção da segurança operacional elétrica, pois mitiga os riscos de não atendimento e garante margem para atuação eficaz do controle automático de geração.

A metodologia atendeu a necessidade de gerar os mapas de vento para determinar o potencial eólico, a potência gerada, analisar o comportamento desta na malha do SIN e realizar a comparação tendo um parâmetro da velocidade média mensal de um programa.

A comparação dos resultados da simulação com os dados coletados pelos anemômetros das torres mostra graficamente o mesmo comportamento.

A variação do potencial eólico implica na geração de energia, quando ocorre a queda na velocidade do vento a geração mínima não chega a violar o sistema, pois estão dentro dos limites permitidos pelo patamar de folga que o operador do ONS possui.

Os fabricantes de aerogeradores estão em busca de mercados com grande potencial eólico, mas de nada adianta a implantação de novos parques sem saber o funcionamento do sistema, manutenção e reparos, pois esta tecnologia ainda é considerada uma caixa preta, cheia de segredos em função da concorrência existente. O que se tem hoje em pesquisa sobre energias renováveis, principalmente energia eólica não é suficiente para o domínio e controle sobre o comportamento da velocidade do vento. A tendência é que após muitas pesquisas, análises se consiga chegar a um denominador comum para que possa ser incluído como rotina diária para a estimativa da geração de energia elétrica proveniente da eólica.

O vento é muito inconstante, as influências meteorológicas locais não foi levado em consideração na simulação, outro ponto que poder ser mais bem analisado.

Como trabalhos futuros, é preciso integrar o modelo de previsão de geração eólica com a programação diária da operação e o programa mensal de operação (PMO), de forma que as diretrizes eletroenergéticas de curto prazo contemplem este tipo de fonte, dado o atual incentivo à sua inserção na matriz energética brasileira.

A comparação destes dados simulados com dados reais, coletados por torres anemométricas do próprio local ou do INMET, é outro trabalho a ser desenvolvido.

A simulação de intervalos de tempo menores como, por exemplo, a cada 15 min a simulação do campo de vento e por um período maior pode apresentar resultados diferentes.

## REFERÊNCIAS

- [1] MME/EPE, **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. Sumário 80 p., 2011.
- [2] SAMUEL, Antônio N. **Análise e Controle de Centrais Eólicas e Velocidade Variável Utilizando ATPDraw**. Pernambuco, 2005.
- [3] KUSIAK, Andrew. Zheng, Haiyang. Song, Zhe. **Models for monitoring wind farm power**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems. Vol 34, Issue 3, Mar 2009, p. 583-590.
- [4] Hammons, T. J. **Integrating renewable energy sources into European grids**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems. vol 30, Issue 8, Oct 2008, pp. 462-475
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3º ed., Brasília: Aneel, 2008. p. 40. Disponível em <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_par1\\_cap2.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par1_cap2.pdf)>. Acesso em 12 out. 2011.
- [6] ALBADO. Ricardo. **Energia Eólica**. São Paulo: Artliber Editora, 2002. p. 22-23.
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução nº652**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf>>. Acesso em 15 out. 2011.
- [8] Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2º ed., Brasília: Aneel, 2002. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro\\_atlas.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro_atlas.pdf)>. Acesso em 12 out 2011.
- [9] BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>> Acesso em 23 out 2011.
- [10] MACHADO, Oldon. **Leilões de Fontes Alternativas 2010**. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, BR. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110606\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110606_1.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2011
- [11] ONS E PROCEDIMENTOS DE REDE. In Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/procedimentos/index.aspx>> Acesso em 20 mar. 2012.
- [12] LEI Nº 10.438, de 26 de Abril de 2002. In Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210438.pdf> >. Acesso em 22 mar. 2012
- [13] LEILÃO DE ENERGIA DE RESERVA EÓLICA. In Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em:

<[http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20090716\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20090716_1.pdf)>. Acesso em 15 out. 2011

- [14]CORREA, Eduardo B. **Avaliação do Sistema Combinado de Modelagem MM5/CALMET na representação da circulação Atmosférica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. COPPE. UFRJ, jun. 2008. p194
- [15]Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. **Manual de avaliação técnico-econômica de empreendimento Eólico-Elétricos**. Engenharia Eólica – Camargo Schubert. Curitiba, 2007. Disponível em: <[http://www.matrizlimpa.com.br/wp-content/uploads/2010/11/Manual-Avaliacao-Tecnico-Economica-Empreendimentos-Eolio-eletricos-MatrizLimpa.com\\_.br\\_.jpg](http://www.matrizlimpa.com.br/wp-content/uploads/2010/11/Manual-Avaliacao-Tecnico-Economica-Empreendimentos-Eolio-eletricos-MatrizLimpa.com_.br_.jpg)>. Acesso em: 05 mar. 2011.
- [16]MICHALAKES, J; CHEN, S; DUDHIA, J; HART, L; KLEMP, J; MIDDLECOFF, J; SKAMAROCK, W. **Development of a Next-generation Regional Weather Research and Forecast Model**. In Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. World Scientific, Singapore. 2001. p. 269-276.
- [17]DALMAZ, Alessandro. **Estudo do Potencial Eólico e Previsão de Ventos para Geração de Eletricidade em Santa Catarina**. UFSC, Florianópolis, mar. 2007.
- [18]SAMUEL, Antônio N; NEVES, Francisco. A. S; CORTÉS, Pedro. R; CAVALCANTI, M. C. **Análise de Injeção de Potência Reativa por Parte de Usinas Eólicas para Estabilidade de Sistemas Elétricos**. XI Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica – XI SEBOPE, Belém, PA. Disponível em: <[http://webserver.eln.gov.br/sepope/dad/temas\\_rel.asp](http://webserver.eln.gov.br/sepope/dad/temas_rel.asp)>. Acesso em: 09 abr. 2011.
- [19]WANG, Li; HSIUNG, Chia. **Dynamic Stability Improvement of an Integrated Grid-Connected Offshore Wind Farm and Marine-Current Farm Using a STATCOM**. IEEE Power Engineering Society., v. 26, no 2, pp. 690-698, may. 2011.
- [20]CAMARGO, Odilon A.; SILVA, Fabiano J. L.; CUSTODIO, R. S.; GRAVIANO, Nelson. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Editado pela Secretaria de Energia, Minas e Comunicações. Porto Alegre: SEMC, 2002.
- [21]CARVALHO, David. J. S. **Optimização do modelo numérico de previsão de tempo WRF no contexto de previsão e produção de energia eólica**. Dissertação de Mestrado à Universidade de Aveiro.Portugal. 2009.
- [22]CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL. **Programa de Análise de Redes / ANAREDE – Manual do Usuário Versão 08-08/04**. Brasil, 2004.
- [23]CAMARGO, C. C.. **Transmissão de energia elétrica: aspectos fundamentais**. 3ed. Florianopolis: end da UFSC, 2006, p.239

- [24] PASSOS F., João A. **Representação e avaliação do desempenho de dispositivos de controle no problema de fluxo de potência**. RJ. 2005. p11. Disponível em: <[www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2005112251.pdf](http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2005112251.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2011.
- [25] **Atlas de Energia Elétrica**. 2ª edição. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_eolica/6\\_3.htm](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_3.htm)>. Acesso em 10 nov. 2011.
- [26] FOLEY, Aoife M.; LEAHY, Paul.G.; MCKEOGH, Eamon J. **Wind Power Forecasting & Prediction Methods**. 9th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Prague, Republica Czech, mai, 2010.
- [27] WU, Yuan-Kang; HONG, Jing-Shan. **A literature review of wind forecasting technology in the world**. Power Tech, IEEE Lausanne, jul, 2007.
- [28] SOMAN, Saurabh S.; ZAREIPOUR, Hamidreza; MALIK, Om; MANDAL, Paras. **Review of Wind Power and Wind Speed Forecasting Methods With Different Time Horizons**. North American Power Symposium (NAPS), set, 2010.
- [29] HUANG, Chi-Yo; LIU, Yu-Wei; TZENG, Wei-Chang; WANG, Po-Yen. **Short Term Wind Speed Predictions by Using the Grey Prediction Model Based Forecast Method**. Annual Reviews in Earth and Planetary Sciences. Vol. Baton Roug, 2011. p. 489-516
- [30] BRACALE, A.; CARPINELLI, G.; MANGONI, M.; PROTO, D. **Wind Power Forecast Methods and Very Short-term Steady-State Analysis of an Electrical Distribution System** Electrical Engineering Research Report. vol. 1, issue 1. Disponível em: <<http://www.diel.unina.it/urct/WindPower.pdf>>. Acesso em: 10-02-2012.
- [31] KARINIOTAKIS, G.; PINSON, P.; SIEBERT, N.; GIEBEL, G.; BARTHELMIE, R. **State of the art in short-term prediction of wind power – From an offshore perspective**. Ocean Energy Conference: Offshore Wind Energy, Marine Currents and Waves, Brest, France. SeaTechWeek 2004.
- [32] DAMOUSIS, Ioannis G.; ALEXIADIS, Minas C.; THEOCHARIS John B.; DOKOPOULOS, Petros S. **A Fuzzy Model for Wind Speed Prediction and Power Generation in Wind Parks Using Spatial Correlation**. IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 19, nº 2, Jun 2004. p. 352 – 361.
- [33] BLUDSZUWEIT, Hans; NAVARRO, José A. D. **A Probabilistic Method for Energy Storage Sizing Based on Wind Power Forecast Uncertainty**. IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, vol. 26, nº 3, ago 2011. p. 1651 – 1658.
- [34] ALEXIADIS, M. C.; DOKOPOULOS, P. S.; SAHSAMANOGLU, H. S. **Wind Speed and Power Forecasting based on Spatial Correlation Models**. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 14, nº 3, set 1999.

