

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JUAN SEBASTIÁN DE LEÓN**

**OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE  
COMPLEXOS EÓLICOS  
INTERLIGADOS AO SIN NA REGIÃO  
SUL UTILIZANDO FERRAMENTAS  
PDCA, WRF E ANAREDE.**

**Bagé  
2017**

**JUAN SEBASTIÁN DE LEÓN**

**OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE  
COMPLEXOS EÓLICOS  
INTERLIGADOS AO SIN NA REGIÃO  
SUL UTILIZANDO FERRAMENTAS  
PDCA, WRF E ANAREDE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia de Energia como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Martin Cruz Rodríguez Paz  
Co-orientador: Marcelo Romero de Moraes

**Bagé  
2017**

S715o de León, Juan Sebastián

Otimização da operação de complexos eólicos interligados ao SIN na região sul utilizando ferramentas PDCA, WRF e ANAREDE. / Juan Sebastián de León. – julho, 2017.

68 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Engenharia de Energia, 2017.

“Orientação: Martin Cruz Rodríguez Paz; Co-orientação: Marcelo Romero de Moraes”.

1. Complexos Eólicos. 2. ANAREDE. 3. SIN. 4. Operação do Sistema. I. Título.

**JUAN SEBASTIÁN DE LEÓN**

**OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE**

**COMPLEXOS EÓLICOS**

**INTERLIGADOS AO SIN NA REGIÃO**

**SUL UTILIZANDO FERRAMENTAS**

**PDCA, WRF E ANAREDE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia de Energia como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 11 de julho de 2017.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Martin Cruz Rodríguez Paz  
Orientador

---

Prof. Msc. Alejandro Gutierrez  
Universidad de la República - Udelar - IMFIA

---

Eng. Msc Pedro Hidalgo  
Exército Brasileiro - Departamento de Ciência e Tecnologia

*À minha vó Mirian (In memoriam), fonte  
inesgotável de amor e apoio.*

## AGRADECIMENTOS

A meu pai e meus avô pelo apoio incondicional após esses 5 anos, e de todo o incentivo que me fez chegar até aqui.

A minha vó Mirian, que não se encontra mais entre nós, sendo ela responsável de todas realizações, maior fonte de inspiração cumprindo assim seu último desejo.

A meu orientador, Prof. Dr. Martín Cruz Rodríguez Paz, pela disposição e esforço em atender minhas dúvidas e conduzir minha orientação.

A meu co-orientador Prof. Dr. Marcelo Romero, pelos ensinamentos e dedicação, que foram chaves importantes para a realização deste trabalho.

A meu colega Everton de Almeida, pela constante disposição em contribuir e ajudar no desenvolvimento do trabalho.

A Maurício Carrilho, Roberto Carlotto, Darian Guerra e demais da Eletrosul - Centrais Elétricas S.A, pela gentileza em disponibilizar materiais e contribuir com o desenvolvimento de atividades relacionadas ao Complexo Eólico Cerro Chato.

A Kalyna Paniago pelo apoio nessa longa caminhada, sem dúvidas muitas realizações foram realizadas graças ao seu apoio incondicional em momentos tão difíceis.

A Eduardo Carvalho pelo companheirismo, amizade e convivência amena nessa longa caminhada de mais de 4 anos na cidade.

A Alejandro Gutierrez da *Udelar - Fing* pela vontade em conhecer e participar da avaliação do trabalho, contribuindo muito quando solicitado.

A Pedro Hidalgo pelo apoio e incentivo desde 2014 para a realização do trabalho na presente área.

A todos meus colegas de curso, por cada momento, ajuda e compartilhamento, que tornam a caminhada da graduação mais amena, descontraída e rica nos melhores dos sentidos.

*“Escolhe um trabalho de que gostes, e não  
terás que trabalhar nem um dia na tua vida.*

***Confúcio***

## RESUMO

O sistema interligado nacional brasileiro (SIN) tem características as quais o tornam único a nível mundial. A matriz energética brasileira começou a sentir a presença da energia eólica, que por incentivos do governo e o descenso do preço da tecnologia com um potencial muito forte nas regiões sul e nordeste se fez muito presente em pouco tempo. A energia eólica gera inúmeras incertezas, uma delas é a capacidade de geração futura. O ONS, órgão responsável pela rede básica do SIN recebe por parte das usinas a perspectiva de geração. Em trabalhos anteriores foi possível perceber e ajustar os erros dessas previsões e no trabalho atual será elaborada a visão global de todo o processo, desde o gerenciamento para a criação do Programa Diário Eletroenergético (PDO) e quantificando o efeito dentro do SIN com as ferramentas implementadas em trabalhos anteriores tais como o PDCA e da forma que se opera hoje em dia, sempre visando o futuro da energia eólica na região. O trabalho utilizará o modelo computacional projetado pela CEPEL, ANAREDE, o qual é utilizado pelo ONS entre outros, no intuito de verificar como se comporta o sistema nos diferentes fluxos de carga, e como implica no fim o efeito das previsões dentro do mercado energético.

**Palavras-chave:** Complexos Eólicos. ANAREDE. SIN. Operação do Sistema.



## ABSTRACT

The Brazilian national interconnected system (SIN) has characteristics that make it unique worldwide. The Brazilian energy matrix began to feel the presence of wind energy, which by government incentives and the drop in the price of technology with a very strong potential in the south and northeast has become very present in a short time. Wind power generates many uncertainties, one of which is future generation capacity. The ONS, the entity responsible for the basic SIN grid, receives the generation perspective from the mills. In previous works it was possible to perceive and adjust the errors of these predictions and in the current work will be elaborated the global vision of the whole process, from the management to the creation of the Diário Eletroenergético (PDO) and quantifying the effect within the SIN with the implemented tools. In previous works such as the PDCA and the way it operates today, always aiming at the future of wind energy in the region. The work will use the computational model designed by CEPEL, ANAREDE, which is used by ONS among others, in order to verify how the system behaves in the different load flows, and how it implies in the end the effect of the predictions within the energy market.

**Keywords:** SIN, System Operation, ANAREDE, Wind Farms.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Potencial Eólico Anual .....	14
Figura 1.2	Energia Eólica na região sul .....	15
Figura 1.3	Resultado da Operação Diária de Complexos Eólicos .....	16
Figura 3.1	Comparação do SIN a Europa .....	18
Figura 3.2	Subdivisões do SIN.....	19
Figura 3.3	Instituições do Modelo .....	23
Figura 3.4	Evolução da capacidade instalada de usinas eólicas (UGs em operação comercial) e geração eólica verificada no SIN. ....	25
Figura 3.5	Montagem típica do cabeçalho de uma turbina eólica .....	26
Figura 3.6	Turbinas eólicas de eixo horizontal no Complexo Eólico Campos Neutrais.	27
Figura 3.7	Curva de potência do Wobben-Enercon E-82.....	28
Figura 3.8	Produção de energia eólica no SIN.....	28
Figura 3.9	Fator de capacidade no SIN.....	29
Figura 3.10	Ciclo <i>PDCA</i> .....	32
Figura 3.11	Níveis ETA .....	34
Figura 4.1	Script para obtenção dos dados <i>GFS</i> .....	41
Figura 4.2	Modulo real sendo executado .....	42
Figura 4.3	Modulo WRF sendo executado .....	43
Figura 4.4	Estimação de velocidades de vento .....	44
Figura 4.5	Estimação de energia produzida por complexo .....	44
Figura 4.6	Estimação de energia injetada no SIN pelos complexos .....	45
Figura 4.7	Equivalente do SIN para a área de estudo .....	47
Figura 4.8	Área de trabalho do FormCepel.....	48
Figura 4.9	Área de trabalho do EditCepel.....	49
Figura 4.10	Área de trabalho do ANAREDE.....	49
Figura 5.1	Cerro Chato - Dia 9 de junho.....	51
Figura 5.2	Campos Neutrais - Dia 9 de junho.....	52
Figura 5.3	Santa Vitória do Palmar - Dia 11 de junho .....	52
Figura 5.4	Cassino - Dia 11 de junho.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Cronograma de elaboração do PDP.....	21
Tabela 3.2	Legenda da figura.....	26
Tabela 3.3	Complexos Eólicos no Sul.....	30
Tabela 3.4	Aerogeradores dos complexos.....	31
Tabela 3.5	Fator de capacidade das usinas eólicas no SIN.....	31
Tabela 3.6	Estabilidade segundo o comprimento de Obukhov.....	35
Tabela 3.7	Estabilidade segundo o gradiente Richardson.....	36
Tabela 4.1	Dados geográficos dos complexos.....	40
Tabela 4.2	Estabilidade segundo o gradiente Richardson.....	46
Tabela 4.3	Estabilidade segundo o gradiente Richardson.....	46
Tabela 5.1	Energia produzida pelos complexos.....	50
Tabela 5.2	Desvios de geração.....	51
Tabela 5.3	Resultado Intercâmbio.....	53
Tabela 5.4	Fator de capacidade dos complexos.....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCEE	Câmara de Comercialização de energia elétrica
CCVE	Contrato de Compra e Venda de Energia
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
GW	Giga Watt
LT	Linha de transmissão
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Mega Watt
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDCA	Plan, do, check, act
PDP	Programa Diário de Produção
PMO	Programa Mensal de Operação
RS	Estado do Rio Grande do Sul
SIN	Sistema Interligado Nacional

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1 Sistema Interligado Nacional (SIN)</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2 Operador Nacional do Sistema (ONS)</b> .....	<b>19</b>
3.2.1 Programação Diária da Operação Eletroenergética (PDO) .....	20
3.2.2 Programa Mensal de Operação (PMO).....	21
3.2.3 Modalidades Operativas.....	21
<b>3.3 Mercado Energético</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4 Energia Eólica no Brasil</b> .....	<b>23</b>
3.4.1 Mercado para energia eólica .....	24
<b>3.5 Turbinas Eólicas: funcionamento e operação</b> .....	<b>24</b>
<b>3.6 Área de estudo</b> .....	<b>28</b>
3.6.1 Complexos Eólicos no Sul .....	29
3.6.2 Interligação dos Complexos Eólicos ao SIN .....	29
<b>3.7 Fator de capacidade</b> .....	<b>29</b>
<b>3.8 Ciclo PDCA</b> .....	<b>31</b>
<b>3.9 Previsão Numérica de fenômenos meteorológicos</b> .....	<b>32</b>
<b>3.10 Modelo Numérico de previsão meteorológica WRF</b> .....	<b>33</b>
<b>3.11 Níveis ETA</b> .....	<b>33</b>
<b>3.12 Estabilidade atmosférica</b> .....	<b>34</b>
3.12.1 Lei da potência do vento .....	35
3.12.2 Comprimento de Obukhov .....	35
3.12.3 Rugosidade do solo .....	35
3.12.4 Gradiente Richardson.....	36
<b>3.13 Fluxos de Carga</b> .....	<b>36</b>
<b>3.14 ANAREDE</b> .....	<b>37</b>
3.14.1 Casos de referência .....	38
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1 Definição do ciclo PDCA</b> .....	<b>39</b>
<b>4.2 Situações para a implementação</b> .....	<b>39</b>
<b>4.3 Definição dos pontos de obtenção de dados de vento</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4 Estimativas de velocidades de vento utilizando o modelo WRF</b> .....	<b>40</b>
4.4.1 Obtenção dos dados do sistema global de previsão .....	40
4.4.2 Pré-processamento das informações .....	41
4.4.3 Determinação das <i>times series output</i> .....	41
4.4.4 Executando o WRF .....	41
<b>4.5 Estimativa da energia produzida</b> .....	<b>42</b>
4.5.1 Correções do ciclo PDCA .....	45
<b>4.6 Definição das barras da área de estudo</b> .....	<b>46</b>
4.6.1 Cenários de carga no SIN .....	47
4.6.1.1 <i>FormCepel</i> .....	48
4.6.1.2 <i>EditCepel</i> .....	48
4.6.2 Simulações de fluxo de potência com o ANAREDE .....	49
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>50</b>
<b>5.1 Energia Produzida</b> .....	<b>50</b>
<b>5.2 Margens de erros aferidos</b> .....	<b>50</b>
5.2.1 Flutuação da energia produzida .....	50

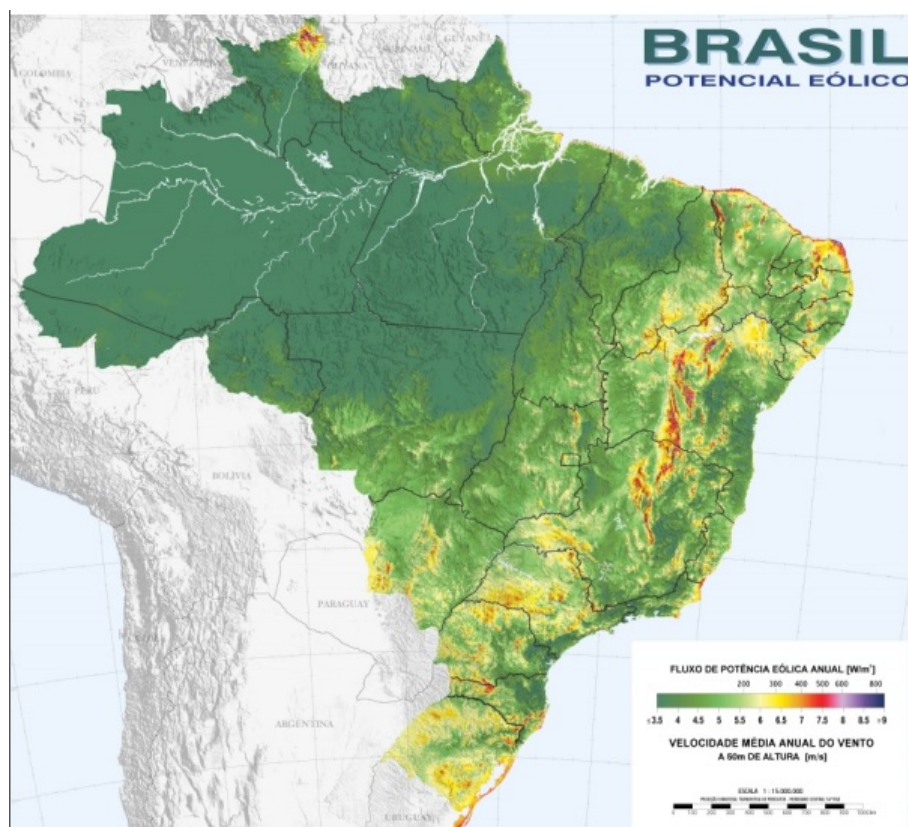
<b>5.3 Resultado da Operação do SIN.....</b>	<b>53</b>
<b>5.4 Fator de capacidade .....</b>	<b>54</b>
<b>5.5 Ajustes do PDCA .....</b>	<b>54</b>
<b>6 DISCUSSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>6.1 Otimização obtida após implementação .....</b>	<b>56</b>
<b>6.2 Níveis de disponibilidade da fonte eólica .....</b>	<b>56</b>
<b>6.3 Estimação de adversidades no SIN.....</b>	<b>57</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO I - SCRIPT I.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO II - SCRIPT II.....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia eólica tem sua origem na formação de ventos pelo movimento da rotação do planeta associado a diferentes níveis de radiação incidentes na atmosfera, causando diferenças de temperatura. A energia cinética do vento é convertida em energia elétrica com uso de aerogeradores, que podem ser dos mais variados tipos, tamanhos e potências, variando também a escala de produção e capacidade de suprir diferentes cargas[1].

O uso da energia eólica para geração de energia elétrica vem crescendo de forma acelerada no mundo todo. Segundo a Associação Mundial de Energia Eólica, 100 países faziam uso dessa energia em 2015. O Brasil possui regiões com grandes potenciais eólicos e estas vêm sendo exploradas aos poucos. Na Figura 1, o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro deixa em evidência o potencial da região sul, foco de pesquisa neste trabalho[2].

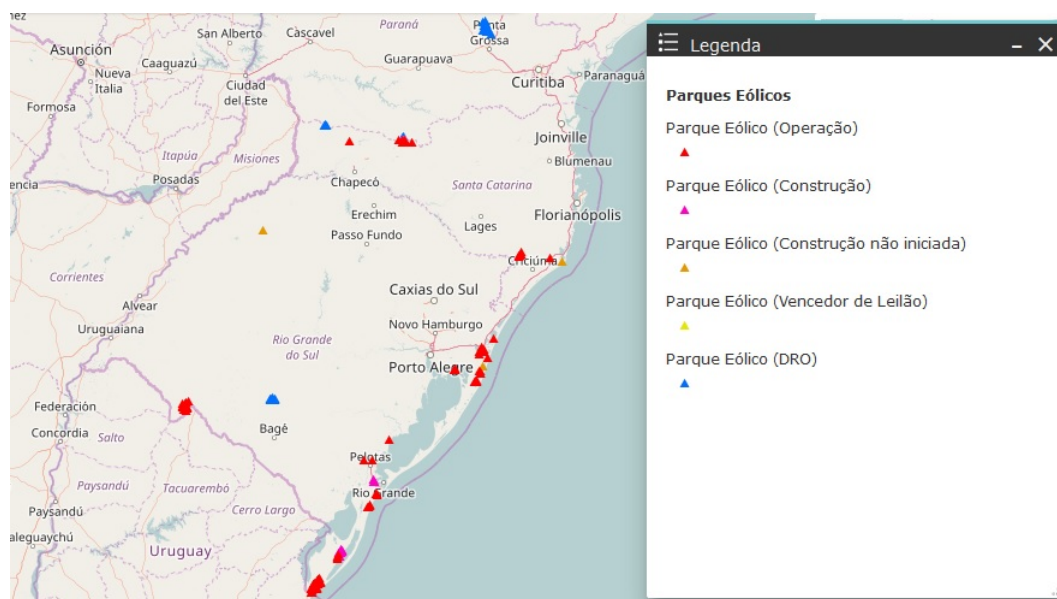
Figura 1.1: Potencial Eólico Anual



Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro - Ministério de Minas e Energia.

A expansão da energia eólica supera os 62 % em relação a anos anteriores, onde atingirá até 2024 10% da matriz energética brasileira. Segundo o Operador Nacional do Sistema (ONS), 20 % da capacidade instalada dessa fonte se encontra nos estados de Santa

Figura 1.2: Energia Eólica na região sul



Fonte: Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL) - Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Catarina e Rio Grande do Sul. Por outro lado, o Sistema Interligado Nacional (SIN), gerenciado pelo ONS é o responsável pela distribuição dessa energia, onde existem diversos obstáculos na região sul, sendo uma delas a pouca existência de linhas de transmissão, limitando a operação dos complexos eólicos no despacho de energia. A seguir Figura 1.2 contendo a localização dos complexos na região sul do país.

O presente trabalho tem como finalidade analisar o Sistema Interligado Nacional(SIN) na região sul, onde se tem até hoje aproximadamente 1600 MW de potência instalada. O maior enfrentamento diário do ONS é a previsão de geração, onde segundo o ONS, há uma margem de erro que pode passar os 70%, como mostra a Figura 1.3.

Em trabalhos anteriores foi elaborado um métodos mais eficaz para gerir a energia produzida em parques eólicos, com a contribuição de simulações computacionais, foi criado um ciclo *PDCA* (Plan, Do, Check, Act) contribuindo as operações dentro do Programa Diário de Produção de Energia (PDP) do ONS, juntamente com esses dados será analisado o impacto causado pela utilização do *PDCA* dentro do SIN utilizando o mesmo *software* do ONS, o **ANAREDE**.

As simulações computacionais através de métodos numéricos proveem de dados de vento, dado de relevância para a estimação de energia produzida, diminuindo margens de erro existentes nas programações dos complexos, de modo que os dados possam ser aferidos em programas tais como o ANAREDE verificando assim o comportamento do



Figura 1.3: Resultado da Operação Diária de Complexos Eólicos



CONJUNTO EOLICO			
CONJUNTO EOLICO LICINIO DE ALMEIDA	45,60	30,33	-33,49
CONJUNTO EOLICO LIVRAMENTO 2	54,48	58,47	7,32
CONJUNTO EOLICO MACACOS	42,04	56,25	33,80
CONJUNTO EOLICO MARMELEIRO 2	2,58	5,09	97,29
CONJUNTO EOLICO MODELO	32,71	0,00	-100,00
CONJUNTO EOLICO MORRAO	48,92	40,69	-16,82
CONJUNTO EOLICO MORRO DOS VENTOS	64,92	75,73	16,65
CONJUNTO EOLICO MORRO DOS VENTOS II	46,15	50,74	9,95
CONJUNTO EOLICO NOSSA SENHORA DA CONCEICAO	58,12	56,40	-2,96
CONJUNTO EOLICO OLHO DAGUA	45,50	52,88	16,22
CONJUNTO EOLICO PAPAGAIOS	12,71	5,96	-53,11
CONJUNTO EOLICO PARANATAMA	45,23	43,28	-4,31
CONJUNTO EOLICO PEDRA BRANCA	146,85	157,26	7,09
CONJUNTO EOLICO PELOURINHO	22,96	20,38	-11,24
CONJUNTO EOLICO PLANALTINA	44,62	41,40	-7,22
CONJUNTO EOLICO QUINTA 138 KV	9,46	11,22	18,60
CONJUNTO EOLICO QUINTA 69 KV	4,29	2,65	-38,23
CONJUNTO EOLICO RENASCENCA	84,69	90,92	7,36
CONJUNTO EOLICO RENASCENCA V	38,15	44,29	16,09
CONJUNTO EOLICO SANTA CLARA	69,77	74,57	6,88
CONJUNTO EOLICO SANTA ROSALIA	37,65	29,61	-21,35
CONJUNTO EOLICO SANTA VITORIA DO PALMAR	65,77	53,04	-19,36
CONJUNTO EOLICO SAO BASILIO	0,00	8,29	0,00
CONJUNTO EOLICO SAO CLEMENTE	110,75	108,41	-2,11
CONJUNTO EOLICO SERRA AZUL	22,31	32,22	44,42
CONJUNTO EOLICO SERRA DE SANTANA 12	70,25	64,94	-7,56
CONJUNTO EOLICO SERRA DE SANTANA 3	35,15	46,10	31,15
CONJUNTO EOLICO TACARATU	46,92	1,23	-97,38
CONJUNTO EOLICO TRAIRI	44,85	20,23	-54,89
CONJUNTO EOLICO UNIAO DOS VENTOS	87,77	91,91	4,72
CONJUNTO EOLICO VIAMAO 3	3,69	6,17	67,21

Fonte: Operador Nacional do Sistema (2017).

SIN.

O programa ANAREDE, programa computacional confeccionado pelo Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL), será a ferramenta que possibilitará avaliar os impactos atuais e futuros causados pelas diferenças nos informes de PDP no sistema, ressaltando o alto crescimento da energia eólica e as ferramentas criadas em trabalhos anteriores. A partir desse desenvolvimento juntamente com a implementação do *PDCA* é possível determinar fenômenos que podem acontecer dentro de um parque eólico, realizando diversas simulações procurando soluções para possíveis situações que possam vir a acontecer, possibilitando assim estabelecer medidas corretivas.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é demonstrar como a implementação de ferramentas de gerenciamento e computacionais podem vir a auxiliar na operação de complexos eólicos, no intuito de obter um melhor desempenho do Sistema Interligado Nacional (SIN), contribuindo uma maior confiabilidade da energia eólica dentro da matriz energética.

A implementação do ciclo PDCA teve como base a utilização de métodos numéricos computacionais para previsões climatológicas que forneceram dados de velocidade de vento para o cálculo de estimação de energia produzida dos aerogeradores, fornecendo assim dados para a elaboração do Programa Diário de Produção (PDP) com maior precisão, afirmando uma maior disponibilidade da fonte eólica no SIN. Utilizando o ANAREDE foi possível avaliar a melhoria que poderá trazer a utilização das ferramentas citadas, além da estimação de novos parâmetros para o início de um ciclo PDCA.

Todo o processo visa um maior grau de confiabilidade da energia proveniente de complexos eólicos em constante crescimento, o qual no panorama atual é acreditado por um 25% do valor nominal de produção de energia, acarretando em problemas de operação quando os valores aferidos são muito maiores ao acreditados. A utilização das ferramentas visam a multidisciplinaridade do acadêmico, utilizando ferramentas de gerenciamento operacional, alto desempenho computacional e de fluxos de carga, a qual a última é desenvolvida pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e é utilizado a nível operacional pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A geração e transmissão de energia envolvem diversos agentes e órgãos que utilizam diversos mecanismos, na seguinte seção serão tratados mostrando seu envolvimento.

#### 3.1 Sistema Interligado Nacional (SIN)

Com características únicas a nível mundial, o Sistema Interligado Nacional Brasileiro (SIN), é o responsável por levar a energia gerada a praticamente 99% do território brasileiro, somente ficando parte do estado do Amazonas isolado. É composto por empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-oeste, Nordeste e sua operação é de responsabilidade do Operador Nacional do Sistema (ONS). A seguir a Figura 3.1 mostra o tamanho do SIN em comparação ao território europeu, deixando em claro suas dimensões.

Figura 3.1: Comparação do SIN a Europa



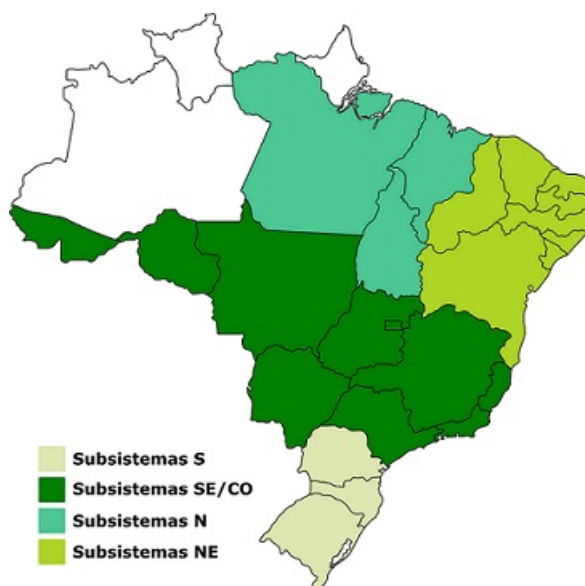
Fonte: Operador Nacional do Sistema.

O SIN é dividido em quatro grandes subsistemas como mostra a Figura 3.2

- Subsistema Sudeste/Centro-Oeste (SE/CO) - abrange as regiões Sudeste e Centro-Oeste do país, além dos estados de Rondônia e Acre. É um grande mercado de demanda no País e importador de outras Regiões durante a maior parte do ano. Possui grande capacidade de armazenamento em múltiplos reservatórios;

- Subsistema Sul (S) - abrange a região Sul do país. Consiste em Sistema hidrotérmico com grande variabilidade de armazenamento. Os sentidos dos intercâmbios com o Subsistema Sudeste/Centro-Oeste são altamente dependentes da sua hidrologia;
- Subsistema Nordeste (NE) - abrange a região Nordeste do país, com a exceção do estado do Maranhão. Importador ou exportador de energia conforme condições hidrológicas na Região. Com a conclusão das expansões da malha de interligação com a Região Sudeste/Centro-Oeste, será um potencial exportador no período de ponta;
- Subsistema Norte (N) - abrange parte dos estados do Amapá, Pará, Tocantins, Maranhão e Amazonas. Eminente exportador de energia. Fornece energia para o período de ponta por pelo menos nove meses do ano.
- Sistemas Isolados.

Figura 3.2: Subdivisões do SIN



Fonte: Operador Nacional do Sistema.

### 3.2 Operador Nacional do Sistema (ONS)

Criado em agosto de 1998, o ONS é uma entidade de direito privado, sem fins lucrativo, é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). Com

participação mista, o ONS é constituído por membros associados e participantes, dentre deles empresas de geração, transmissão, distribuição, consumidores livres de grande porte além do Ministério de Minas e Energia (MME). Atendendo ações e normas da ANEEL, o ONS desenvolve uma série de estudos e ações a serem exercidas sobre o sistema e seus agentes para manejar o estoque de energia de forma a garantir a segurança do suprimento contínuo em todo o País [14].

### **3.2.1 Programação Diária da Operação Eletroenergética (PDO)**

A previsão da disponibilidade de geração de energia eólica é de fundamental importância para a operação mais eficiente do SIN. A Programação Diária da Operação Eletroenergética (PDO) contempla a geração programada das diferentes fontes de energia, todas as usinas com relacionamento com o ONS devem encaminhar o mesmo até as 9 horas do dia anterior ao que está sendo programado como mostra Tabela 3.1. Uma previsão precisa apoia diretamente a operação do sistema elétrico em questões como congestionamento de rede, gestão de grupos de reserva de outras fontes de acordo com a variação da disponibilidade de vento, recuperação de níveis de reservatórios no caso de hidrelétricas e a gestão de parques eólicos. De acordo com o horizonte de tempo, as previsões são classificadas como de curtíssimo prazo, curto prazo, médio prazo e longo prazo [6].