- [35] LORA, E. E. S.; ADDAD, J. **Geração Distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais**. Rio de Janeiro. Interciência. 2006.
- [36] NEGNEVITSKY, M.; JOHNSON, P.; SANTOSO, S. **Short term Wind power forecasting using hybrid intelligent systems**. Disponível em: <<http://eprints.utas.edu.au/4821/1/4821.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2012.
- [37] SIDERATOS, G.; HATZIARGYRIOU, Nikos D.. **An Advanced Statistical Method for Wind Power Forecasting**. IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, vol. 22, nº 1, fev. 2007.
- [38] GIEBEL, Gregor; LANDBERG, Lars; NIELSEN, Torben Skov; MADSEN, Henrik. **The Zephyr- Project The Next Generation Prediction System**. GWEC 2002, Paris, abril, 2002.
- [39] GIEBEL, Gregor; LANDBERG, Lars; KARINIOTAKIS, G.; BROWNSWORD, R. **State-of-the-Art on Methods and Software Tools for Short-Term Prediction of Wind Energy Production**. European Wind Energy Conference & Exhibition EWEC 2003, Madrid, Spain. 2003
- [40] CARVALHO, Rafael T; SIGNORETTI, Julio G.; MOHR, Marcelo. Análise de risco de projetos eólicos através de séries sintéticas de produção de energia – estudo de caso para avaliações de financiamento. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica. **Anais do XXI SNPTEE**. GCR29, 2011.
- [41] PINTO, Leontina; SICA, Daniel; SZCZUPAK, Jacques; SILVA, Denis; AMBRIZZI, Tércio. Projeção de cenários climatológicos hidro-eólicos: desafios, perigos, riscos e mitigações. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica. **Anais do XXI SNPTEE**. GCR28, 2011.
- [42] SACCO, Carlos A. Junior; CASTRO, Alessandro L; BINI, Willians; GOMES, Rafael O.; FRANCHINI, Douglas S.; MOREIRA, Fátima R. V. Projeção de preços de mercado spot utilizando modelos climáticos. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica. **Anais do XXI SNPTEE**, GCR25, 2011.
- [43] DINIZ, A.L.; MACEIRA, M.E.; DUARTE, V.S.; SANTOS, T.N.; TCHEOU, M.P; SABÓIA, A.L.; PENNA, D.D.J.; COSTA, F.S. Antecipação do despacho de usinas térmicas à GNL no problema de programação da operação de sistemas hidrotérmicos. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica. **Anais do XXI SNPTEE**. GOP26, 2011.
- [44] DESTER, Mauricio. A inserção das fontes eólica, biomassa e solar na matriz elétrica frente às características do sistema interligado nacional e o atendimento pleno da carga. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica. **Anais do XXI SNPTEE**. GPL9, 2011.
- [45] SILVA, Milthon S.; SCHWARZ, Harald; PFEIFFER, Klaus. Integração da geração eólica nas redes de transmissão e distribuição, caso alemão. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica. **Anais do XXI SNPTEE**, GPL22, 2011.

- [46] SOUZA, Luiz F. W.; MELLO, Alex J. C.; GUIMARÃES, Angela C. S. L.; RODRIGUES, Guilherme C. A medição do impacto da conexão de usinas eólicas sobre a qualidade da energia das redes elétricas. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica. **Anais do XXI SNPTEE**. GDS7, 2011.
- [47] GUIMARÃES, Angela C. S. L.; FREIRE, Antonio R. F.; MOURA, Danielly F. P.; SOARES, Ricardo. M. Análise sobre o impacto do acesso de agentes de geração eólico no SIN – Um estudo de caso de conexão através da rede de 69kV. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica. **Anais do XXI SNPTEE**, GPT28, 2011.
- [48] MANGUEIRA, Heitor H. D.; SAAVEDRA, Osvaldo R.; Pessanha, José E. O. Impacto of Wind generation on the dispatch of the system: A fuzzy approach. *Electrical Power and Energy Systems* 30 (2008) p.67–72.
- [49] CANOSSA, Jâine H. **Um programa interativo para estudos de fluxo de potencia**. UNESP. Ilha solteira. Ago. 2007.
- [50] PIZZALI, Luis F. O. **Cálculo de fluxo de potência em redes de distribuição com modelagem a quatro fio**. UNESP. Ilha solteira. Mai. 2003.
- [51] FERRAZ, Julio C.R.; MARTINS, Nelson; PINTO, Herminio J.C.P.; FALCÃO, Djalma M. Fluxo de potência continuado e análise modal na avaliação e melhoria da estabilidade de tensão do sistema Sul – Sudeste. In: VII Simpósio de Especialistas em Planejamento da operação e expansão elétrica. **anais do SEPOPE VII**, 2000. Curitiba.
- [52] ANTUNES, Vinícius J. L. **Desenvolvimento de um software didático para análise do cálculo do fluxo de potência – PF Analyst**. UFPR. Curitiba 2007.
- [53] CEPEL – **Programas Computacionais, website**. Disponível em: <<http://www.cepel.br/servicos/descprog.shtm>> Acesso em 19/03/2012.
- [54] GONÇALVES, David N.; RODRIGUES, Marco A. P.; MONTEZUMA, Leandro R.; NERI, Thiago F. Gestão de interligações do SIN por indicadores de desempenho. **X Seminário Técnico de Proteção e Controle**. ST-06. Recife/PE. Out.2010.
- [55] SPERANDIO, Mauricio; COELHO, Jorge. Métodos de programação inteira aplicados ao planejamento da automação de sistemas de manobra em redes de distribuição. *Revista Controle & Automação*. Vol. 21 nº5. Set/Out de 2010. p 463 – 476.
- [56] SWERA. Solar and Wind Energy Resource Assessment. Disponível em: <<http://en.openei.org/apps/SWERA/>>. Acesso em 18-06-2012.
- [57] Universidade do Colorado. **Mapa das Zonas UTM**. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/gif/utmzones.gif>. Acesso em 15 mai. 2012

- [58] FERREIRA, Adir A. B. **METODOLOGIA DE PREVISÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE CURTO PRAZO PARA PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICO**. Dissertação de Mestrado unipampa. Alegrete/RS. Ago. 2012.

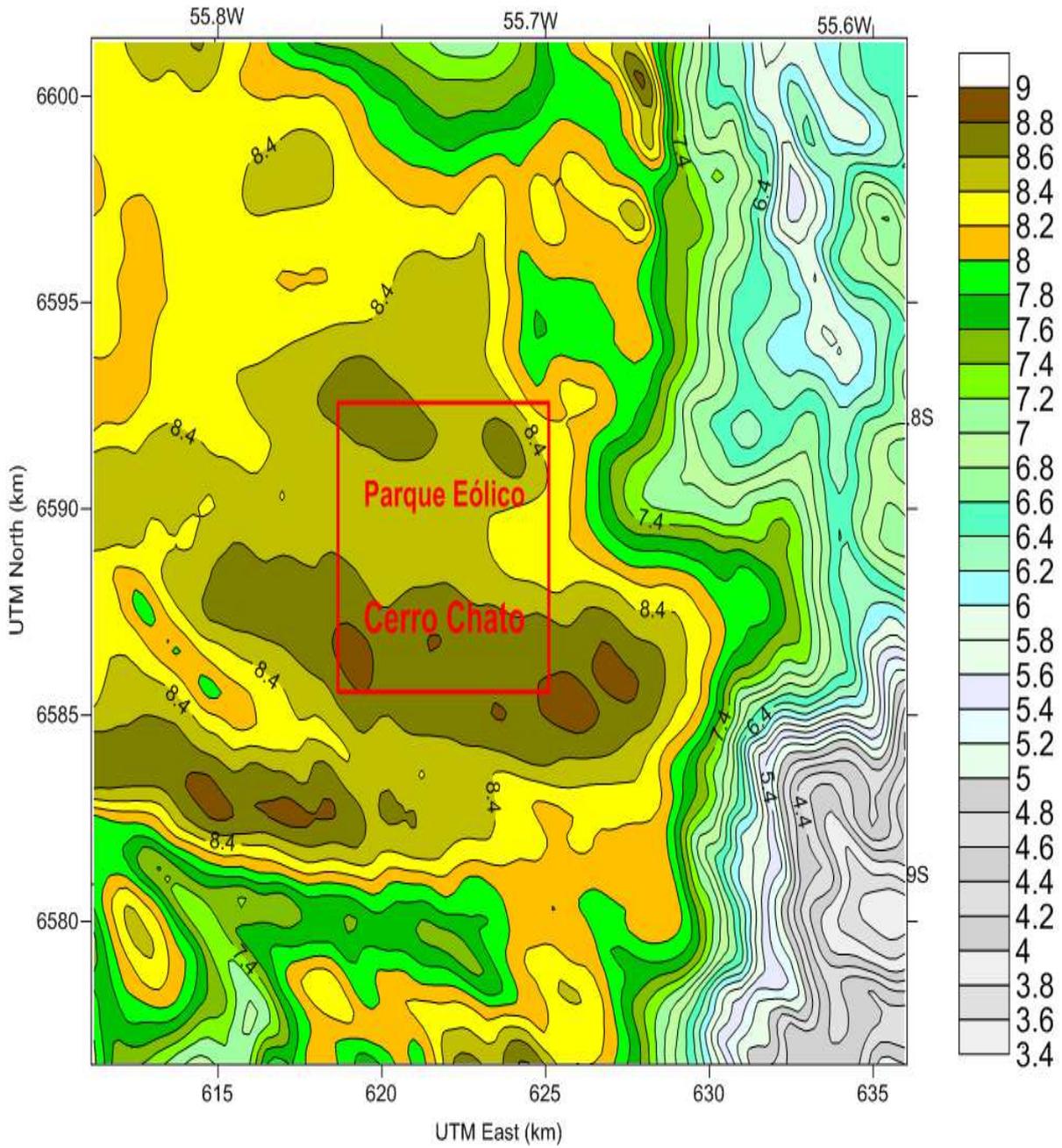
APENDICE A

APÊNDICE A - Velocidade do Vento às 1h

# Velocidade do Vento à 01:00h

jan 17, 2012  
01:00 LST(UTC-0300)

UTM Zone: 21  
Hemisphere: S  
Datum: WGS-84



Fonte: Ferreira, 2012.