Previsões de curtíssimo prazo são as compreendidas no espaço de tempo de alguns segundos até 6 horas a frente, e são utilizadas para controle dos aerogeradores e operação de curto prazo de sistemas elétricos. Previsões de curto prazo são as que têm um horizonte de tempo de até 72 horas e são usadas para a confecção do PDP, gestão da rede elétrica e definição do despacho de unidades geradoras em geral. Previsões de médio prazo são as que têm um horizonte de tempo de até 10 dias e são utilizadas, principalmente, para definição de estratégias de operação e manutenção dos parques eólicos onde o este trabalho desenvolve uma série de eventos que contribuem para a operação e manutenção. As previsões de longo prazo são feitas para alguns anos com a finalidade de estimar recursos eólicos para projetos de parques eólicos [6].

É de responsabilidade dos agentes de geração fornecer os dados necessários para a composição do PDP. A Tabela 3.1. mostra o cronograma para elaboração da programação diária da operação.

Tabela 3.1: Cronograma de elaboração do PDP.

<b>Dia de elaboração da programação</b>	<b>Dia (s) a ser programado (s)</b>	<b>Dia a ser antecipado</b>
Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira
Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira
Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado, Domingo e segunda-feira
Sexta-feira	Sábado, Domingo e segunda-feira	Terça-feira

Fonte: Procedimentos de Rede, revisão 2016.12, submódulo 8.1. ONS.

### 3.2.2 Programa Mensal de Operação (PMO)

Elaborado pelo ONS com participação dos agentes envolvidos. São estudos realizados a nível mensal, discretizadas em etapas semanais e por patamar de carga, fornecem metas e diretrizes a serem seguidas pelos órgãos executivos da programação diária da operação em tempo real. Dentro do PMO os agentes devem cumprir com suas partes:

- ONS
  - Analisar informações para a realização do PMO.
  - Disponibilizar informações de armazenamento de reservatórios, despachos de energia, programação de usinas, limites elétricos de transmissão entre subsistemas.
- Agentes
  - Cronograma Atualizado de manutenção das usinas.
  - Armazenamento previsto.
  - Valores de geração mínima.

### 3.2.3 Modalidades Operativas

Definidas pelo Operador Nacional do Sistema, nos procedimentos de rede, submódulo 26, são definidas diretrizes para operação do sistema, criando assim 3 categorias e subcategorias subsequentes.

- Tipo I
  - (A) Usinas conectadas a rede básica, que afetem a operação eletroenergética, sendo considerado os impactos na segurança da rede de operação.
  - (B) Usinas conectadas fora de rede básica cuja potência injetada ao SIN con-

tribua para minimizar problemas operativos.

- (C) Usinas Hidrelétricas com potência instalada acima de 30MW
- Tipo II
  - (A) Usinas Térmicas com custo variável unitário, que tem despacho por ordem de mérito.
  - (B) Usinas as quais há necessidade de informar o ONS a programação e usinas que possuem características que impedem o atendimento ao despacho de forma sistemática.
  - (C) Usinas que constituírem um conjunto de usinas, que quando analisadas em conjunto totalizam um injeção que causa impacto na rede de operação.
- Tipo III
  - Usinas que não encaixam nas outras duas categorias, não tendo relacionamento direto com o ONS.

As usinas dos tipos I e II deverão informar seu despacho programado ao ONS, em bases mensais, semanais e diárias, assim como as reprogramações, como também suas capacidades de operação acima do despacho programado.

As usinas localizadas na área de estudo são todas do tipo II, dado que formam parte de complexos.

### **3.3 Mercado Energético**

Dentro do Mercado Energético existem inúmeros setores envolvidos para regular e atender as demandas e atenções que o mercado requer. Dentro de essa grande esfera que é o Mercado Energético existem categorias tais como:

- Política Energética
- Implementação Política Energética
- Planejamento de expansão
- Segurança do Suprimento
- Regulação e fiscalização
- Comercialização
- Operação Técnica

Dentro da esfera existem hierarquias e políticas envolvidas, onde cada órgão garante o funcionamento de todo o sistema no intuito de garantir a melhoria constante e o perfeito funcionamento, como nos mostra a Figura 3.3. No Brasil o mercado energético gira em

Figura 3.3: Instituições do Modelo



Fonte: ONS.

torno aos leilões, principal forma de contratação de energia. O órgão responsável para controlar esse processo é a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O critério para vencer o certame é a menor tarifa e existem diversas modalidades, porém para este trabalho, como gira em torno a energia eólica explicaremos na seguinte seção como ela se encaixa dentro do processo [7].

### 3.4 Energia Eólica no Brasil

Na matriz energética brasileira, a energia eólica passou a ter uma maior notabilidade de participação a partir do ano de 2005, com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa), quando também houve a necessidade de uma engenharia de projeto, estudo e operação de centrais eólicas. Com o Proinfa, a engenharia brasileira passou a dedicar esforços para captação de tecnologia nos mais variados sentidos para um uso mais eficiente e com maior qualidade da energia eólica. Então criou-se um grupo envolvendo CEPEL, Eletrobras, Chesf, Eletrosul e outras instituições com o objetivo de implementar nos programas do CEPEL formas de modelar os diferentes tipos



de aerogeradores que estavam por ser instalados no sistema elétrico brasileiro. Em meio a isso, o ONS agia no estabelecimento de requisitos de conexão dos parques eólicos nos procedimentos de rede [4].

### 3.4.1 Mercado para energia eólica

A energia eólica teve um forte crescimento a causa de relevantes incentivos, principalmente das políticas econômicas implementadas como o Programa de Incentivos às Fontes alternativas (*Proinfa*). Criado pela Lei nº 10.438/2002, como o principal objetivo de aumentar a participação de fontes alternativas tais como pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos à biomassa. O Ministério de Minas e Energia (MME) estabeleceu as diretrizes e os valores econômicos de cada fonte e atribuiu o papel de agente executora de contrato e vendas de energia (CCVE) à Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás). O custeio do *Proinfa* é pago por todos os consumidores finais com exceto dos classificados como baixa renda, o maior impacto do *Proinfa* é que toda a energia gerada é despachada por tanto é de importante conhecimento esse despacho, discutido no presente trabalho [7].

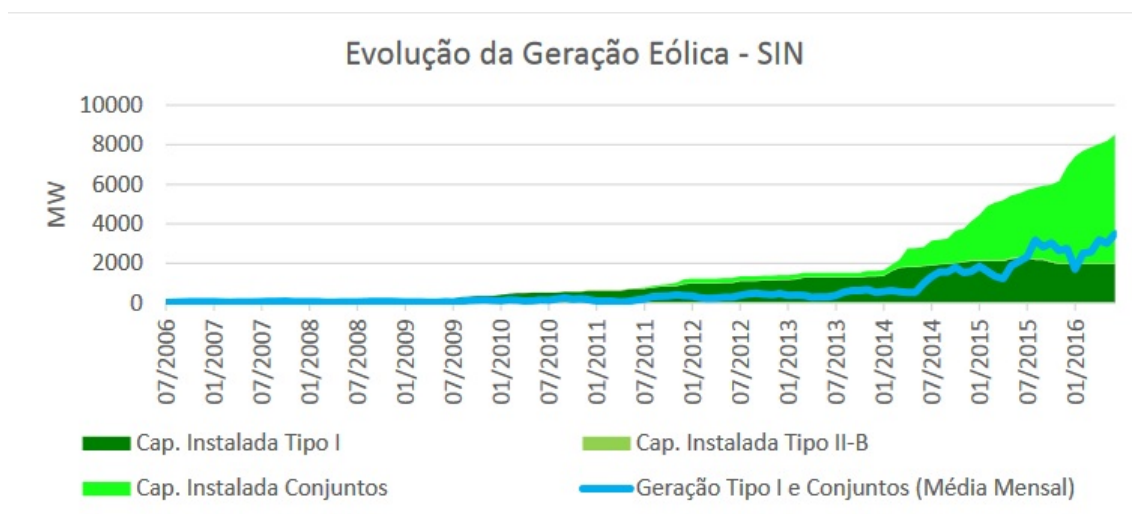
Na seção 3.3 citou-se a categoria especial de leilões para esse tipo de energia. A CCEE regulamentou por meio de decreto em 2007 o leilão de Fontes Alternativas, de maneira de continuar fomentando o acesso das energias alternativas ao Sistema Interligado Nacional, como citado no início o crescimento da energia eólica é sustancial. Mas como tudo tem um porém, a contratação da fonte eólica está adicionando ao SIN um montante expressivo de fontes intermitentes sem implantação de novas hidrelétricas atuando na operação base. A Figura 3.4 mostra o crescimento da fonte eólica dentro do SIN [8].

É de conhecimento geral que o vento não é um fluido constante como acontece na maioria das usinas hidrelétricas com a água. Em usinas com reservatório é possível estimar a geração e a garantia de geração por meio da altura da coluna de água. Logo as usinas eólicas tem oscilação como antes comentado, trabalhando em regime incerto, onde não foi possível definir um marco regulatório.

### 3.5 Turbinas Eólicas: funcionamento e operação

A maior complexidade na atualidade da energia eólica brasileira não é a implantação e sim a operação dado o complexo funcionamento que a mesma tem, fator determinado pela variação contínua que da disponibilidade do vento.

Figura 3.4: Evolução da capacidade instalada de usinas eólicas (UGs em operação comercial) e geração eólica verificada no SIN.



Fonte: ONS (2016).

Uma turbina eólica extrai a energia cinética do vento, onde o vento movimenta a turbina, a qual gera energia mecânica que através de um eixo e sistema de transmissão movimenta o gerador, responsável pela produção de energia elétrica.

Composto por diversas partes, sendo no interior da nacelle os mais complexos, os componentes de um aerogerador são descritos abaixo, podendo ter uma variação dependendo da tecnologia do fabricante.

Existem uma série de tipos de turbinas, porém será somente abordado as turbinas de eixo horizontal que são as presentes em quase 100% dos complexos instalados no Brasil. Utilizando um sistema de controle de mantenha uma perpendicularidade do eixo com o vento para capturar o máximo de energia do vento. A seguir a Figura 3.6 mostra a área do Complexo Eólico Campos Neutrais onde são utilizadas turbinas de eixo horizontal.

Visando um aprofundamento sobre as turbinas de eixo horizontal, a potência da turbina é dada pela seguinte equação:

$$P_t = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3 \quad (3.1)$$

Onde:

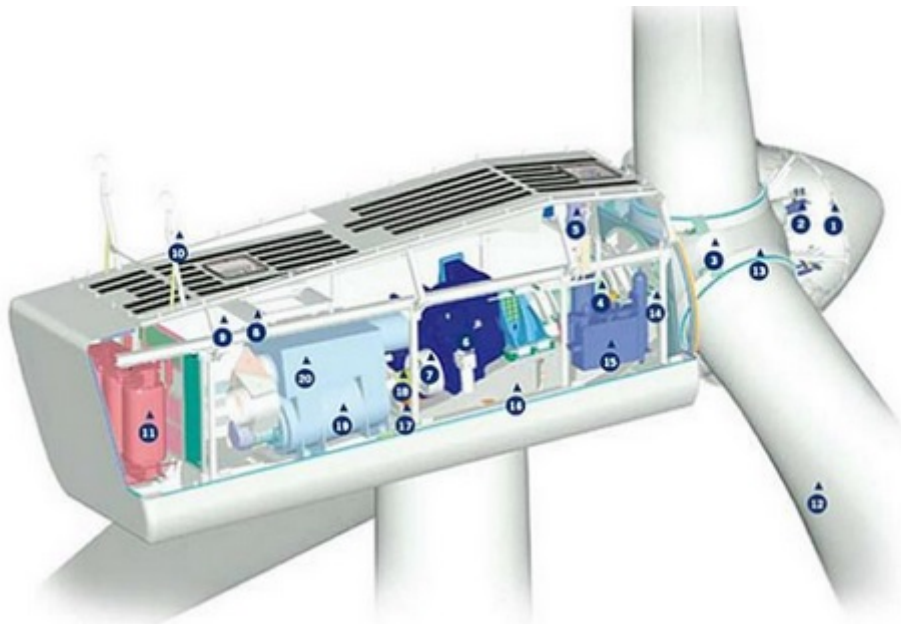
$P_t$  = potência da turbina (W)

$C_p$  = coeficiente de potencia da turbina (adimensional)

$\rho$  = massa específica do ar ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

$A$  = área varrida pelas pás do turbina ( $m^2$ )

Figura 3.5: Montagem típica do cabeçalho de uma turbina eólica



Fonte: KILCOLLINS (2014).

Tabela 3.2: Legenda da figura

1	Controlador do Cubo
2	Controle pitch
3	Fixação das pás no cubo
4	Eixo principal
5	Aquecedor de óleo
6	Caixa multiplicadora
7	Sistema de freios
8	Plataforma de serviços
9	Controladores e Inversores
10	Sensores de direção e velocidade do vento
11	Transformador de alta tensão
12	Pás
13	Rolamento das pás
14	Sistema de trava do rotor
15	Sistema hidráulico
16	Plataforma da nacela
17	Motores de posicionamento da nacela
18	Luva de acoplamento
19	Gerador
20	Aquecimento de ar

Fonte: KILCOLLINS (2014).

Figura 3.6: Turbinas eólicas de eixo horizontal no Complexo Eólico Campos Neutrais



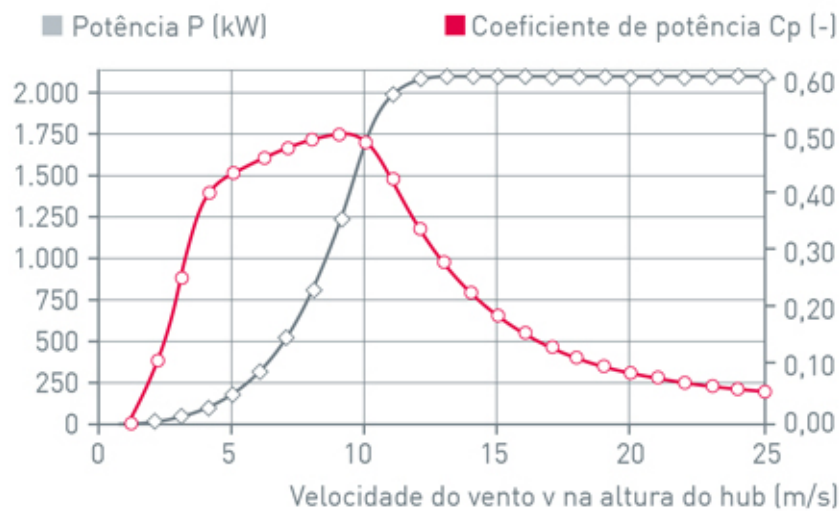
Fonte: Eletrosul (2017)

$V$  = velocidade do vento incidente nas pás do turbina ( $\frac{m}{s}$ )

Sendo assim, uma das informações mais relevantes fornecidas e de caráter de projeto é a curva de potência, fornecendo informações como a potência nominal, sendo compreendida entre a velocidade nominal e a de corte (*cut-out*), sendo a última a máxima permitida para funcionamento. Outro dado de extrema importância é a velocidade de partida (*cut-in*) a qual é a mínima necessária para começar a produção de energia. O coeficiente de potência, valor que determina a máxima potência extraída do vento, tem como valor máximo 0.59 conhecido também como limite de Betz, para isto acontecer é necessário que a velocidade do vento após o rotor seja de  $\frac{1}{3}$  da velocidade de entrada.

A seguir a Figura 3.7 mostra a curva de potência do aerogerador de eixo horizontal da Wobben-Enercon, modelo E-82 com potência de 2 MW.

Figura 3.7: Curva de potência do Wobben-Enercon E-82



Fonte: Wobben(2017)

As velocidades *cut-in*, nominal e *cut-out* são fundamentais para este trabalho porque dada a variação dos regimes dos ventos, o aerogerador entrará ou sairá de operação, lembrando que em grande escala como acontece a maioria das vezes, isso afeta o sistema com relação ao balanço consumo-geração.

### 3.6 Área de estudo

Citado na introdução, a região sul do país tem um potencial instalada de considerável porte, sendo responsável por entregar ao SIN mais de 25% da capacidade eólica hoje em operação. A região possui uma série de complexos em um raio de 500 quilômetros com grandes potências instaladas, incluindo o maior complexo eólico da América Latina[9]. A seguir a relação da geração eólica compreendida na área de estudo:

Figura 3.8: Produção de energia eólica no SIN

#### Produção Eólica Acumulada

Submercado	GWh no Dia	GWh acumulado no Mês até o Dia	GWh acumulado no Ano até o Dia
Norte	0,00	0,00	0,00
Nordeste	37,35	683,14	4.721,66
Sul	12,86	180,76	825,72
Sudeste/Centro-Oeste	0,00	0,00	0,00
Sistema Interligado Nacional	50,21	863,90	5.547,38

Fonte:ONS (2017)

### 3.6.1 Complexos Eólicos no Sul

Dentro da região de estudo do trabalho temos ao mês de janeiro de 2017, 7 complexos eólicos em operação, como mostra a Tabela 3.3 a seguir:

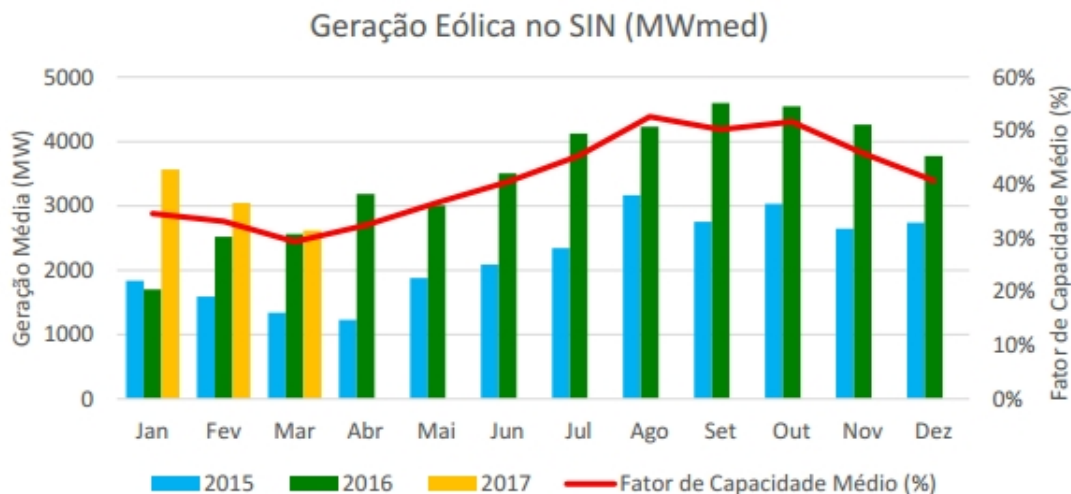
Dentro de todos esses complexos, dada a alta expansão e potencial que temos hoje no Brasil, temos diversas turbinas instaladas, a seguir a Tabela 3.4 expõe as turbinas presentes na área de estudo.

### 3.6.2 Interligação dos Complexos Eólicos ao SIN

### 3.7 Fator de capacidade

Uma das formas de avaliar o potencial eólico é o fator de capacidade, podendo ser interpretado como o percentual de aproveitamento do total da potência nominal instalada[8]. Para seu cálculo as características do aerogerador e do local são fundamentais. A seguir as Figura 3.9 e Tabela 5.4 mostram o fator de capacidade nos estados onde tem-se usinas eólicas implantadas.

Figura 3.9: Fator de capacidade no SIN



Fonte: ONS - Boletim mensal de geração eólica (2017).

Tabela 3.3: Complexos Eólicos no Sul

Complexo	Parque	Aerogerador	Potência (MW)	Conexão
Cerro Chato	Cerro Chato I	Enercon E82	30	Livramento 2
	Cerro Chato II	Enercon E82	30	
	Cerro Chato III	Enercon E82	30	
	Capão do Inglês	Gamesa G114	10	
	Coxilha Seca	Gamesa G114	30	
	Galpões	Gamesa G114	8	
	Ibirapuitã I	WEG AGW110	25,2	
Campos Neutrais	Chui I	Gamesa G97	24	Sta Vitória 2
	Chui II	Gamesa G97	22	
	Chui IV	Gamesa G97	30	
	Chui V	Gamesa G97	30	
	Chui X	GE 1.7-100	17	
	Verace I	Gamesa G97	20	
	Verace II	Gamesa G97	20	
	Verace III	Gamesa G97	26	
	Verace IV	Gamesa G97	30	
	Verace V	Gamesa G97	30	
	Verace VI	Gamesa G97	18	
	Verace VII	Gamesa G97	30	
	Verace VIII	Gamesa G97	26	
	Verace IX	Gamesa G97	30	
	Verace X	Gamesa G97	28	
	Chui	Minuano I	Gamesa G97	
Minuano II		Gamesa G97	24	
Hermenegildo	Verace 24	GE 1.7-100	18.7	Sta Vitória 2
	Verace 25	GE 1.7-100	6.8	
	Verace 26	GE 1.7-100	13.6	
	Verace 27	GE 1.7-100	15.3	
	Verace 28	GE 1.7-100	11.9	
	Verace 29	GE 1.7-100	17	
	Verace 30	GE 1.7-100	17	
	Verace 31	GE 1.7-100	8.5	
	Verace 34	GE 1.7-100	13.6	
	Verace 35	GE 1.7-100	11.9	
	Verace 36	GE 1.7-100	20.4	
Sta Vitória	Aura Mangueira VII	Acciona AW125	24	Marmeleiro 2
	Aura Mangueira XI	Acciona AW125	9	
	Aura Mangueira XIII*	Acciona AW125	15	
	Aura Mangueira XV*	Acciona AW125	18	
	Aura Mirim II	Acciona AW125	30	
	Aura Mirim IV	Acciona AW125	15	
Corredor do Senandes	Senandes II	Alstom ECO122	21.6	Quinta 138kV
	Senandes III	Alstom ECO122	27.5	
	Senandes IV	Alstom ECO122	29.7	
	Vento Argano I	Alstom ECO122	29.7	
Cassino	Cassino I	Gamesa G97	22	Quinta 69kV
	Cassino II	Gamesa G97	20	
	Cassino III	Gamesa G97	22	
Total Instalado	1018.4			
Em testes				

Fonte:ONS (2017).

Tabela 3.4: Aeroogeradores dos complexos

Aeroogerador	Potência (MW)	Cut-in ( $\frac{m}{s}$ )	Cut-out ( $\frac{m}{s}$ )	Á. de varredura ( $m^2$ )
Acciona AW125	3	3	25	12.305
Alstom ECO122	2.75	3	25	7.917
Gamesa G97	2	3	25	7.390
Gamesa G114	2	2	25	10.207
GE 1.7-100	1.7	3	20	7.917
Wobben-Enercon E82	2	3	25	5.281

Fonte: MME (2017).

Tabela 3.5: Fator de capacidade das usinas eólicas no SIN

Estado	Potência (MW)	Instalada	Geração (MWmed)	Verificada	Fator de capacidade (%)
BA	1.702,14		569,94		33,48
CE	1.453,93		195,12		13,42
PE	568,64		239,64		42,14
PI	963,70		156,32		16,22
RN	3.144,05		837,41		26,63
RS	1.609,37		592,09		36,79
SC	222,00		24,99		11,26

Fonte: ONS (2017).

### 3.8 Ciclo PDCA

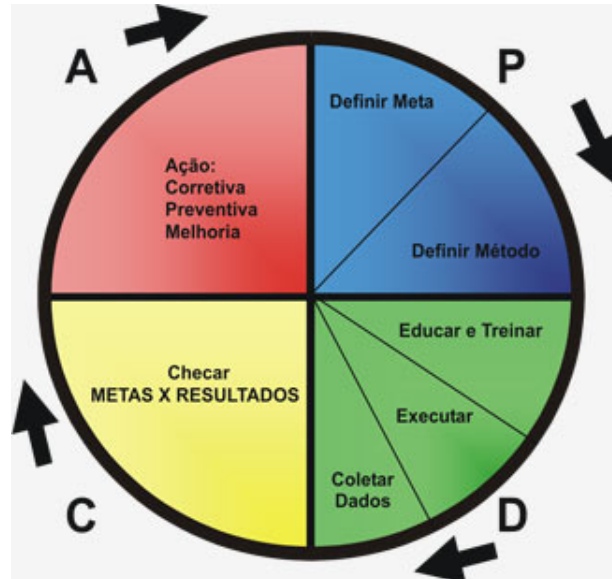
Usado com frequência em sistemas de gestão da qualidade, o PDCA (Plan, Do, Check, Act) é um processo de melhoria contínua que tem como base quatro fases, rodadas sempre em sequência: planejamento, execução, análise e ação. Quando a última fase termina, reinicia-se o ciclo para identificar novas oportunidades de melhoria e, assim, manter a empresa constantemente em busca de inovação, profissionalismo, agilidade e competitividade. [4] As quatro etapas se baseiam nas seguintes ações:

- Planejar "*Plan*": estabelecer metas e objetivos, assim como o métodos para atingir o desejado;
- Executar "*Do*": analisar dados de implementação de acordo com o estabelecido;
- Analisar "*Check*": analisar os dados e verificar se as metas e objetivos foram alcançados;
- Agir "*Act*": definir quais mudanças são necessárias para garantir a melhoria constante.



O método contribuirá para a definição das metas assim como as ações corretivas em relação as margens de erro mensuradas, coletando um histórico de dados e ajustando os modelos utilizados. A seguir a Figura 3.10 mostra graficamente o processo do PDCA.

Figura 3.10: Ciclo *PDCA*



Fonte: Casa da Consultoria (2017).

### 3.9 Previsão Numérica de fenômenos meteorológicos

Utilizadas em larga escala como ferramenta contribuidora para a elaboração de planos de trabalho, as previsões numéricas do tempo (Numerical Weather Prediction) são muito utilizadas como método de procedimento em órgãos públicos e privados de modo de poder notificar à comunidade sobre algum possível evento meteorológico. No contexto da energia eólica é uma ferramenta fundamental utilizada para planejamento e projetos, assim como também para estimação de funcionamento e energia produzida. A utilização mais avançada no contexto é a elaboração do Atlas Eólico, a maior mesclagem de dados medidos em torres anemométricas e o pós-processamento do NWP [10].

Para que tudo isso seja possível, são utilizadas as equações primitivas, que nada mais são que um conjunto de 6 equações que aproximam os movimentos atmosféricos:

- Momento ( $u, v, w$ )
- Continuidade ( $p$ )
- Energia ( $t$ )

- Gases ideais ( $\rho$ )
- Evolução das massas de ar
- Condições de contorno dadas

### 3.10 Modelo Numérico de previsão meteorológica WRF

O WRF, por extenso *Weather Research and Forecasting*, é um dos modelos de previsão do tempo existentes hoje, desenvolvido fundamentalmente pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR) entre outros órgãos de pesquisa, tem como principal característica ter um código portátil e flexível, tornando-o eficiente em processamentos paralelos. O modelo utiliza métodos de integração de terceira ordem de Runge-Kutta com pós-processamento onde é possível a integração de dados reais e simulações para uma melhor estimativa [11].

O modelo, composto por diversas partes, o pré-processamento das informações WPS, responsável pela interpolação de dados vindos do modelo global e os dados geográficos da área de estudo, o último, o WRF, onde ocorre o processamento da simulação, onde são interpolados os dados verticalmente e realizadas as resoluções das equações de mecânica dos fluidos, quantidade e conversão de movimento através de métodos numéricos [11].

A resolução espacial dos dados e do modelo são definidos pelas necessidades e condições de processamento e de possibilidade de acessar os dados.

### 3.11 Níveis ETA

O modelo WRF utiliza os níveis ETA ou *Step Vertical Coordinate* foram criados no início dos anos 80 para reduzir o erro de cálculo do gradiente de pressão quando utilizado a outra determinação de coordenadas verticais, os níveis *sigma*. Sua maior vantagem é a utilização da pressão da superfície como referência superior definida por:

$$\eta = \frac{(p_r(z_s))}{(p_r(z=0)*p_t)} \quad (3.2)$$

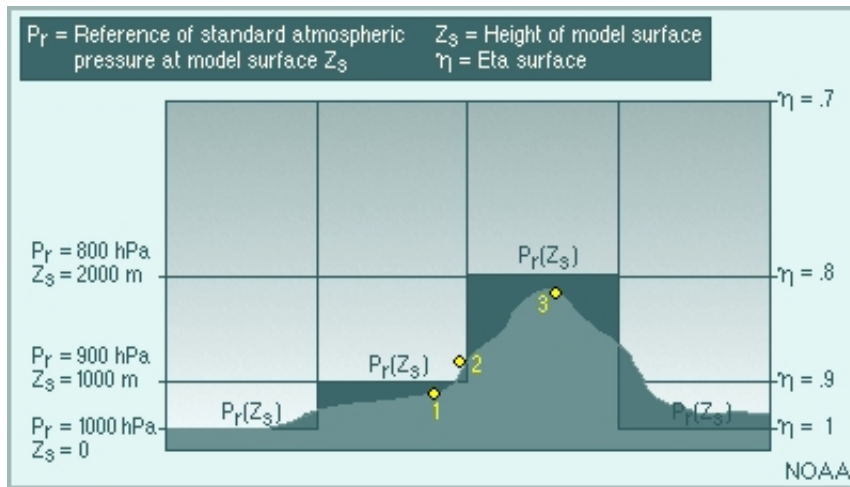
Onde:  $p_t$  é a pressão no topo do modelo];

$p_r(z=0)$  é a pressão atmosférica padrão (1013 hPa);

$p_r(zs)$  é a pressão padrão da atmosfera na altura ( $zs$ ) do modelo.