## APÊNDICE B - Tabela da Velocidade do vento à 1h e Energia gerada

| Dados de Vento à 01:00h |             |    |            |                      |                          |             |    |            |                      |
|-------------------------|-------------|----|------------|----------------------|--------------------------|-------------|----|------------|----------------------|
| Ponto                   | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) | Ponto                    | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) |
|                         | x           | y  | m/s        |                      |                          | x           | y  | m/s        |                      |
| 1                       | 40          | 41 | 8,77       | 763640,73            | 24                       | 41          | 58 | 8,56       | 710087,06            |
| 2                       | 42          | 42 | 8,81       | 774137,37            | 25                       | 37          | 58 | 8,53       | 702647,33            |
| 3                       | 43          | 45 | 8,72       | 750653,92            | 26                       | 35          | 57 | 8,46       | 685490,43            |
| 4                       | 44          | 39 | 8,78       | 766255,94            | 27                       | 42          | 62 | 8,62       | 725123,70            |
| 5                       | 46          | 42 | 8,79       | 768877,11            | 28                       | 44          | 62 | 8,59       | 717579,13            |
| 6                       | 48          | 43 | 8,71       | 748074,36            | 29                       | 47          | 60 | 8,56       | 710087,06            |
| 7                       | 50          | 37 | 8,78       | 766255,94            | 30                       | 51          | 55 | 8,41       | 673408,03            |
| 8                       | 51          | 39 | 8,76       | 761031,48            | 31                       | 48          | 61 | 8,57       | 712578,59            |
| 9                       | 54          | 38 | 8,77       | 763640,73            | 32                       | 51          | 61 | 8,69       | 742932,97            |
| 10                      | 55          | 34 | 8,76       | 761031,48            | 33                       | 53          | 60 | 8,65       | 732720,98            |
| 11                      | 50          | 44 | 8,67       | 737815,20            | 34                       | 55          | 56 | 8,41       | 673408,03            |
| 12                      | 46          | 49 | 8,45       | 683062,48            | 35                       | 59          | 60 | 8,26       | 638014,35            |
| 13                      | 48          | 50 | 8,44       | 680640,28            | 36                       | 60          | 52 | 8,17       | 617385,57            |
| 14                      | 52          | 47 | 8,46       | 685490,43            | 37                       | 61          | 50 | 8,22       | 628790,19            |
| 15                      | 53          | 48 | 8,39       | 668615,11            | 38                       | 65          | 49 | 8,13       | 608361,81            |
| 16                      | 34          | 49 | 8,53       | 702647,33            | 39                       | 66          | 50 | 7,93       | 564559,69            |
| 17                      | 35          | 50 | 8,43       | 678223,80            | 40                       | 68          | 49 | 8,02       | 584000,76            |
| 18                      | 37          | 47 | 8,51       | 697716,49            | 41                       | 57          | 44 | 8,60       | 720088,14            |
| 19                      | 38          | 50 | 8,49       | 692808,77            | 42                       | 55          | 43 | 8,66       | 735265,15            |
| 20                      | 40          | 50 | 8,46       | 685490,43            | 43                       | 59          | 38 | 8,82       | 776776,47            |
| 21                      | 42          | 52 | 8,46       | 685490,43            | 44                       | 63          | 40 | 8,84       | 782072,65            |
| 22                      | 45          | 54 | 8,49       | 692808,77            | 45                       | 66          | 39 | 8,82       | 776776,47            |
| 23                      | 42          | 59 | 8,57       | 712578,59            | <b>TOTAL GERADO (kW)</b> |             |    |            | <b>31.845,14</b>     |

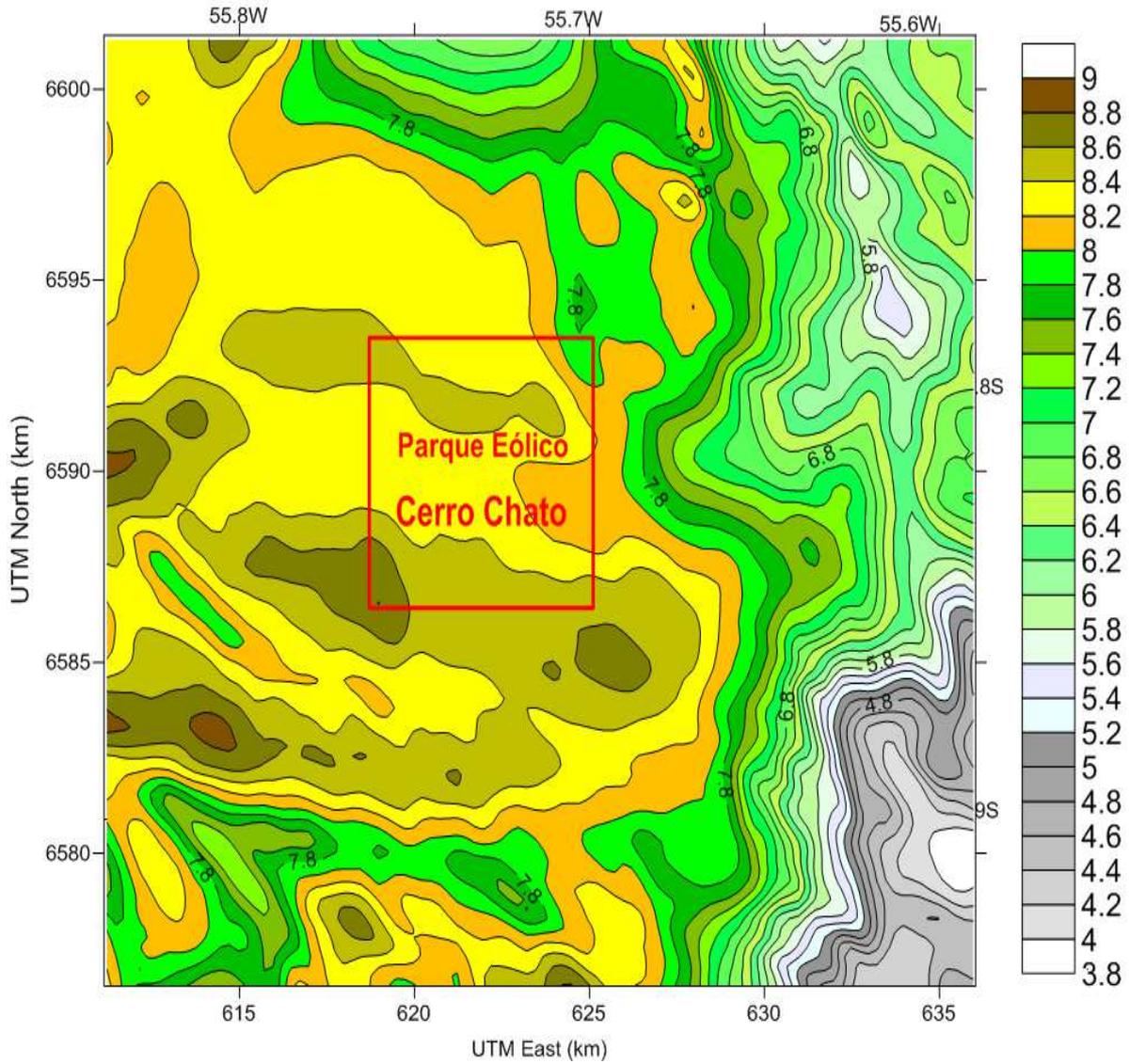
Fonte: FERREIRA, 2012.

APÊNDICE C - Velocidade do Vento às 2h

# Velocidade do Vento às 02:00h

jan 17, 2012  
02:00 LST(UTC-0300)

UTM Zone: 21  
Hemisphere: S  
Datum: WGS-84



Fonte: FERREIRA, 2012.

## APÊNDICE D - Tabela com a Velocidade do Vento e Energia Gerada às 2h.

| Dados de Vento às 02:00h |             |    |            |                      |                     |             |    |            |                      |
|--------------------------|-------------|----|------------|----------------------|---------------------|-------------|----|------------|----------------------|
| Ponto                    | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) | Ponto               | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) |
|                          | x           | y  | m/s        |                      |                     | x           | y  | m/s        |                      |
| 1                        | 40          | 41 | 8,53       | 702647,33            | 24                  | 41          | 58 | 8,38       | 666227,20            |
| 2                        | 42          | 42 | 8,53       | 702647,33            | 25                  | 37          | 58 | 8,31       | 649670,84            |
| 3                        | 43          | 45 | 8,48       | 690363,56            | 26                  | 35          | 57 | 8,24       | 633391,08            |
| 4                        | 44          | 39 | 8,49       | 692808,77            | 27                  | 42          | 62 | 8,46       | 685490,43            |
| 5                        | 46          | 42 | 8,51       | 697716,49            | 28                  | 44          | 62 | 8,44       | 680640,28            |
| 6                        | 48          | 43 | 8,46       | 685490,43            | 29                  | 47          | 60 | 8,39       | 668615,11            |
| 7                        | 50          | 37 | 8,53       | 702647,33            | 30                  | 51          | 55 | 8,17       | 617385,57            |
| 8                        | 51          | 39 | 8,53       | 702647,33            | 31                  | 48          | 61 | 8,41       | 673408,03            |
| 9                        | 54          | 38 | 8,58       | 715075,94            | 32                  | 51          | 61 | 8,48       | 690363,56            |
| 10                       | 55          | 34 | 8,60       | 720088,14            | 33                  | 53          | 60 | 8,42       | 675813,06            |
| 11                       | 50          | 44 | 8,42       | 675813,06            | 34                  | 55          | 56 | 8,21       | 626498,13            |
| 12                       | 46          | 49 | 8,24       | 633391,08            | 35                  | 59          | 60 | 8,13       | 608361,81            |
| 13                       | 48          | 50 | 8,23       | 631087,84            | 36                  | 60          | 52 | 8,04       | 588380,74            |
| 14                       | 52          | 47 | 8,22       | 628790,19            | 37                  | 61          | 50 | 8,09       | 599426,40            |
| 15                       | 53          | 48 | 8,17       | 617385,57            | 38                  | 65          | 49 | 7,96       | 570991,32            |
| 16                       | 34          | 49 | 8,43       | 678223,80            | 39                  | 66          | 50 | 7,80       | 537247,14            |
| 17                       | 35          | 50 | 8,31       | 649670,84            | 40                  | 68          | 49 | 7,82       | 541390,42            |
| 18                       | 37          | 47 | 8,39       | 668615,11            | 41                  | 57          | 44 | 8,38       | 666227,20            |
| 19                       | 38          | 50 | 8,37       | 663844,99            | 42                  | 55          | 43 | 8,43       | 678223,80            |
| 20                       | 40          | 50 | 8,33       | 654372,91            | 43                  | 59          | 38 | 8,62       | 725123,70            |
| 21                       | 42          | 52 | 8,30       | 647328,28            | 44                  | 63          | 40 | 8,59       | 717579,13            |
| 22                       | 45          | 54 | 8,27       | 640334,40            | 45                  | 66          | 39 | 8,54       | 705121,43            |
| 23                       | 42          | 59 | 8,41       | 673408,03            | <b>TOTAL GERADO</b> |             |    |            | <b>29.679,98</b>     |