No modelo WRF a cada nível ETA são fornecidos dados de temperatura, humidade rela-

Figura 3.11: Níveis ETA



Fonte: METED UCAR (2017).

tiva do ar assim como as componentes da velocidade do vento  $u$  e  $v$ , e durante o processo de simulação a altura em relação ao nível do mar é informada [12].

A seguir Figura 3.11 mostra graficamente os níveis ETA utilizados pelo modelo WRF.

### 3.12 Estabilidade atmosférica

Na maioria dos casos, as velocidades do vento são obtidas a certas alturas, comumente a 10 metros quando utilizadas torres de medição da rede meteorológica, e quando utilizados métodos matemáticos dependerá de como o mesmo gerencie esse quesito, no caso do modelo utilizado no presente trabalho foi citado no item anterior a altura dos níveis ETA. [11]

Para realizar a extrapolação dessa velocidade do vento até a altura da nacela, normalmente entre 80 e 125 metros, o método mais utilizado é o da lei da potência [13]. Segundo Newman, o método da potência utilizando o parâmetro de cisalhamento o qual é dependente da estabilidade atmosférica, gera diferenças consideráveis quando os parâmetros normalmente utilizados mudam devido a uma mudança brusca ou até mesmo as condições climáticas e geográficas do local.

### 3.12.1 Lei da potência do vento

A forma mais utilizada dentro da indústria de geração eólica, é comumente utilizada considerando o perfil do vento extrapolando a alturas desejadas considerando o cisalhamento, dada pela seguinte equação:

$$U_2 = U_1 \frac{Z_2^\alpha}{Z_1} \quad (3.3)$$

Onde:

$U_2$ : é a velocidade do vento na altura desejado na altura  $Z_2$ ;

$U_1$ : é a velocidade obtida na altura  $Z_1$ ;

$\alpha$ : é o coeficiente de cisalhamento do vento considerando a estabilidade e rugosidade do solo.

### 3.12.2 Comprimento de Obukhov

Utilizado para descrever os efeitos na mudança dos fluxos turbulentos foi definido por Alexander Obukhov em 1946. Sua determinação é importante dado que o mesmo determina a altura na qual a turbulência é gerada mudança da flutuabilidade mais do que pelo cisalhamento do vento. O mesmo contribui com definições de quão estável está a atmosfera, dada pela Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Estabilidade segundo o comprimento de Obukhov

Comprimento de Obukhov $L_0$	de	Estabilidade
$-200\text{m} < L_0 < 0\text{m}$		Muito Instável
$-1000\text{m} < L_0 < -200\text{m}$		Instável
$L_0 > 1000\text{m}$		Neutra
$200\text{m} < L_0 < 1000\text{m}$		Estável
$0\text{m} < L_0 < 200\text{m}$		Muito Estável

Fonte: FECHNER (2015).

### 3.12.3 Rugosidade do solo

Também chamada como rugosidade da superfície ( $Z_0$ ) determina a textura da superfície, quantificando os desvios na direção do vetor normal de uma superfície normal

a partir de sua forma ideal. A mesma é de importante determinação para utilização da extrapolação da velocidade do vento.

### 3.12.4 Gradiente Richardson

Determinado por Lewis Fry Richardson, o gradiente de Richardson ( $R_i$  é uma relação adimensional relacionada com o consumo de turbulência dividido pelo cisalhamento da turbulência. O mesmo indica graus de estabilidade dinâmica e a formação de turbulência, pode ser vista sua classificação na Tabela 3.7 e como é realizado dito cálculo.

$$R_i = \frac{g \frac{\Delta\theta_v}{T_v}}{U^2 + V^2} \quad (3.4)$$

Onde:

$g$ : é o valor da aceleração da gravidade, considerado  $9.81 \frac{m}{s^2}$ ;

$\Delta\theta_v$ : é a temperatura virtual;

$T_v$ : é a temperatura absoluta local;

$U$  e  $V$ : as componentes horizontal e vertical do vento.

Tabela 3.7: Estabilidade segundo o gradiente Richardson

Gradiente Richardson $R_i$	Estabilidade
-0.9	Muito Instável
-0.5	Moderadamente Instável
-0.15	Levemente Instável
0	Neutral
0.4	Levemente Estável
0.8	Estável

Fonte: Adaptação Zannetti (1996).

### 3.13 Fluxos de Carga

Sob situações normais, o sistema de transmissão opera em estado estável e o cálculo básico para determinar as características do estado é denominado fluxo de carga. O Objetivo do fluxo de carga é determinar as características operacionais do sistema de um determinado grupo de barras. As barras no sistema de transmissão é onde há troca de potência, ou seja consumo ou geração.

A geração normalmente é especificada pelo acordo de despacho de energia com os agentes, já as cargas são especificadas pelas potências ativas e reativas requeridas.[14] A solução deste fluxo de carga nos prove informações de magnitude e ângulo das tensões, fluxo de potência ativa e reativa durante o estado estável. Para poder determinar o fluxo de carga, as barras sofrem classificações, onde elas podem ser colocadas em:

- Slack: Fornece o balanço de potência, assumindo perdas em linhas de transmissões, transformadores, capacitores, reatores que compõem a rede, pois as correntes em cada linha de transmissão ou ramo não são conhecidas.
- PQ: Não existe geração, as potências ativa  $P$  e reativa  $Q$  são especificadas.
- PV: Geralmente usinas,  $P$  é controlado pela potência da máquina primária e  $V$  é controlada pela tensão de excitação do gerador

Dadas as dimensões do SIN, o fluxo de carga da área de estudo requer a utilização de recursos computacionais, onde será utilizado o programa ANAREDE, o qual utiliza em sua base soluções via Newton-Raphson[15].

### 3.14 ANAREDE

Desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), o ANAREDE é o programa computacional mais utilizado no Brasil para análise de Sistemas Elétricos de Potência em regime permanente. Entre os principais usuários do ANAREDE estão o ONS, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), grupo Eletrobrás, agentes gerentes de geração, transmissão e distribuição; grandes consumidores industriais; produtores independentes; universidades (versões acadêmicas); empresas de consultoria [15].

Sua poderosa interface gráfica, aliada aos programas *FormCepel* (que combina dados de entrada e resultados que podem ser filtrados para seleção de trechos de interesse) e *EditCepel* (editor de texto customizado), torna seu uso simples e rápido. A versão integrada ao *SAGE* (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia) é utilizada para operação em tempo real.[1]

O Operador Nacional do Sistema, disponibiliza todo mês os *cartões de entrada* para o software *ANAREDE* onde temos os diferentes cenários disponibilizados para análise. A partir desses dados de entrada foram definidos parâmetros para a busca na região de estudo.

As definições ocorreram após a pesquisa dos agentes atuadores na microrregião de estudo

e logo após a identificação de parâmetros como a região e espécie do parque gerador.

### **3.14.1 Casos de referência**

O SIN vem sendo foco de estudo de diversas agências como visto nas seções anteriores, a modo de operar com mais eficiência foram levantados diversos dados onde foram elaborados os casos de referência. Eles estimam as cargas em diferentes níveis de carga para o seguinte mês, assim como possíveis fatores que possam vir a interferir, como feriados ou festividades. A partir dos casos de referência é possível filtrar os dados para a realização deste trabalho.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Definição do ciclo *PDCA*

Como discutido em seções anteriores o trabalho utilizará como ferramenta de correção um ciclo *PDCA*, o ciclo terá como roteiro os seguintes passos:

- *Planejar*: Fornecer o PDO com erro de não mais que 20%
- *Do*: Obter velocidades do vento a partir do Modelo *WRF*, e as alturas da velocidade do vento, implementando-as nas curvas de potência obtidas.
- *Check*: Checkar a energia produzida com a estimada e mensurar a margem de erro, apontando possíveis causas.
- *Act*: Caso o PDO possua margens de erro acima de 20%, implementar mudanças na curva de potência pela densidade do ar assim como pela altura da velocidade do vento utilizada.

### 4.2 Situações para a implementação

Para verificar a precisão e validade do trabalho, dada a Tabela 3.1, o processo será implementado em duas situações:

- Dia seguinte programado e as 24 horas consecutivas estimadas.
- Próximos 3 dias programados e as 24 horas consecutivas estimadas.

### 4.3 Definição dos pontos de obtenção de dados de vento

Para obter os dados de vento nos complexos eólicos foi consultado o Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL) da ANEEL, obtendo assim os pontos médios de cada complexo, segundo segue a Tabela 4.1:



Tabela 4.1: Dados geográficos dos complexos

<b>Complexo</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Cerro Chato	-30.8	-55.67
Campos Neutrais	-33.57	-53.29
Chui	-33.72	-53.39
Hermenegildo	-33.64	-53.35
Santa Vitória do Palmar	-33.16	-52.89
Corredor do Senandes	-32.38	-52.32
Cassino	-32.21	-52.20
Sistema de Projeção	WGS84	

Fonte: SIGEL - ANEEL (2017).

#### **4.4 Estimações de velocidades de vento utilizando o modelo *WRF***

Para a obtenção dos dados de vento temos basicamente três seções, a do pré-processamento, definição de locais e a do processamento em si, os passos são explicadas nas seguintes subseções.

##### **4.4.1 Obtenção dos dados do sistema global de previsão**

Os dados *GFS*, produzidos pelo Centro Nacional para previsão ambiental nos Estados Unidos (NCEP) provem dados globais como temperatura, ventos, precipitação e concentração atmosférica.

A obtenção dos dados do site da NCEP foram automatizados com um *script* como mostra a Figura 4.1 a seguir, obtendo as 6 horas anteriores a modo de pré-definir o entorno no qual vai ser trabalhado, e conseqüentemente as 24 horas que devem ser programadas e as 24 consecutivas estimadas. O *script* utilizado consta nos anexos[19].

Figura 4.1: Script para obtenção dos dados *GFS*

```

juan@juan-Lenovo-B50-45 ~
Arquivo  Editar  Ver  Pesquisar  Terminal  Ajuda
juan@juan-Lenovo-B50-45 ~ $ ./pega_grips.sh
2017050400
--2017-05-04 20:05:09-- http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs
.2017050400/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f018
Resolving www.ftp.ncep.noaa.gov (www.ftp.ncep.noaa.gov)... 140.90.101.61
Connecting to www.ftp.ncep.noaa.gov (www.ftp.ncep.noaa.gov)|140.90.101.61|:80...

```

Fonte: Autoria Própria (2017).

#### 4.4.2 Pré-processamento das informações

O módulo de pré-processamento, chamado de *WPS*, possui 3 etapas fundamentais. A primeira o *geogrid* onde são definidos os domínios do modelo, interpolando os dados para a grade de trabalho. Esse passo dado o grandes números do modelo global, foi preparado no *LMSC*. Logo após o *ungrib* descompacta os dados meteorológicos obtidos na seção acima gerando novos pacotes. O passo final do *WPS* é o *metgrid*, responsável pela interpolação dos dados meteorológicos introduzidos para seu modelo de domínio. [17]

#### 4.4.3 Determinação das *times series output*

Para obter dados relacionados aos pontos definidos acima sem requerimentos de pós-processamento, a modo de obter os dados em tempos passíveis para o encaminhado do PDO ao ONS, é utilizado a ferramenta *time series output* ou simplesmente *tslist* onde são extraídos os dados para a elaboração do PDO.

#### 4.4.4 Executando o WRF

O primeiro passo é a execução do módulo *real*, onde ocorre a interpolação vertical dos dados sobre as coordenadas do modelo, definindo assim os níveis ETA definidos na seção 3.11. Finalmente o módulo *WRF* é executado, onde são resolvidas os conjuntos de equações de mecânicas dos fluídos e demais, citados também na 3.10.

A seguir as Figura 4.2 e 4.3 mostram a execução do modelo, onde na primeira é mostrado a determinação das alturas dos níveis ETA e na consecutiva a execução dos

Figura 4.2: Módulo real sendo executado

```

juan@juan-Lenovo-B50-45 ~/Downloads/WRFV3/test/em_real
Arquivo  Editar  Ver  Pesquisar  Terminal  Ajuda
metgrid input_wrf.F first_date nml = 2017-05-03_18:00:00
d01 2017-05-03_18:00:00 Timing for input          0 s.
d01 2017-05-03_18:00:00      flag_soil_layers read from met_em file is 1
Max map factor in domain 1 = 1.00. Scale the dt in the model accordingly.
Using sfcprs3 to compute psfc
Converged znw(kte) should be about 0.0 = -3.11423093E-03
Full level index = 1      Height = 0.0 m
Full level index = 2      Height = 56.6 m      Thickness = 56.6 m
Full level index = 3      Height = 137.9 m     Thickness = 81.4 m
Full level index = 4      Height = 244.7 m     Thickness = 106.8 m
Full level index = 5      Height = 377.6 m     Thickness = 132.9 m
Full level index = 6      Height = 546.3 m     Thickness = 168.7 m
Full level index = 7      Height = 761.1 m     Thickness = 214.8 m
Full level index = 8      Height = 1016.2 m    Thickness = 255.0 m
Full level index = 9      Height = 1455.3 m    Thickness = 439.1 m
Full level index = 10     Height = 1914.6 m    Thickness = 459.3 m
Full level index = 11     Height = 2396.2 m    Thickness = 481.6 m
Full level index = 12     Height = 2902.5 m    Thickness = 506.3 m
Full level index = 13     Height = 3845.1 m    Thickness = 942.6 m
Full level index = 14     Height = 4787.7 m    Thickness = 942.6 m
Full level index = 15     Height = 5730.3 m    Thickness = 942.6 m
Full level index = 16     Height = 6672.9 m    Thickness = 942.6 m
Full level index = 17     Height = 7615.5 m    Thickness = 942.6 m
Full level index = 18     Height = 8558.1 m    Thickness = 942.6 m

```

Fonte: Autoria Própria (2017).

seguintes passos do modelo.

Para a obtenção da série de dados foi utilizado o *cluster* do Laboratório de Modelagem e Simulação Computacional (LMSC), o mesmo possui 8 conjuntos de computadores com 8 núcleos cada, no trabalho foram utilizados 24 núcleos em processamento paralelo, porém a configuração utilizada no modelo WRF é facilmente utilizável em computadores de pequeno porte.

#### 4.5 Estimação da energia produzida

Obtidas as velocidades do vento nas diferentes alturas, todas as curvas de potência dos aerogerador foram interpoladas no programa *OpenOffice*, onde foram também inseridos as velocidades do vento, é trabalhado em primeira instância a densidade do ar como padrão [18].

A seguir nas Figura 4.4 e 4.5 mostram a determinação do módulo da velocidade a 56,6m obtidas pelo modelo WRF e na segunda, a estimação de geração de energia com os valores de velocidades ajustados pela extrapolação realizada para cada tipo de aerogerador

Figura 4.3: Modulo WRF sendo executado

```

juan@juan-Lenovo-B50-45 ~/Downloads/WRFV3/test/em_real
Arquivo  Editar  Ver  Pesquisar  Terminal  Ajuda
med_initialdata_input: calling input_input
Timing for processing wrfinput file (stream 0) for domain      1:   0.50891 e
lapsed seconds
Max map factor in domain 1 = 1.00. Scale the dt in the model accordingly.
INPUT LandUse = "MODIFIED_IGBP_MODIS_NOAH"
LANDUSE TYPE = "MODIFIED_IGBP_MODIS_NOAH" FOUND           33  CATEGORIES
  2 SEASONS WATER CATEGORY =          17 SNOW CATEGORY =    15
INITIALIZE THREE Noah LSM RELATED TABLES
Skipping over LUTYPE = USGS
LANDUSE TYPE = MODIFIED_IGBP_MODIS_NOAH FOUND           20  CATEGORIES
INPUT SOIL TEXTURE CLASSIFICATION = STAS
SOIL TEXTURE CLASSIFICATION = STAS FOUND                 19  CATEGORIES
Computing time series locations for domain 1
Timing for Writing wrfout_d01_2017-05-03_18:00:00 for domain  1:   0.4878
6 elapsed seconds
Timing for processing lateral boundary for domain      1:   0.29535 elapsed s
econds
Tile Strategy is not specified. Assuming 1D-Y
WRF TILE  1 IS      1 IE   100 JS      1 JE    98
WRF NUMBER OF TILES = 1
Timing for main: time 2017-05-03_18:01:40 on domain  1:   9.41669 elapsed seco
nds
Timing for main: time 2017-05-03_18:03:20 on domain  1:   3.12334 elapsed seco
nds
Timing for main: time 2017-05-03_18:05:00 on domain  1:   3.29187 elapsed seco
nds
Timing for main: time 2017-05-03_18:06:40 on domain  1:   3.16717 elapsed seco
nds
Timing for main: time 2017-05-03_18:08:20 on domain  1:   3.12135 elapsed seco
nds

```

Fonte: Aatoria Própria (2017).

presente em cada complexo.

Figura 4.4: Estimação de velocidades de vento

Cerro Chato			Campos Neutrais			Chui		
LAT -30,829775 LON -55,678729			LAT -33,581699 LON -53,460499			LAT -33,68604 LON -53,385594		
U	V	Vel	U	V	Vel	U	V	Vel
-4,6631	-5,29261	7,053809058	-8,10536	-5,71573	9,917985187	-7,86194	-5,83893	9,793018131
-4,65414	-5,34621	7,088228305	-8,09047	-5,73649	9,917813385	-7,85657	-5,8444	9,791971381
-4,64613	-5,39966	7,123401722	-8,07393	-5,7554	9,915289951	-7,84628	-5,84714	9,785354151
-4,64101	-5,45392	7,161299965	-8,05503	-5,77368	9,910544336	-7,83098	-5,84496	9,771786181
-4,63726	-5,51104	7,202481669	-8,03674	-5,79172	9,906220792	-7,81296	-5,84294	9,756141231
-4,63421	-5,56422	7,241301439	-8,01723	-5,81236	9,902499969	-7,79095	-5,84124	9,737504121
-4,63465	-5,61299	7,279123392	-7,9999	-5,83632	9,902576996	-7,76713	-5,83978	9,717578851
-4,63707	-5,66093	7,317687247	-7,98585	-5,86543	9,908434251	-7,74341	-5,84111	9,699431141
-4,63885	-5,70726	7,354709106	-7,973	-5,89872	9,91784385	-7,7204	-5,84948	9,686123701
-4,64246	-5,75242	7,392074858	-7,96512	-5,9345	9,932845859	-7,69918	-5,86079	9,676064901
-4,64207	-5,7951	7,42509245	-7,963	-5,97198	9,953588002	-7,68152	-5,87668	9,671665691
-4,64229	-5,83526	7,456615567	-7,96067	-6,00931	9,974170318	-7,66264	-5,89713	9,669136151
-4,64847	-5,87062	7,488154147	-7,95895	-6,0469	9,99549322	-7,64418	-5,92427	9,671114871
-4,65566	-5,89418	7,511093656	-7,95703	-6,08226	10,0153988	-7,62678	-5,95455	9,675972241
-4,666	-5,9129	7,532193732	-7,95245	-6,11334	10,03067231	-7,6075	-5,98393	9,678919071
-4,67263	-5,92857	7,548603405	-7,94695	-6,13794	10,04133068	-7,58951	-6,01246	9,682475781
-4,6614	-5,93414	7,546036542	-7,9421	-6,15651	10,04885903	-7,57419	-6,03925	9,687151011
-4,63466	-5,93063	7,526781883	-7,93715	-6,17121	10,05396355	-7,55968	-6,06479	9,691771731
-4,60085	-5,92808	7,503995816	-7,93274	-6,18159	10,05685929	-7,54529	-6,08563	9,693621281
-4,55001	-5,92639	7,471592162	-7,93042	-6,19145	10,0610941	-7,53162	-6,1028	9,693785001

Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 4.5: Estimação de energia produzida por complexo

Velocidade (m/s)	E82 (kW) x 35	G114 (kW) x 19	AGW110 (kW) x 12	E82	5281	1,225	G114	10207	1,225
				m/s	P(kW)	Cp	m/s	P(kW)	Cp
7,0538090577	19052,705510658	24301,9202942066	10437,0352421435	2	3	0,000115934	2	0	0
7,088228305	19332,9731832484	24659,4045704699	10590,5653313176	3	25	0,000286256	3	50	0,000296212
7,123401722	19622,2076556854	25028,3260914354	10749,0074161112	4	82	0,000396106	4	250	0,000624821
7,1612999648	19937,0616913191	25429,9256266825	10921,483848091	5	174	0,000430345	5	480	0,000614224
7,2024816688	20282,9930322153	25871,1645819073	11110,9843678086	6	321	0,00045944	6	770	0,000570207
7,2413014391	20612,7262829858	26291,7427078901	11291,6116050728	7	532	0,000479507	7	1250	0,000582924
7,2791233925	20937,4024440444	26705,8704643424	11469,4685783702	8	815	0,000492114	8	1650	0,000515476
7,3176872473	21271,9394906231	27132,5758808968	11652,7273256904	9	1180	0,000500417	9	1800	0,000394946
7,3547091057	21596,4345268264	27546,472610748	11830,4850791423	10	1612	0,00049836	10	1950	0,000311911
7,3920748581	21927,2730829724	27968,4605650158	12011,7178005542	11	1890	0,000438997	11	2000	0,000240352
7,4250924503	22222,4098440163	28344,9105153269	12173,3931476351	12	2000	0,000357819	12	2000	0,000185132
7,4566155668	22506,647868701	28707,4590162003	12329,0981880102	13	2050	0,000288471	13	2000	0,000145612
7,4881541467	22793,4405428746	29073,2659985646	12486,2026604362	14	2050	0,000230966	14	2000	0,000116586
7,5110936559	23608,3276447216	25946,4004088351	12414,5456501603	15	2050	0,000187784	15	2000	9,4789E-005
7,5321937316	23807,847792381	26165,6802205484	12510,4642203581	16	2050	0,000154729	16	2000	7,8103E-005
7,5486034047	23963,7907093249	26337,0670898277	12601,4675070946	17	2050	0,000128999	17	2000	6,5115E-005
7,5460365424	23939,3527438171	26310,2088875957	12588,6166926295	18	2050	0,000108671	18	2000	0,000054854
7,5267818829	23756,5671472487	26109,3209488606	12492,4980616558	19	2050	9,2400E-005	19	2000	4,6641E-005
7,5039958162	23541,4626172424	25872,9133409482	12379,3843736594	20	2050	7,9221E-005	20	2000	3,9989E-005
7,4715921618	22642,534079798	28880,7832650485	12403,5363917261	21	2050	6,8434E-005	21	2000	3,4544E-005
7,4383032794	22341,2362851894	28496,4748535579	12238,4860423701	22	2050	5,9520E-005	22	2000	0,000030044
7,4161628573	22142,3306293424	28242,7686598785	12129,5259086623						

Fonte: Autoria Própria (2017).

A Figura 4.6 mostra a geração média das 24 horas para cada complexo, a partir dos dados da Figura 4.5.

Figura 4.6: Estimação de energia injetada no SIN pelos complexos

<b>Previsão de geração dos Complexos Eólicos</b>	
<b>Geração do dia seguinte (Individual)</b>	
<b>Complexo</b>	<b>WRF MW med</b>
<b>Cerro Chato</b>	71,8741591063
<b>Sta Vitoria do Palmar</b>	59,9448931288
<b>Corredor do Senandes</b>	21,0360255246
<b>Cassino</b>	37,3117910439
<b>Geração do dia seguinte (Conjunto)</b>	
<b>Complexo</b>	<b>WRF MW med</b>
<b>Campos Neutrais</b>	266,0489291457
<b>Hermenegildo</b>	116,1676472698
<b>Chui</b>	28,2981991792

Fonte: Aatoria Própria (2017).

Os intervalos das velocidades do vento foram definidos pelo tempo de integração numérica, de 40 segundos, isso contribui com maior precisão dado que o ONS solicitando somente cada 30 minutos.

#### 4.5.1 Correções do ciclo PDCA

Como citado na seção anterior, a estabilidade para a determinação do coeficiente de cisalhamento é um fato de considerável importância, para isto, com a obtenção de dados do modelo foram possíveis fazer algumas analogias.

Segundo Zannetti o ajuste do valor da rugosidade da superfície ( $Z_0$ ) pode ser dado pela relação do ajuste da curva de potência pela seguinte equação:

$$\frac{1}{L_0} = aZ_0^b \quad (4.1)$$

Onde  $a$  e  $b$  são tabelados de acordo com o nível de estabilidade segundo a Tabela 4.2:

Tabela 4.2: Estabilidade segundo o gradiente Richardson

<b>Estabilidade</b>	a	b
Muito Instável	-0.0875	-0.1029
Moderadamente Instável	-0.003849	-0.1714
Levemente Instável	-0.00807	-0.3049
Neutra	0	0
Levemente Estável	0.00807	-0.3049
Estável	-0.03849	-0.1714

Fonte: Adaptação Zannetti (1996).

Definida a rugosidade da superfície ( $Z_0$ ) podemos definir o coeficiente de cisalhamento. Segundo Fechner, o coeficiente é dado por:

$$\alpha = c_0 + c_1 \log(Z_0) + c_2 (\log(Z_0))^2 \quad (4.2)$$

Onde  $c_0$ ,  $c_1$  e  $c_2$  são definidos pela definidos pela Tabela 4.3 de acordo com a estabilidade presente:

Tabela 4.3: Estabilidade segundo o gradiente Richardson

<b>Estabilidade</b>	$c_0$	$c_1$	$c_2$
Instável	0.18	0.13	0.03
Neutra	0.20	0.17	0.03
Levemente Estável	0.52	0.20	0.03
Estável	0.80	0.25	0.03
Muito Estável	0.80	0.25	0.03

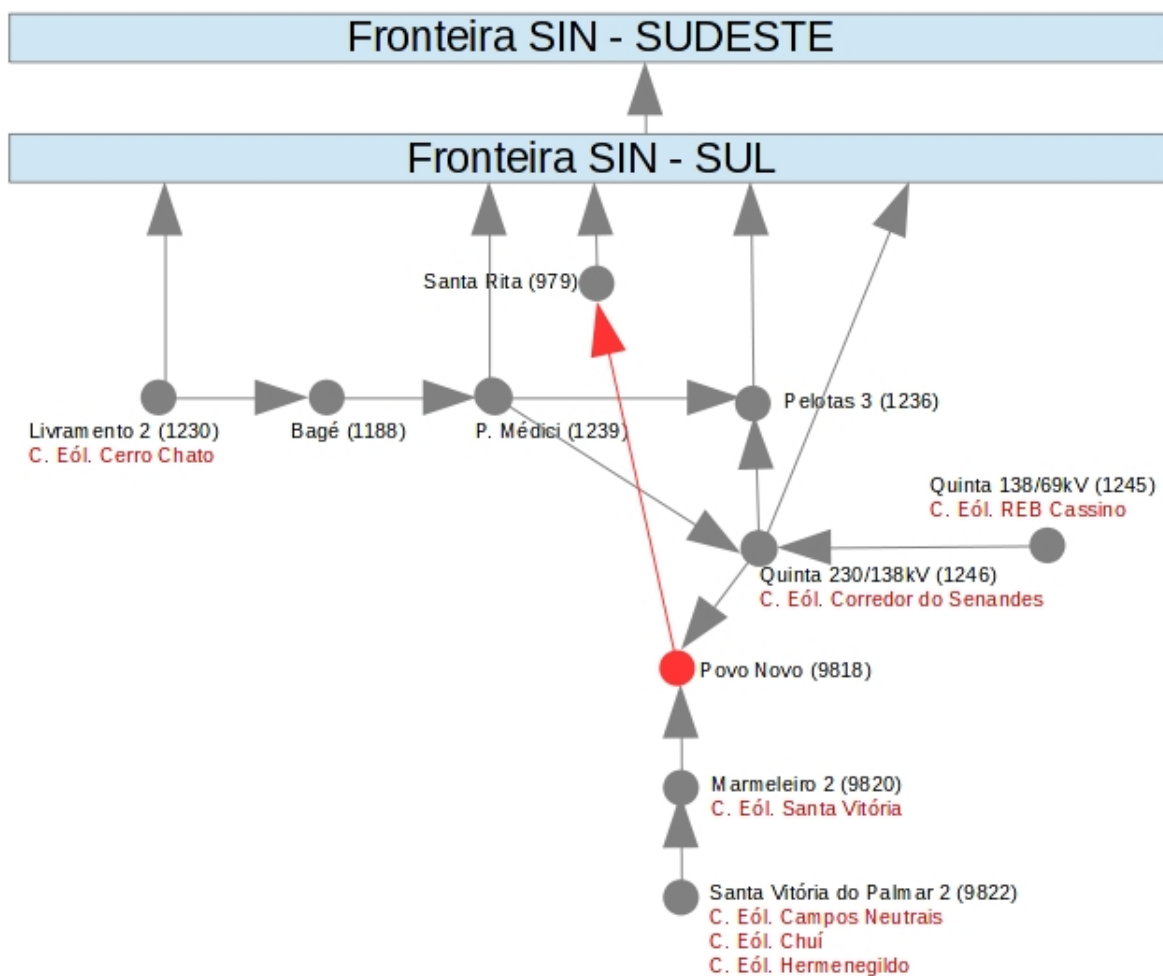
Fonte: Adaptação FERCHNER (2015).