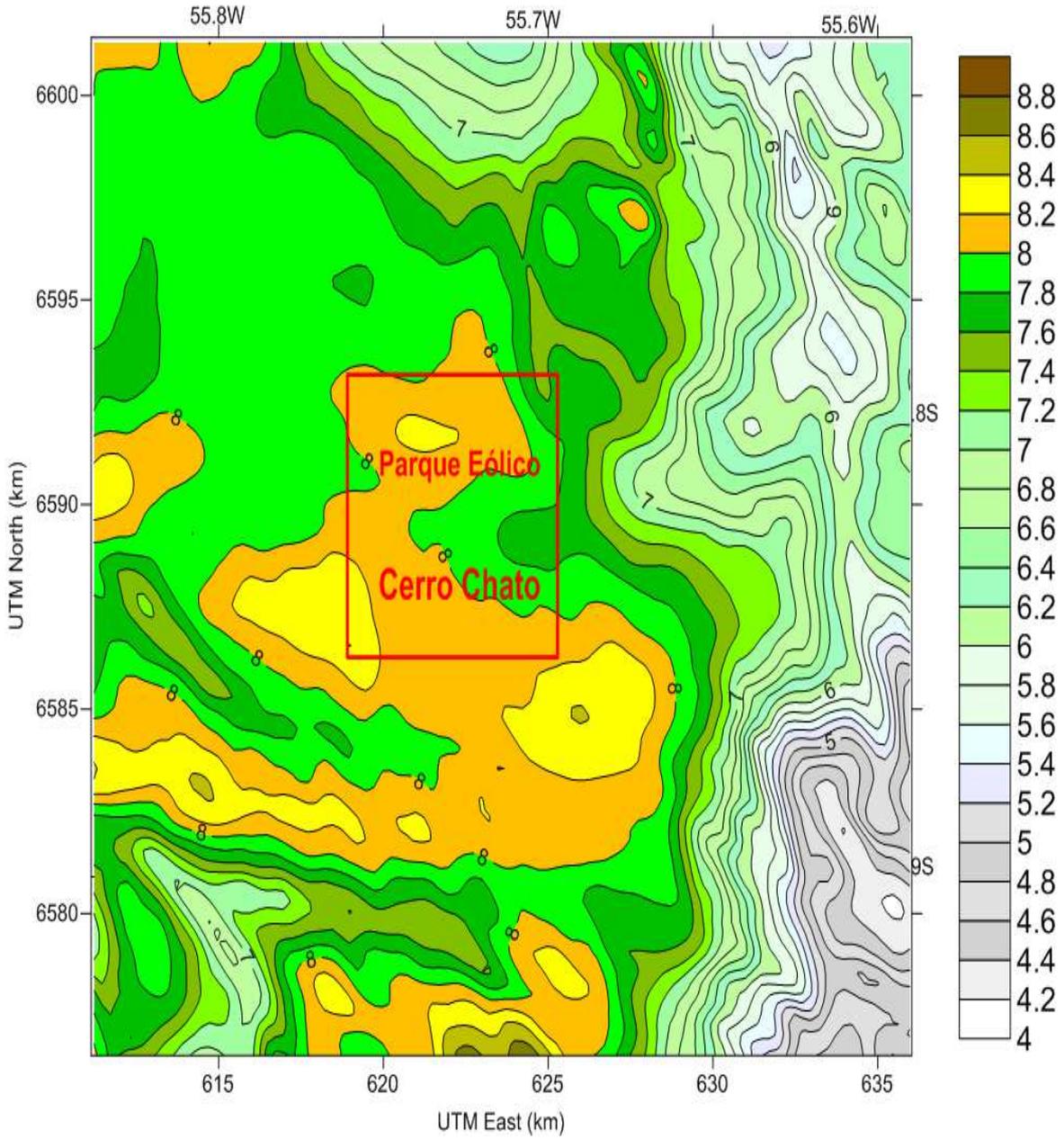
Fonte: FERREIRA, 2012.

APÊNDICE E - Velocidade do Vento às 3h

# Velocidade do Vento às 03:00h

jan 17, 2012  
03:00 LST(UTC-0300)

UTM Zone: 21  
Hemisphere: S  
Datum: WGS-84



Fonte: FERREIRA, 2012.

## APÊNDICE F - Tabela Velocidade do Vento às 3h

| Dados de Vento às 03:00h |             |    |            |                      |              |             |    |            |                      |
|--------------------------|-------------|----|------------|----------------------|--------------|-------------|----|------------|----------------------|
| Ponto                    | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) | Ponto        | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) |
|                          | x           | y  | m/s        |                      |              | z           | x  | y          |                      |
| 1                        | 40          | 41 | 8,14       | 610609,45            | 24           | 41          | 58 | 8,12       | 606119,69            |
| 2                        | 42          | 42 | 8,15       | 612862,62            | 25           | 37          | 58 | 8,05       | 590578,93            |
| 3                        | 43          | 45 | 8,10       | 601652,00            | 26           | 35          | 57 | 7,98       | 575306,10            |
| 4                        | 44          | 39 | 8,13       | 608361,81            | 27           | 42          | 62 | 8,24       | 633391,08            |
| 5                        | 46          | 42 | 8,14       | 610609,45            | 28           | 44          | 62 | 8,21       | 626498,13            |
| 6                        | 48          | 43 | 8,08       | 597206,31            | 29           | 47          | 60 | 8,10       | 601652,00            |
| 7                        | 50          | 37 | 8,16       | 615121,32            | 30           | 51          | 55 | 7,85       | 547645,19            |
| 8                        | 51          | 39 | 8,14       | 610609,45            | 31           | 48          | 61 | 8,12       | 606119,69            |
| 9                        | 54          | 38 | 8,18       | 619655,37            | 32           | 51          | 61 | 8,17       | 617385,57            |
| 10                       | 55          | 34 | 8,25       | 635699,91            | 33           | 53          | 60 | 8,10       | 601652,00            |
| 11                       | 50          | 44 | 8,05       | 590578,93            | 34           | 55          | 56 | 7,86       | 549740,77            |
| 12                       | 46          | 49 | 7,89       | 556059,56            | 35           | 59          | 60 | 7,77       | 531071,95            |
| 13                       | 48          | 50 | 7,88       | 553947,95            | 36           | 60          | 52 | 7,73       | 522912,21            |
| 14                       | 52          | 47 | 7,91       | 560298,88            | 37           | 61          | 50 | 7,79       | 535183,45            |
| 15                       | 53          | 48 | 7,85       | 547645,19            | 38           | 65          | 49 | 7,68       | 512830,64            |
| 16                       | 34          | 49 | 8,13       | 608361,81            | 39           | 66          | 50 | 7,53       | 483365,04            |
| 17                       | 35          | 50 | 8,03       | 586188,02            | 40           | 68          | 49 | 7,58       | 493057,90            |
| 18                       | 37          | 47 | 8,05       | 590578,93            | 41           | 57          | 44 | 8,02       | 584000,76            |
| 19                       | 38          | 50 | 8,08       | 597206,31            | 42           | 55          | 43 | 8,05       | 590578,93            |
| 20                       | 40          | 50 | 8,03       | 586188,02            | 43           | 59          | 38 | 8,26       | 638014,35            |
| 21                       | 42          | 52 | 7,99       | 577471,62            | 44           | 63          | 40 | 8,27       | 640334,40            |
| 22                       | 45          | 54 | 7,96       | 570991,32            | 45           | 66          | 39 | 8,27       | 640334,40            |
| 23                       | 42          | 59 | 8,15       | 612862,62            | TOTAL GERADO |             |    |            | 26.388,54            |

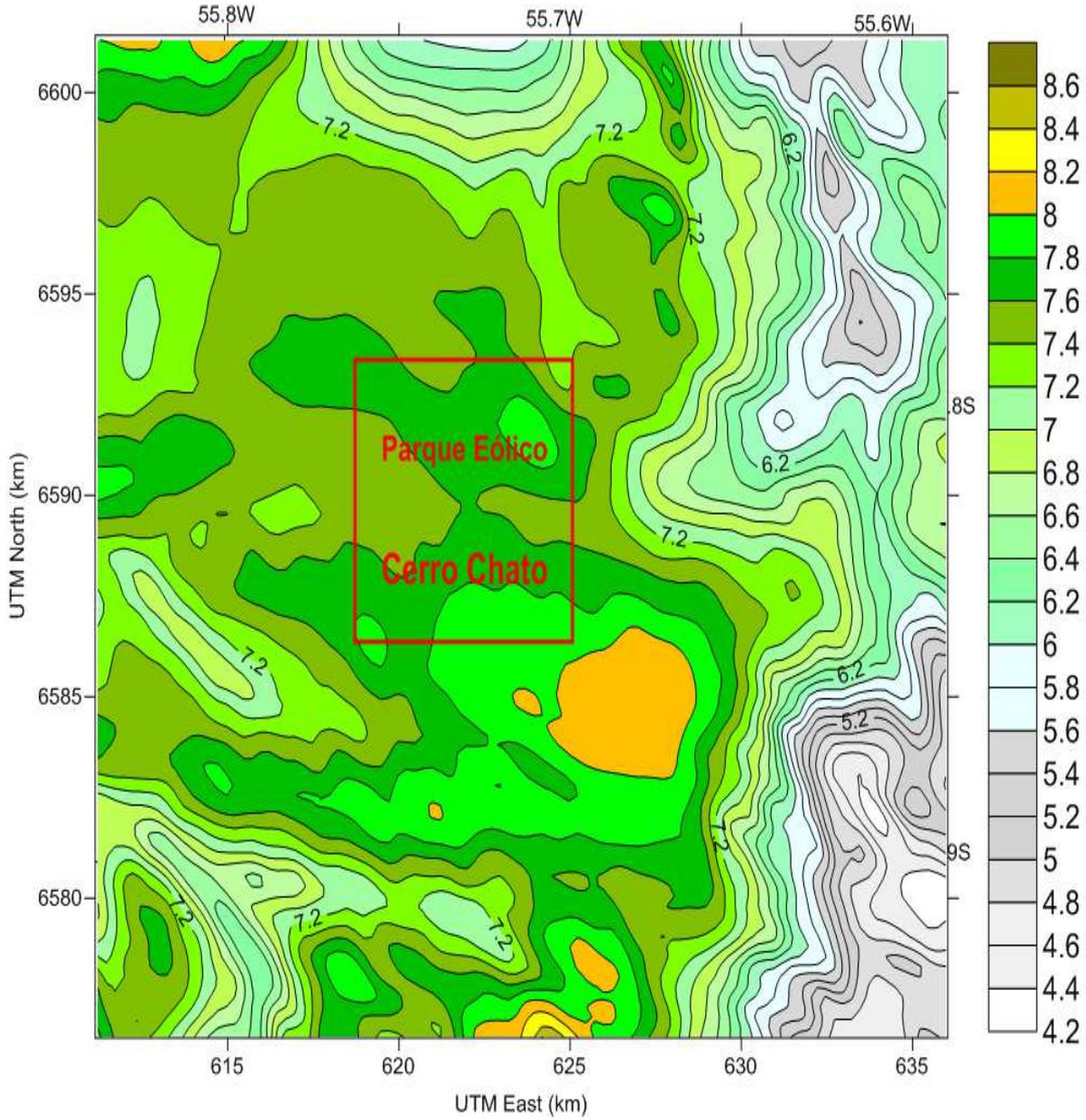
Fonte: FERREIRA, 2012.

APÊNDICE G - Velocidade do Vento às 4h

# Velocidade do Vento às 04:00h

jan 17, 2012  
04:00 LST(UTC-0300)

UTM Zone: 21  
Hemisphere: S  
Datum: WGS-84



Fonte: FERREIRA, 2012.

## APÊNDICE H – Tabela Velocidade do Vento às 4h

| Dados de Vento às 04:00h |             |    |                   |                            |              |             |    |                   |                         |
|--------------------------|-------------|----|-------------------|----------------------------|--------------|-------------|----|-------------------|-------------------------|
| Ponto                    | Coordenadas |    | Velocidade<br>m/s | Potência<br>Gerada<br>(kW) | Ponto        | Coordenadas |    | Velocidade<br>m/s | Potência<br>Gerada (kW) |
|                          | x           | y  | z                 |                            |              | x           | y  | z                 |                         |
| 1                        | 40          | 41 | 7,79              | 535183,45                  | 24           | 41          | 58 | 7,65              | 506844,35               |
| 2                        | 42          | 42 | 7,86              | 549740,77                  | 25           | 37          | 58 | 7,55              | 487226,79               |
| 3                        | 43          | 45 | 7,81              | 539316,13                  | 26           | 35          | 57 | 7,47              | 471902,32               |
| 4                        | 44          | 39 | 7,88              | 553947,95                  | 27           | 42          | 62 | 7,75              | 526981,55               |
| 5                        | 46          | 42 | 7,93              | 564559,69                  | 28           | 44          | 62 | 7,76              | 529024,11               |
| 6                        | 48          | 43 | 7,89              | 556059,56                  | 29           | 47          | 60 | 7,76              | 529024,11               |
| 7                        | 50          | 37 | 7,96              | 570991,32                  | 30           | 51          | 55 | 7,60              | 496971,04               |
| 8                        | 51          | 39 | 7,94              | 566698,17                  | 31           | 48          | 61 | 7,80              | 537247,14               |
| 9                        | 54          | 38 | 7,97              | 573146,00                  | 32           | 51          | 61 | 7,94              | 566698,17               |
| 10                       | 55          | 34 | 8,00              | 579642,56                  | 33           | 53          | 60 | 7,91              | 560298,88               |
| 11                       | 50          | 44 | 7,87              | 551841,68                  | 34           | 55          | 56 | 7,67              | 510830,00               |
| 12                       | 46          | 49 | 7,65              | 506844,35                  | 35           | 59          | 60 | 7,61              | 498935,35               |
| 13                       | 48          | 50 | 7,67              | 510830,00                  | 36           | 60          | 52 | 7,51              | 479523,74               |
| 14                       | 52          | 47 | 7,73              | 522912,21                  | 37           | 61          | 50 | 7,54              | 485293,35               |
| 15                       | 53          | 48 | 7,68              | 512830,64                  | 38           | 65          | 49 | 7,44              | 466239,55               |
| 16                       | 34          | 49 | 7,57              | 491109,06                  | 39           | 66          | 50 | 7,28              | 436801,82               |
| 17                       | 35          | 50 | 7,48              | 473800,05                  | 40           | 68          | 49 | 7,34              | 447691,12               |
| 18                       | 37          | 47 | 7,58              | 493057,90                  | 41           | 57          | 44 | 7,79              | 535183,45               |
| 19                       | 38          | 50 | 7,59              | 495011,89                  | 42           | 55          | 43 | 7,84              | 545554,94               |
| 20                       | 40          | 50 | 7,59              | 495011,89                  | 43           | 59          | 38 | 8,05              | 590578,93               |
| 21                       | 42          | 52 | 7,59              | 495011,89                  | 44           | 63          | 40 | 8,07              | 594991,70               |
| 22                       | 45          | 54 | 7,60              | 496971,04                  | 45           | 66          | 39 | 8,12              | 606119,69               |
| 23                       | 42          | 59 | 7,70              | 516847,57                  | TOTAL GERADO |             |    |                   | 23.561,33               |

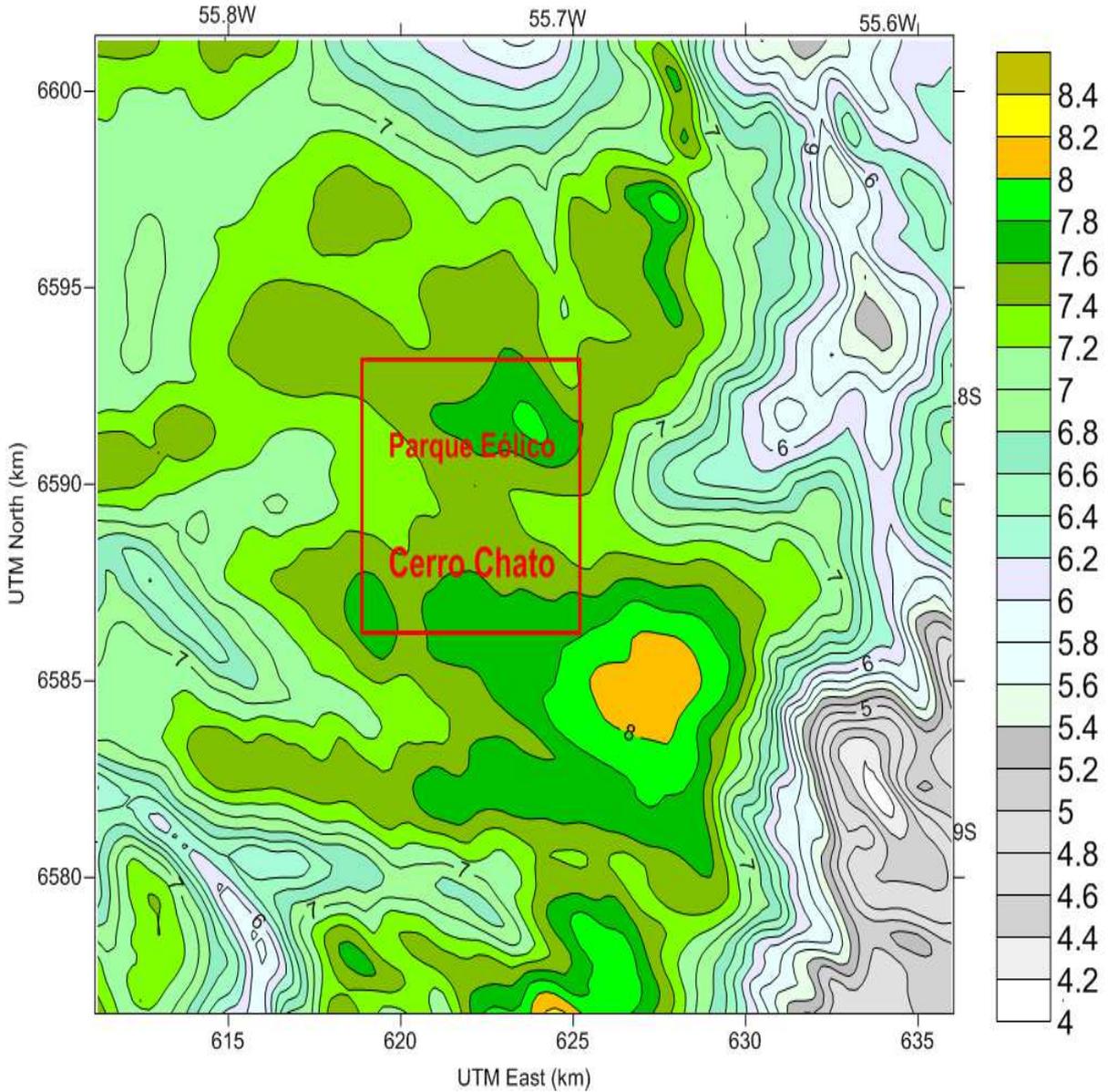
Fonte: Ferreira, 2012.