#### 4.6 Definição das barras da área de estudo

Para a referente atividade foi utilizada uma ferramenta presente no ANAREDE, o FormCepel, com o cartão de entrada inserido no mesmo, é possível criar novos cenários a partir de filtros de acordo com os parâmetros pretendidos, que eram todo o subsistema sul. O ONS disponibiliza a simulação dos diferentes cenários, porem seguindo o foco de

analisar o efeito causado pelo estudo de caso, decidiu-se criar um equivalente de fronteira em relação ao sistema no qual os complexos se encontram interligados, como mostra Figura 4.7. Para que fosse possível a estimação do fluxo de potência do trabalho, foi necessário a realização de um equivalente como citado anteriormente dado que a versão acadêmica do ANAREDE disponibilizada pelo CEPEL permite somente 120 barras, sendo que os cartões possuem muito além desse valor.

Figura 4.7: Equivalente do SIN para a área de estudo



Fonte: Autoria Própria (2017).

#### 4.6.1 Cenários de carga no SIN

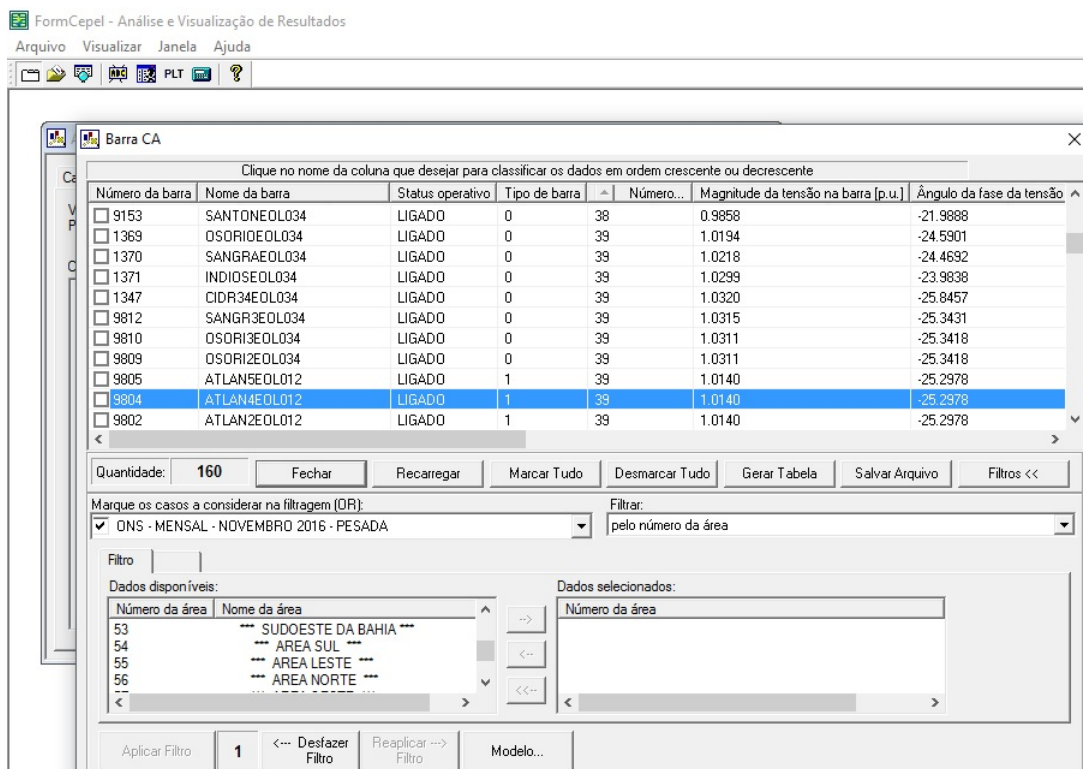
Para a análise do SIN, será utilizado no nível de carga médio comparando os níveis de intercâmbio entre os subsistemas, de maneira a que possa ser medido o efeito de uma estimação de geração que diminua níveis de geração de fontes de possível estocagem.



#### 4.6.1.1 FormCepel

No FormCepel é possível aplicar filtros referentes as empresas responsáveis por cada barra assim separamos os complexos e cidades vizinhas onde ocorre interligação do SIN, ao mesmo tempo também foram retirados os dados das linhas de transmissão necessárias. A Figura 4.8 mostra a filtragem das barras da área de estudo para a realização do equivalente.

Figura 4.8: Área de trabalho do FormCepel

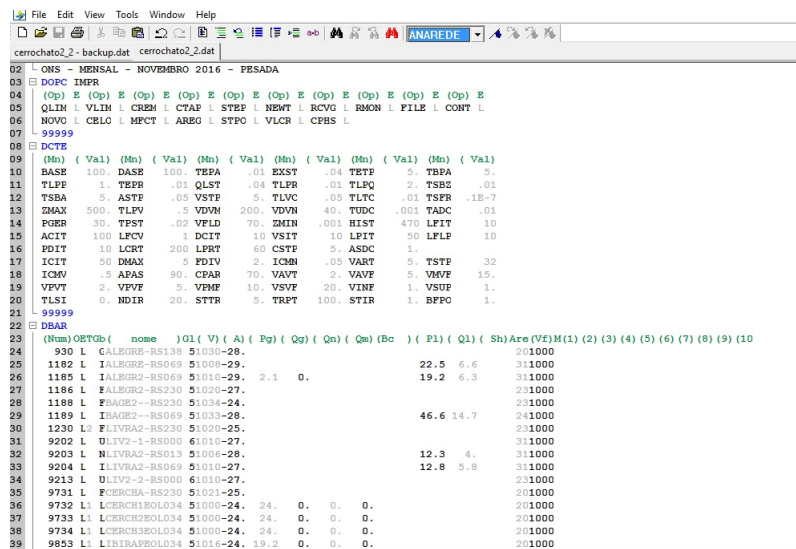


Fonte: Autoria Própria (2016).

#### 4.6.1.2 EditCepel

Após a seleção das barras, no EditCepel foram realizadas as alterações e criada a barra de fronteira e das eólicas do Sul. Aqui também foram alterados os dados quando necessário para a criação de novos cenários como mostra a Figura 4.9:

Figura 4.9: Área de trabalho do EditCepel

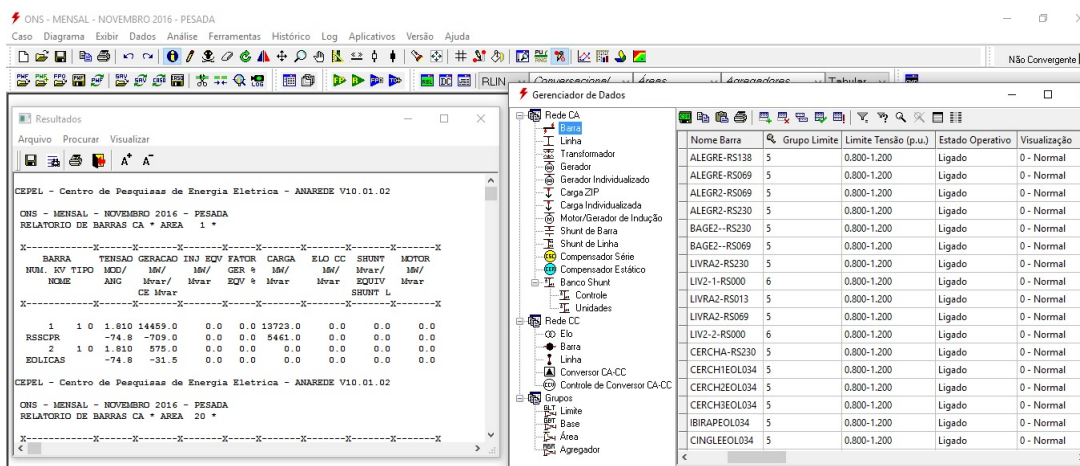


Fonte: Autoria Própria (2016).

### 4.6.2 Simulações de fluxo de potência com o ANAREDE

Após preparados os cartões de entrada em formato compatível, foram realizados os fluxos de potência e gerados relatórios, foco da discussão na próxima seção. A seguir a Figura 4.10 mostra o ambiente do software utilizado.

Figura 4.10: Área de trabalho do ANAREDE



Fonte: Autoria Própria (2016).

## 5 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos para os complexos eólicos discutidos no presente trabalho.

### 5.1 Energia Produzida

A partir de toda a metodologia apresentada na seção 4, foram obtidas as velocidades do vento na altura desejada de 100 metros, sendo elaborado o PDO para os dias apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Energia produzida pelos complexos

Complexo	MW	med			
	09/05	10/05	11/05	15/05	16/06
Cerro Chato	69.39	112	129		
Santa Vitória do Palmar*	78.53	76.53	49.10		
Corredor do Senandes	55.20	48	32.5		
Cassino	36.10	23.7	11.7		
Conjunto Conexão Santa Vitória do Palmar 2	355	201	194.93		

\* Complexo com unidades geradoras em testes.

Fonte: Autoria Própria (2017).

### 5.2 Margens de erros aferidos

A partir dos dados processados e realizado o pós-processamento obtendo Tabela 5.1, são comparados aos valores obtidos pelo ONS em relação ao informado por cada um dos complexos, como segue a Tabela 5.2. Os desvios apresentados estão organizados primeiramente por dia, sendo a primeira coluna consecutiva a margem de erro do modelo após o ajuste realizado e sua seguinte a margem de erro do informe por parte do complexo disponibilizado pelo ONS no dia após a operação.

#### 5.2.1 Flutuação da energia produzida

Considerando os baixos níveis de desvios obtidos nos resultados, foi realizada a estimativa da flutuação, ou seja quanto daquela energia é de fato utilizável a longa escala, considerando níveis de carga praticamente fixos.

Tabela 5.2: Desvios de geração

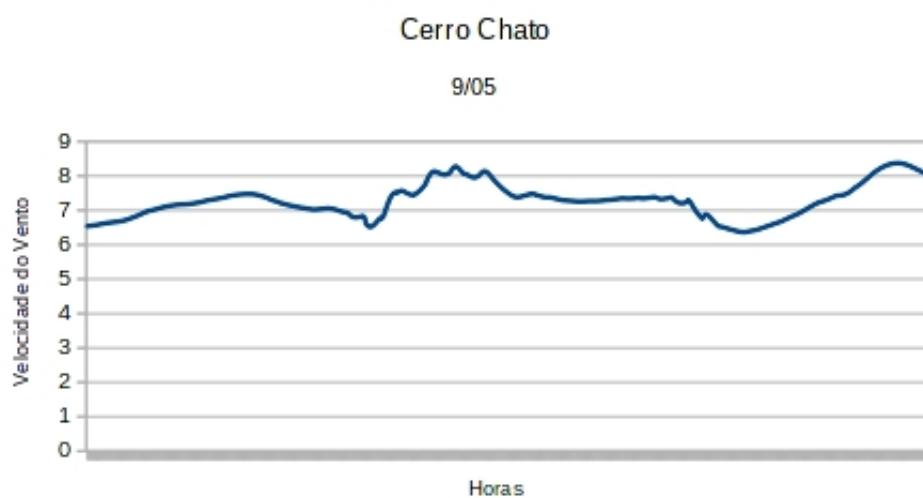
Complexo	Desvio	WRF	Complexo			
	09/05		10/05		11/05	
Cerro Chato	8.9	-10.8	-3.9	8.2	-9.1	8.7
Santa Vitória do Palmar*	9.5	252.2	1.6	365	-0.02	16.2
Corredor do Senandes	9.1	7.2	-2.9	18.9	-13	-24.5
Cassino	10.3	14.0	-3.2	19	-18	-29
Conjunto Conexão Santa Vitória do Palmar 2	-8.5	1.5	18	7.1	3.4	8.0

\* Complexo com unidades geradoras em testes.

Fonte: Autoria Própria (2017).

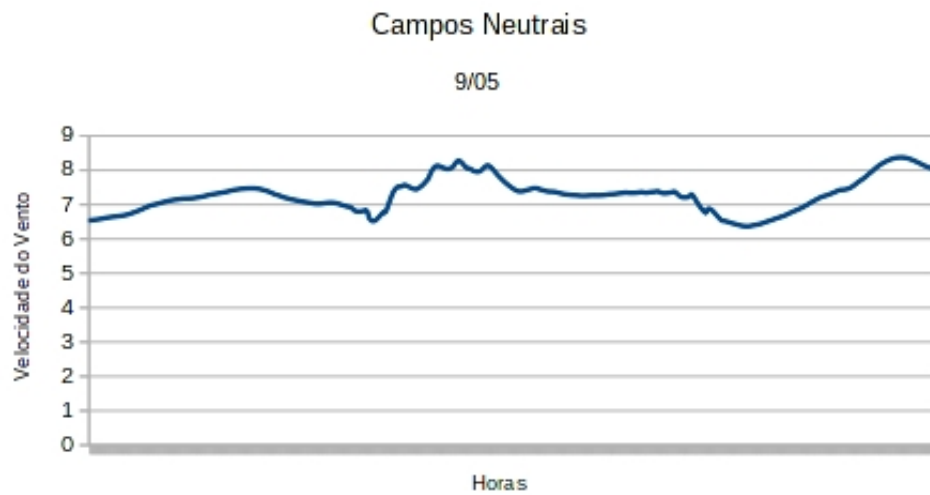
A seguir a Figura 5.1, 5.2, 5.2, 5.4 apresentam a oscilação da velocidade do vento, partindo das 00:00hs até as 24:00hs.