APÊNDICE I - Velocidade do Vento às 5h

# Velocidade do Vento às 05:00h

jan 17, 2012  
05:00 LST(UTC-0300)

UTM Zone: 21  
Hemisphere: S  
Datum: WGS-84



Fonte: FERREIRA, 2012.

## APÊNDICE J – Tabela Velocidade do Vento às 5h

| Dados de Vento às 05:00h |             |    |                   |                         |                     |             |    |                   |                         |
|--------------------------|-------------|----|-------------------|-------------------------|---------------------|-------------|----|-------------------|-------------------------|
| Ponto                    | Coordenadas |    | Velocidade<br>m/s | Potência<br>Gerada (kW) | Ponto               | Coordenadas |    | Velocidade<br>m/s | Potência<br>Gerada (kW) |
|                          | x           | y  | z                 |                         |                     | x           | y  | z                 |                         |
| 1                        | 40          | 41 | 7,63              | 502879,48               | 24                  | 41          | 58 | 7,52              | 481441,84               |
| 2                        | 42          | 42 | 7,66              | 508834,58               | 25                  | 37          | 58 | 7,36              | 451360,71               |
| 3                        | 43          | 45 | 7,62              | 500904,83               | 26                  | 35          | 57 | 7,25              | 431424,02               |
| 4                        | 44          | 39 | 7,64              | 504859,32               | 27                  | 42          | 62 | 7,63              | 502879,48               |
| 5                        | 46          | 42 | 7,66              | 508834,58               | 28                  | 44          | 62 | 7,65              | 506844,35               |
| 6                        | 48          | 43 | 7,61              | 498935,35               | 29                  | 47          | 60 | 7,67              | 510830,00               |
| 7                        | 50          | 37 | 7,74              | 524944,25               | 30                  | 51          | 55 | 7,44              | 466239,55               |
| 8                        | 51          | 39 | 7,72              | 520885,43               | 31                  | 48          | 61 | 7,72              | 520885,43               |
| 9                        | 54          | 38 | 7,77              | 531071,95               | 32                  | 51          | 61 | 7,85              | 547645,19               |
| 10                       | 55          | 34 | 7,83              | 543470,02               | 33                  | 53          | 60 | 7,81              | 539316,13               |
| 11                       | 50          | 44 | 7,61              | 498935,35               | 34                  | 55          | 56 | 7,54              | 485293,35               |
| 12                       | 46          | 49 | 7,44              | 466239,55               | 35                  | 59          | 60 | 7,55              | 487226,79               |
| 13                       | 48          | 50 | 7,46              | 470009,66               | 36                  | 60          | 52 | 7,28              | 436801,82               |
| 14                       | 52          | 47 | 7,48              | 473800,05               | 37                  | 61          | 50 | 7,29              | 438604,30               |
| 15                       | 53          | 48 | 7,44              | 466239,55               | 38                  | 65          | 49 | 7,21              | 424322,54               |
| 16                       | 34          | 49 | 7,40              | 458759,92               | 39                  | 66          | 50 | 7,07              | 400081,57               |
| 17                       | 35          | 50 | 7,30              | 440411,74               | 40                  | 68          | 49 | 7,16              | 415555,82               |
| 18                       | 37          | 47 | 7,44              | 466239,55               | 41                  | 57          | 44 | 7,58              | 493057,90               |
| 19                       | 38          | 50 | 7,45              | 468122,08               | 42                  | 55          | 43 | 7,62              | 500904,83               |
| 20                       | 40          | 50 | 7,45              | 468122,08               | 43                  | 59          | 38 | 7,91              | 560298,88               |
| 21                       | 42          | 52 | 7,45              | 468122,08               | 44                  | 63          | 40 | 7,97              | 573146,00               |
| 22                       | 45          | 54 | 7,48              | 473800,05               | 45                  | 66          | 39 | 8,05              | 590578,93               |
| 23                       | 42          | 59 | 7,57              | 491109,06               | <b>TOTAL GERADO</b> |             |    |                   | <b>22.020,2699</b>      |

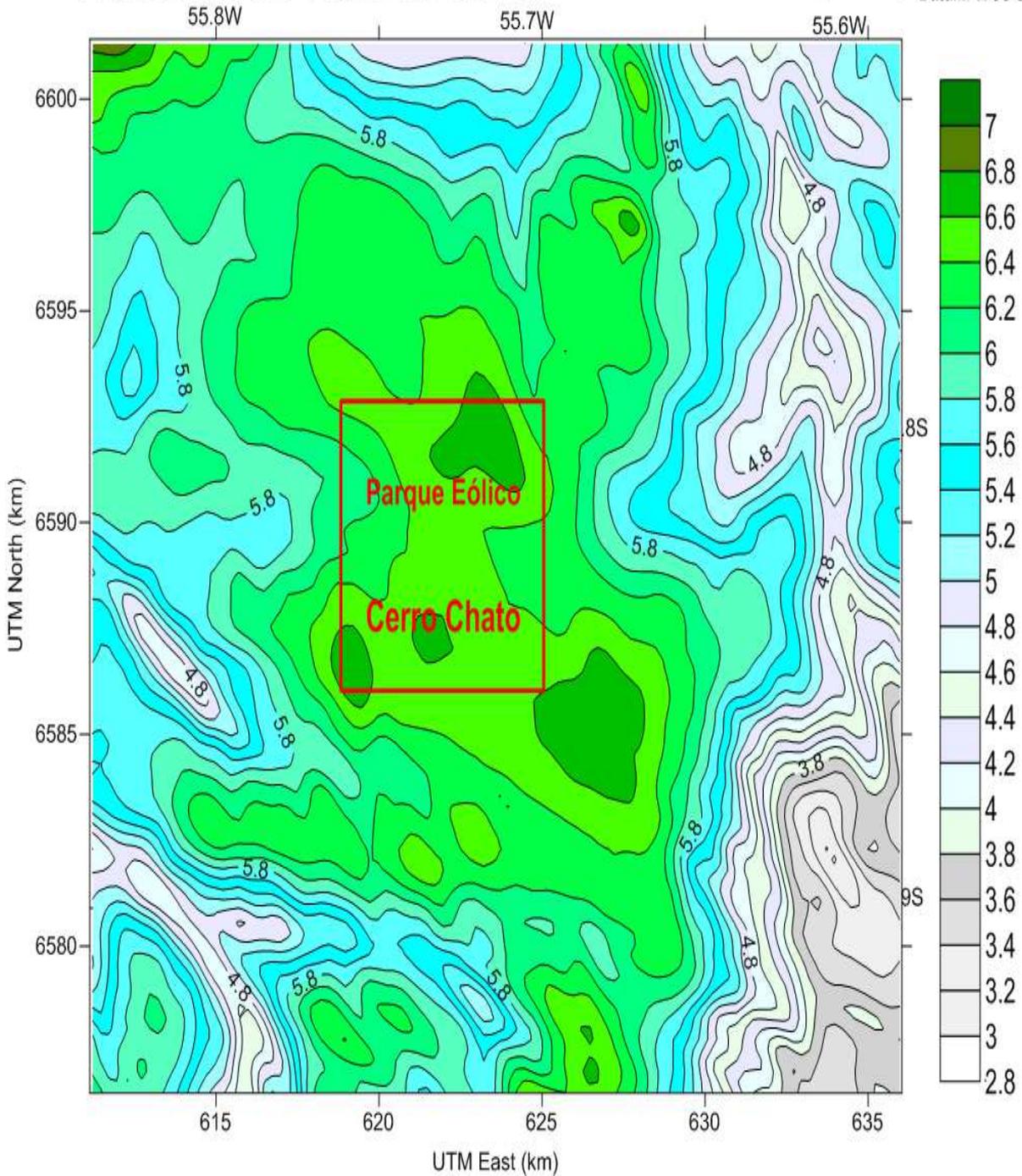
Fonte: FERREIRA, 2012.

APÊNDICE K - Velocidade do Vento às 6h

# Velocidade do Vento às 06:00h

jan 17, 2012  
06:00 LST(UTC-0300)

UTM Zone: 21  
Hemisphere: S  
Datum: WGS-84



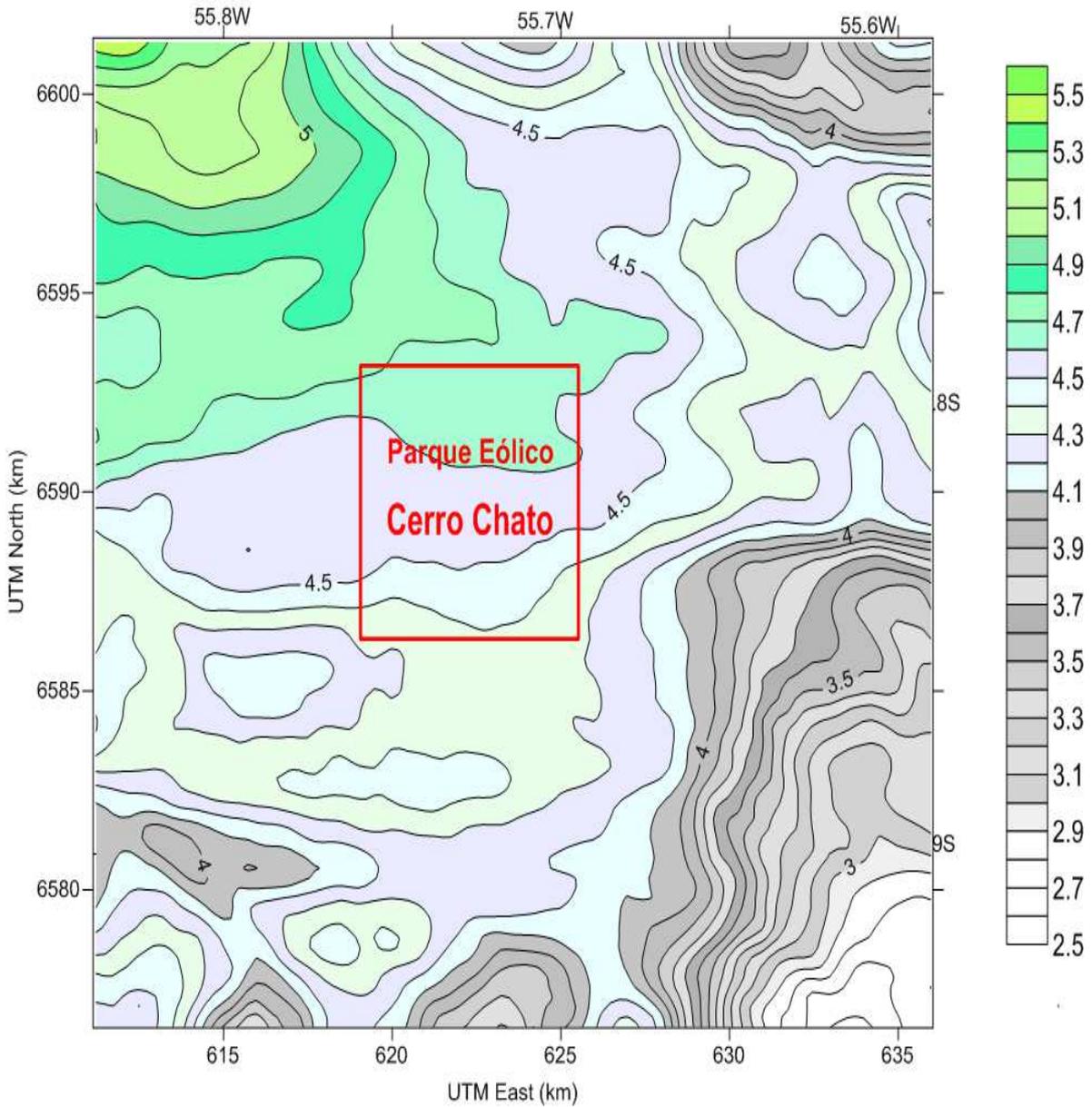
Fonte: FERREIRA, 2012.

## APÊNDICE L – Tabela Velocidade do Vento às 6h

| Dados de Vento às 06:00h |             |    |            |                      |              |             |    |            |                      |
|--------------------------|-------------|----|------------|----------------------|--------------|-------------|----|------------|----------------------|
| Ponto                    | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) | Ponto        | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) |
|                          | x           | y  | m/s        |                      |              | z           | x  | y          |                      |
| 1                        | 40          | 41 | 6,57       | 321060,16            | 24           | 41          | 58 | 6,49       | 309474,16            |
| 2                        | 42          | 42 | 6,61       | 326960,04            | 25           | 37          | 58 | 6,28       | 280394,34            |
| 3                        | 43          | 45 | 6,62       | 328446,22            | 26           | 35          | 57 | 6,13       | 260778,47            |
| 4                        | 44          | 39 | 6,53       | 315231,67            | 27           | 42          | 62 | 6,59       | 324001,15            |
| 5                        | 46          | 42 | 6,60       | 325478,35            | 28           | 44          | 62 | 6,64       | 331432,08            |
| 6                        | 48          | 43 | 6,54       | 316682,12            | 29           | 47          | 60 | 6,61       | 326960,04            |
| 7                        | 50          | 37 | 6,56       | 319596,36            | 30           | 51          | 55 | 6,42       | 299567,98            |
| 8                        | 51          | 39 | 6,55       | 318137,02            | 31           | 48          | 61 | 6,65       | 332931,77            |
| 9                        | 54          | 38 | 6,57       | 321060,16            | 32           | 51          | 61 | 6,75       | 348178,24            |
| 10                       | 55          | 34 | 6,56       | 319596,36            | 33           | 53          | 60 | 6,68       | 337457,97            |
| 11                       | 50          | 44 | 6,53       | 315231,67            | 34           | 55          | 56 | 6,45       | 303787,18            |
| 12                       | 46          | 49 | 6,44       | 302376,41            | 35           | 59          | 60 | 6,34       | 288508,15            |
| 13                       | 48          | 50 | 6,47       | 306621,88            | 36           | 60          | 52 | 6,25       | 276395,11            |
| 14                       | 52          | 47 | 6,40       | 296776,99            | 37           | 61          | 50 | 6,27       | 279057,00            |
| 15                       | 53          | 48 | 6,37       | 292623,10            | 38           | 65          | 49 | 6,17       | 265916,81            |
| 16                       | 34          | 49 | 6,36       | 291247,13            | 39           | 66          | 50 | 6,04       | 249460,12            |
| 17                       | 35          | 50 | 6,26       | 277723,93            | 40           | 68          | 49 | 6,10       | 256968,45            |
| 18                       | 37          | 47 | 6,43       | 300970,01            | 41           | 57          | 44 | 6,44       | 302376,41            |
| 19                       | 38          | 50 | 6,44       | 302376,41            | 42           | 55          | 43 | 6,48       | 308045,82            |
| 20                       | 40          | 50 | 6,47       | 306621,88            | 43           | 59          | 38 | 6,66       | 334435,98            |
| 21                       | 42          | 52 | 6,47       | 306621,88            | 44           | 63          | 40 | 6,68       | 337457,97            |
| 22                       | 45          | 54 | 6,49       | 309474,16            | 45           | 66          | 39 | 6,66       | 334435,98            |
| 23                       | 42          | 59 | 6,55       | 318137,02            | TOTAL GERADO |             |    |            | 13.827,07            |

Fonte: FERREIRA, 2012.

APÊNDICE M - Velocidade do Vento às 7h  
**Velocidade do Vento às 07:00h**  
jan 17, 2012  
07:00 LST(UTC-0300)  
UTM Zone: 21  
Hemisphere: S  
Datum: WGS-84



Fonte: FERREIRA, 2012.

## APÊNDICE N – Tabela Velocidade do Vento às 7h

| Dados de Vento às 06:00h |             |    |            |                      |                     |             |    |            |                      |
|--------------------------|-------------|----|------------|----------------------|---------------------|-------------|----|------------|----------------------|
| Ponto                    | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) | Ponto               | Coordenadas |    | Velocidade | Potência Gerada (kW) |
|                          | x           | y  | m/s        |                      |                     | z           | x  | y          |                      |
| 1                        | 40          | 41 | 6,57       | 321060,16            | 24                  | 41          | 58 | 6,49       | 309474,16            |
| 2                        | 42          | 42 | 6,61       | 326960,04            | 25                  | 37          | 58 | 6,28       | 280394,34            |
| 3                        | 43          | 45 | 6,62       | 328446,22            | 26                  | 35          | 57 | 6,13       | 260778,47            |
| 4                        | 44          | 39 | 6,53       | 315231,67            | 27                  | 42          | 62 | 6,59       | 324001,15            |
| 5                        | 46          | 42 | 6,60       | 325478,35            | 28                  | 44          | 62 | 6,64       | 331432,08            |
| 6                        | 48          | 43 | 6,54       | 316682,12            | 29                  | 47          | 60 | 6,61       | 326960,04            |
| 7                        | 50          | 37 | 6,56       | 319596,36            | 30                  | 51          | 55 | 6,42       | 299567,98            |
| 8                        | 51          | 39 | 6,55       | 318137,02            | 31                  | 48          | 61 | 6,65       | 332931,77            |
| 9                        | 54          | 38 | 6,57       | 321060,16            | 32                  | 51          | 61 | 6,75       | 348178,24            |
| 10                       | 55          | 34 | 6,56       | 319596,36            | 33                  | 53          | 60 | 6,68       | 337457,97            |
| 11                       | 50          | 44 | 6,53       | 315231,67            | 34                  | 55          | 56 | 6,45       | 303787,18            |
| 12                       | 46          | 49 | 6,44       | 302376,41            | 35                  | 59          | 60 | 6,34       | 288508,15            |
| 13                       | 48          | 50 | 6,47       | 306621,88            | 36                  | 60          | 52 | 6,25       | 276395,11            |
| 14                       | 52          | 47 | 6,40       | 296776,99            | 37                  | 61          | 50 | 6,27       | 279057,00            |
| 15                       | 53          | 48 | 6,37       | 292623,10            | 38                  | 65          | 49 | 6,17       | 265916,81            |
| 16                       | 34          | 49 | 6,36       | 291247,13            | 39                  | 66          | 50 | 6,04       | 249460,12            |
| 17                       | 35          | 50 | 6,26       | 277723,93            | 40                  | 68          | 49 | 6,10       | 256968,45            |
| 18                       | 37          | 47 | 6,43       | 300970,01            | 41                  | 57          | 44 | 6,44       | 302376,41            |
| 19                       | 38          | 50 | 6,44       | 302376,41            | 42                  | 55          | 43 | 6,48       | 308045,82            |
| 20                       | 40          | 50 | 6,47       | 306621,88            | 43                  | 59          | 38 | 6,66       | 334435,98            |
| 21                       | 42          | 52 | 6,47       | 306621,88            | 44                  | 63          | 40 | 6,68       | 337457,97            |
| 22                       | 45          | 54 | 6,49       | 309474,16            | 45                  | 66          | 39 | 6,66       | 334435,98            |
| 23                       | 42          | 59 | 6,55       | 318137,02            | <b>TOTAL GERADO</b> |             |    |            | <b>13.827,07</b>     |

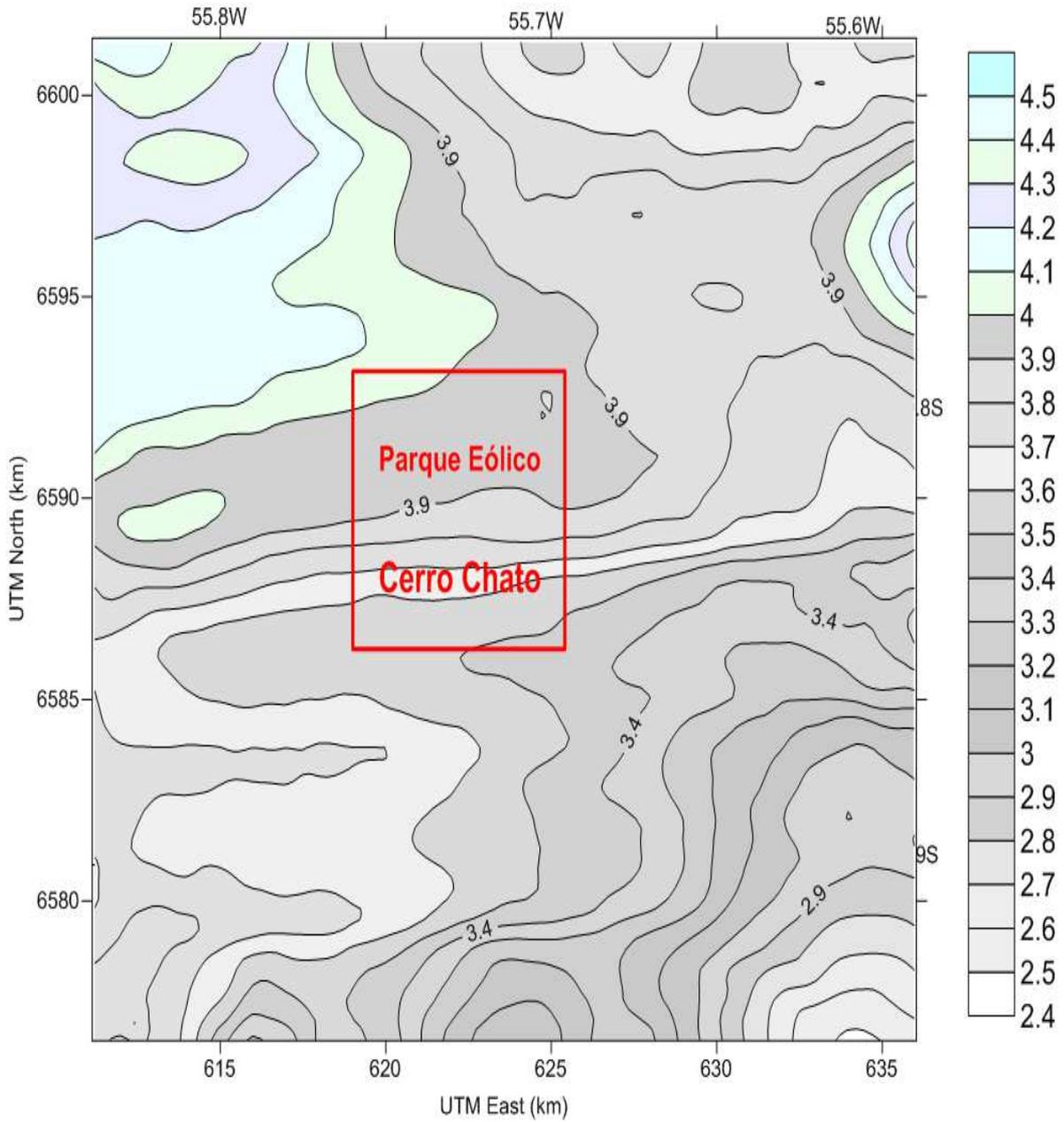
Fonte: FERREIRA, 2012.

APÊNDICE O - Velocidade do Vento às 8h

**Velocidade do Vento às 08:00h**

jan 17, 2012  
08:00 LST(UTC-0300)

UTM Zone: 21  
Hemisphere: S  
Datum: WGS-84



Fonte: FERREIRA, 2012.

## APÊNDICE P – Tabela Velocidade do Vento às 8h

| Dados de Vento às 08:00h |             |    |                   |                         |  |                     |             |    |                   |                         |
|--------------------------|-------------|----|-------------------|-------------------------|--|---------------------|-------------|----|-------------------|-------------------------|
| Ponto                    | Coordenadas |    | Velocidade<br>m/s | Potência<br>Gerada (kW) |  | Ponto               | Coordenadas |    | Velocidade<br>m/s | Potência<br>Gerada (kW) |
|                          | x           | y  | z                 |                         |  |                     | x           | y  | z                 |                         |
| 1                        | 40          | 41 | 3,53              | 49798,29                |  | 24                  | 41          | 58 | 3,92              | 68194,37                |
| 2                        | 42          | 42 | 3,53              | 49798,29                |  | 25                  | 37          | 58 | 3,93              | 68717,60                |
| 3                        | 43          | 45 | 3,61              | 53261,32                |  | 26                  | 35          | 57 | 3,93              | 68717,60                |
| 4                        | 44          | 39 | 3,51              | 48956,65                |  | 27                  | 42          | 62 | 3,93              | 68717,60                |
| 5                        | 46          | 42 | 3,53              | 49798,29                |  | 28                  | 44          | 62 | 3,93              | 68717,60                |
| 6                        | 48          | 43 | 3,54              | 50222,70                |  | 29                  | 47          | 60 | 3,93              | 68717,60                |
| 7                        | 50          | 37 | 3,50              | 48539,40                |  | 30                  | 51          | 55 | 3,89              | 66640,63                |
| 8                        | 51          | 39 | 3,49              | 48124,54                |  | 31                  | 48          | 61 | 3,93              | 68717,60                |
| 9                        | 54          | 38 | 3,46              | 46894,14                |  | 32                  | 51          | 61 | 3,93              | 68717,60                |
| 10                       | 55          | 34 | 3,51              | 48956,65                |  | 33                  | 53          | 60 | 3,93              | 68717,60                |
| 11                       | 50          | 44 | 3,56              | 51078,75                |  | 34                  | 55          | 56 | 3,92              | 68194,37                |
| 12                       | 46          | 49 | 3,74              | 59225,01                |  | 35                  | 59          | 60 | 3,94              | 69243,49                |
| 13                       | 48          | 50 | 3,78              | 61145,67                |  | 36                  | 60          | 52 | 3,84              | 64103,83                |
| 14                       | 52          | 47 | 3,63              | 54151,46                |  | 37                  | 61          | 50 | 3,76              | 60180,23                |
| 15                       | 53          | 48 | 3,68              | 56420,09                |  | 38                  | 65          | 49 | 3,67              | 55961,39                |
| 16                       | 34          | 49 | 3,75              | 59701,34                |  | 39                  | 66          | 50 | 3,72              | 58279,94                |
| 17                       | 35          | 50 | 3,79              | 61632,24                |  | 40                  | 68          | 49 | 3,64              | 54600,23                |
| 18                       | 37          | 47 | 3,67              | 55961,39                |  | 41                  | 57          | 44 | 3,52              | 49376,27                |
| 19                       | 38          | 50 | 3,78              | 61145,67                |  | 42                  | 55          | 43 | 3,52              | 49376,27                |
| 20                       | 40          | 50 | 3,77              | 60661,67                |  | 43                  | 59          | 38 | 3,44              | 46085,64                |
| 21                       | 42          | 52 | 3,84              | 64103,83                |  | 44                  | 63          | 40 | 3,42              | 45286,49                |
| 22                       | 45          | 54 | 3,89              | 66640,63                |  | 45                  | 66          | 39 | 3,38              | 43716,00                |
| 23                       | 42          | 59 | 3,93              | 68717,60                |  | <b>TOTAL GERADO</b> |             |    |                   | <b>2.623,92</b>         |

Fonte: FERREIRA, 2012.

## APÊNDICE Q – Publicações

- ✓ - IX Congresso Latino-Americano de Geração e Transporte de Energia Elétrica – CLAGTEE 2011, de 6 a 9 de novembro na Cidade de Mar del Plata – Argentina.

Título: Determinação de um Modelo de Previsão do Potencial Eólico de Curto Prazo para Planejamento da Operação de Sistemas Elétricos.

- ✓ VII Brazilian Micrometeorology Workshop, de 16 a 18 de novembro em Santa Maria - RS

Título: Modelo de Previsão do Potencial Eólico e Geração de Energia em Curto Prazo para Parques Eólicos

- ✓ Publicação na Revista Ciência e Natura: Edição suplementar, novembro de 2011  
([http://cascavel.ufsm.br/revista\\_ccne/ojs/index.php/cienciaenatura/issue/view/38/showToc](http://cascavel.ufsm.br/revista_ccne/ojs/index.php/cienciaenatura/issue/view/38/showToc) )
- ✓ XII SEPOPE – Symposium of specialists in electric operational and expansion planning, 20 a 23 Maio de 2012 no Rio de Janeiro - RJ

Título: Metodologia de Previsão do Potencial Eólico de Curto Prazo para Planejamento e Programação da Operação Energética.

- ✓ UPEC 2012 - 47th International Universities Power Engineering Conference de 4 a 7 de setembro de 2012 em London, UK

Título: Short-Term Wind Farm Power Forecasting with Numerical Weather Prediction  
Resumo aprovado