Figura 5.1: Cerro Chato - Dia 9 de junho



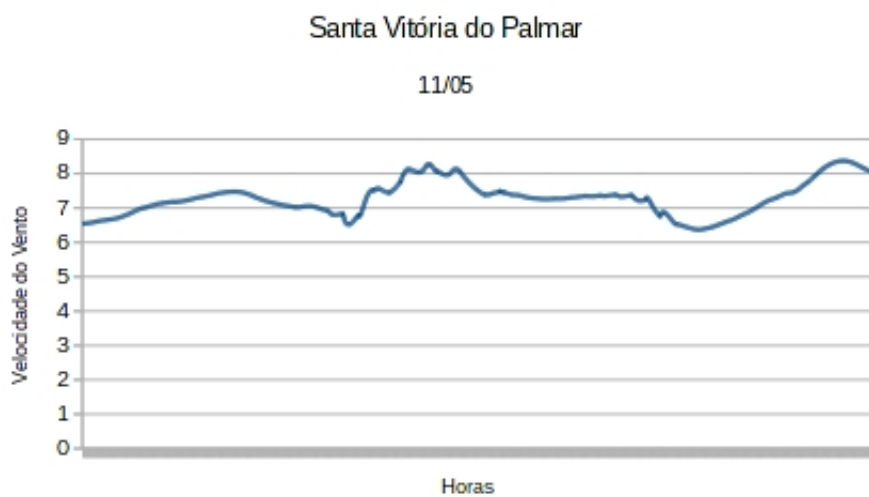
Fonte: Autoria Própria

Figura 5.2: Campos Neutrais - Dia 9 de junho



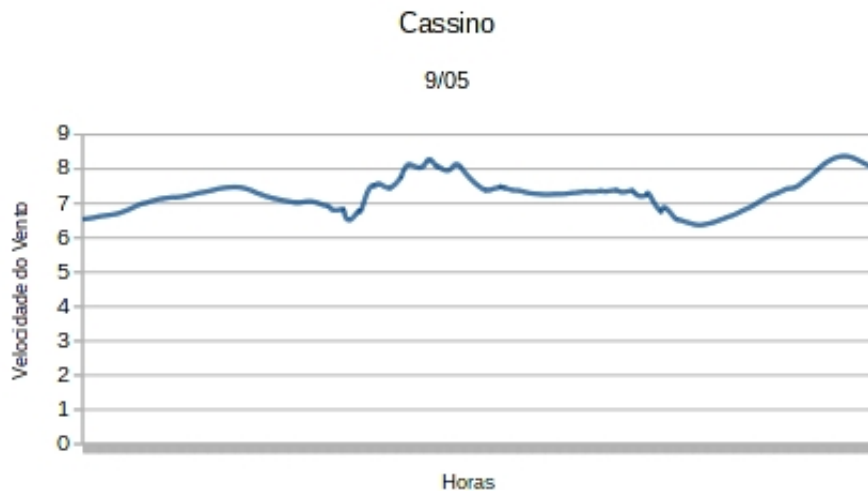
Fonte: Autoria Própria

Figura 5.3: Santa Vitória do Palmar - Dia 11 de junho



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.4: Cassino - Dia 11 de junho



Fonte: Autoria Própria

As figuras apresentam dados consideráveis para o trabalho, deixando em claro o decaimento da velocidade do vento no horário onde o consumo é maior, porém mostram em todos os casos uma oscilação baixa durante as 24 horas de análise, o que torna confiável a fonte para um maior aproveitamento dessa energia gerada.

### 5.3 Resultado da Operação do SIN

A seguir a Tabela 5.3 mostra o intercâmbio entre a região sul e sudeste do SIN, mostrando como o modelo mediante os ajustes e seu equivalente previram o fluxo e como o ONS previu aquele fluxo com base nos PDO do dia. Cabe destacar que tem inúmeros parques eólicos além dos estudados no presente trabalho, expondo somente a importância de uma previsão melhor para a operação.

Tabela 5.3: Resultado Intercâmbio

Sul-Sudeste	Estimado (MW)	ONS Verificado (MW)	ONS Programado (MW)
09/05	-4387.5	-4440	-4327
10/05	-4282	-4326	-4274
11/05	-4602	-4627	-4165

Fonte: Autoria Própria (2017).

## 5.4 Fator de capacidade

Citado na Seção 3.7, a partir dos dados obtidos acima, é possível determinar o fator de capacidade, lembrando que o ONS considera 25% o fator de capacidade dos complexos acima. [16]

A Tabela 5.4 apresenta os fatores de capacidade dos complexos.

Tabela 5.4: Fator de capacidade dos complexos

Complexo	FC		
	09/05	10/05	11/05
Cerro Chato	42.5	68.2	79
Santa Vitória do Palmar*	70.14	69	44.2
Corredor do Senandes	50.9	44.23	30
Cassino	56.4	37	18.3
Conjunto Conexão Santa Vitória do Palmar 2	61	34.5	33.5

\* Complexo com unidades geradoras em testes.

Fonte: Autoria Própria (2017).

## 5.5 Ajustes do PDCA

Como exposto na seção Seção 4.1, o erro desejado na planificação era de no máximo 20%, em ambas as direções. Executando o modelo o qual entrega as velocidades a uma altura de 56.6 metros, utilizando a lei da potência com valores padrão e a rugosidade da superfície em momentos onde aqueles parâmetros não fossem possíveis de ajuste, o erro se torna muito acima do desejado. A implementação do PDCA foi de sustancial importância porque pelos mecanismos por ele oferecidos foi possível realizar esse ajuste onde foram contempladas as margens desejadas.

A partir dessa etapa, optou-se em primeira instância na diminuição do tempo de integração, abaixando o mesmo de 60 segundos para 40 segundos, o que levou a requerer um pouco mais de processamento computacional, porém possibilitava ainda o tempo útil para a elaboração do PDO que lembrando deve ser entregue às 9 horas da manhã.

A partir desses novos dados, foi obtida uma maior precisão porém não a estipulada no PDCA, e ainda assim não era possível detectar somente com os dados de velocidade do vento o nível de estabilidade atmosférica, a que possibilitou uma margem de erro aceitável para o processo. Com os dados de saída em cada complexo, foi possível assim

calcular o comprimento de Obukhov e o gradiente Richardson, sendo viável a utilização dos parâmetros para cada situação, obtendo resultados contemplados pela etapa inicial do PDCA.



## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 Otimização obtida após implementação

Após a determinação do PDCA onde a metodologia foi ajustada até obter níveis de operação que seriam considerados ótimos, é possível operar complexos com graus de certeza os quais o ONS possa vir a diminuir a operação em usinas onde o preço de operação seja elevado assim como a possível reserva em usinas onde seja possível realizar a detenção como no caso de hidrelétricas com grandes reservatórios, dado que todos esses complexos tem contratos efetuados pelo Proinfa, o qual efetua a compra da energia em sua totalidade.

Com a implementação do PDCA é possível o ajuste a partir de um histórico de dados do local, podendo corrigir os parâmetros para cada local o que torna o processo mais confiável, assim como fornecer ao ONS dados com os quais possam trabalhar na íntegra e não considerando somente 25% como fator de capacidade.

O fato mais importante na diminuição dessa margem de erro, é a possibilidade de conhecer ao longo das 24 horas da operação como se comporta a geração, como visto na Subseção 5.2.1, no horário de ponta a fonte começa a diminuir sua capacidade, não entregando confiança para atender essa carga, porém apresenta disponibilidade quase sem intermitências que sugere a utilização da mesma, como dito anteriormente, criando uma reserva.

### 6.2 Níveis de disponibilidade da fonte eólica

A disponibilidade da fonte eólica em especial na área de estudo, não apresenta valores significativos além dos declarados pelos complexos perante a ANEEL, porém cabe destacar que suas potências instaladas em conjunto de todos eles, são de magnitudes relevantes, ainda lembrando que as condições climáticas nos complexos de Santa Vitória do Palmar, Corredor do Senandes, Cassino, Campos Neutrais, Hermenegildo e Chui podem ser consideradas similares o que leva em casos de geração elevada um acréscimo significativo de potência.

Conjuntamente com esse dado, deve ser levado em consideração que dadas as velocidades de *cut-out* serem similares e os complexos com proximidades que implicam velocidades similares, pode vir a acarretar uma saída em massa dos mesmos consequentemente um passo de instabilidade no SIN. Isso reforça a necessidade futura da implementação de um

processo de previsão mais exato, tal como o apresentado no presente trabalho, possibilitando uma operação com maior conhecimento dos possíveis cenários que a fonte eólica enfrentará nas seguintes 24 horas.

### **6.3 Estimação de adversidades no SIN**

A principal vantagem em operar com baixas margens de erro possibilita ao operador a possibilidade de contar com aquela fonte sobre algumas condições, oferecendo uma usina que deva sair de operação ou até mesmo a ativação com maior grau de certeza se a fonte eólica for muito intermitente ou até mesmo não consiga atender carga alguma.

Além da já citada problemática da desconexão de vários complexos ligados ao mesmo ponto de conexão, seja por não atingir a velocidade de *cut-in* ou sobrepassar a velocidade de *cut-out*.

## 7 CONCLUSÃO

Ao longo da realização do trabalho foi possível perceber que por maior que seja o recurso computacional e conhecimento do local, o pós-processamento dos dados é de essencial importância, obter informações não somente da velocidade do vento como também de estabilidade atmosférica, aumentam gradativamente a credibilidade de todo o processo, dado que com a diminuição da margem de erro e conhecimento da situação que será enfrentada nas próximas horas, todo o processo é validado, podendo o operador contar com uma informação dentro de padrões que sejam toleráveis e de possível correção.

O PDCA é uma peça de suma importância dentro de todo esse processo, ele define os níveis, assim como coleta os dados que foram ajustados tanto quanto os dados que por ventura vieram a acarretar erro, em períodos maiores de utilização de toda essa metodologia utilizada acabam gerando uma série de dados que mitigam qualquer possibilidade de erro dentro da operação.

Como foi visto o fluxo esperado do fluxo de carga real fortemente vinculado ao esperado pelas previsões geradas no presente trabalho indicam movimentações diferentes, as quais indicam um indício de desperdício, considerando que o ONS não tem dados com confiabilidade fortemente vinculada as margens de erros aferidas, tendo que trabalham com valores muito abaixo para que não venha a ocorrer faltas de fornecimento de energia.

Visando trabalhos futuros, uma série de novas frentes se abre, vinculadas aos transitórios nos momentos em que um parque possa vir a sair da operação pelas condições de velocidades de *cut-in* ou *cut-out*, a modo de comparar em que momento real os complexos saem e em qual foi estimado que sairiam, realizando o estudo do comportamento nesse exato momento. Outro fato interessante na continuação do trabalho é a operação em fator de capacidade máxima, onde a faixa operativa não seja a suficiente para atender esse fator de capacidade por muito tempo, onde há um transitório decorrente de variações de potência no SIN.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CUSTODIO, Ronaldo. **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica**. Eletrosul Centrais elétricas Brasileiras S.A. Florianópolis, 2008.
- [2] DE LEON, Juan S. **Implementação de um ciclo PDCA utilizando dados SCADA e WRF no Complexo Eólico Cerro Chato**. Bagé, 2016.
- [3] CUSTODIO, Ronaldo. **Boletim mensal de geração eólica**. Eletrosul Centrais elétricas Brasileiras S.A. Florianópolis, 2015.
- [4] TENTARDINI, Cleber. **A Revolução Eólica - Mais três parques eólicos no Pampa**. Disponível em <<http://www.jornalja.com.br/a-revolucao-eolica-46-mais-tres-parques-eolicos-em-livramento>>
- [5] ONS. **Critérios para Classificação da Modalidade de Operação de Usinas**. 2016.
- [6] ARRILLAGA, J. **Computer Modelling of Electrical Power Systems**. Wiley India Edition. New Delhi, 2003.
- [7] MME. **O PROINFA**. Disponível em <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>
- [8] EPE. **Metodologia de Cálculo da Garantia Física das Usinas**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos26/NT>
- [9] Eletrosul. **Extremo Sul terá maior complexo eólico da América Latina**. Disponível em <http://www.eletrosul.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/extremo-sul-tera-maior-complexo-eolico-da-america-latina>
- [10] CAMARGO SCHUBERT. **Atlas Eólico do Rio Grande do Sul**. 2014.
- [11] SKAMAROCK, Bill. **The Advanced Research WRF**. Disponível em [http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/tutorial/201207/tut\\_dyn\\_arw201207.pdf](http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/tutorial/201207/tut_dyn_arw201207.pdf)
- [12] METED UCAR. **Eta Coordinate**. Disponível em [https://www.meted.ucar.edu/nwp/model\\_structure/](https://www.meted.ucar.edu/nwp/model_structure/)
- [13] NEWMAN, Jennifer. **The Impacts of Atmospheric Stability on the Accuracy of Wind Speed Extrapolation Methods**. School of Meteorology, University of Oklahoma, 2014.
- [14] ONS. **Procedimentos de Rede**. 2016.
- [15] CEPEL. **Análise de Redes Elétricas**. Disponível em <http://www.cepel.br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm>
- [16] ONS. **Casos de Referência**. 2017.
- [17] UCAR. **User Guide**. Disponível em [http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user\\_guide/](http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide/)

[18] WINDENERGIE. **Power Curve**. Disponível em  
<http://wind-data.ch/tools/powercalc.php>

[19] NOAA. **GFS Products**. Disponível em [www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs](http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs)

## ANEXO I - SCRIPT I

```

#!/bin/sh
#
###-----###
### SETANDO PATHS                                     ###
###-----###
#
path_cron=/home/lmsc/cron
#
###-----###
### CONSEGUE A DATA DO SISTEMA E CRIA DATA INICIAL E FINAL ###
###-----###
#
cd $path_cron/ &&

aa='date +%Y'
yy='date +%y'
mm='date +%m'
dd='date +%d'
tim='date +%T'
sdat=$aa$mm$dd
sdat=$sdat'00'

echo $sdat

mkdir $sdat

#
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f018
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f021
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f024
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f027
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f030
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f033
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f036
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f039
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f042
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f045
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f048
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f051
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f054
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f057
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f060
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f063
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f066
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f069
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f072
wget http://www.ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.$sdat/gfs.t00z.pgrb2.0p50.f075

```

#

```
scp gfs.t00z.pgrb2.0p50* wrf3@192.168.1.100:/home/wrf3/WRF_new/WPS/ &&
```

```
rm -rf gfs.t00z.pgrb2.0p50.f0*
```

```
ssh -t -t wrf3@192.168.1.100 /home/wrf3/cron/operacional.sh
```

```
cd /home/lmsc/cron/$sd
```

```
mail -s "Previsao de vento $sd" jsebastiandeleon@gmail.com < *.UU *.VV
```

```
exit
```

## ANEXO II - SCRIPT II

```

#!/bin/sh
#
path_cro=/home/wrf3/cron
cd /home/wrf3/WRF_new/WPS
ulimit -s unlimited
./link_grib.csh gfs.t00z.pgrb2.0p50* &&

aa='date +%Y'
yy='date +%y'
mm='date +%m'
dd='date +%d'
tim='date +%T'

sdat=$aa$mm$dd
sdatl=$sdat'00'

echo $sdat
echo $sdatl

hori=00
horf=75
let timax=$horf*60

horf2=24
let timax2=$horf2*60

ai='echo $sdat $hori |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,1,4)}''
yi='echo $sdat $hori |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,3,2)}''
mi='echo $sdat $hori |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,5,2)}''
di='echo $sdat $hori |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,7,2)}''
hi='echo $sdat $hori |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,9,2)}''
#
af='echo $sdat $horf |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,1,4)}''
yf='echo $sdat $horf |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,3,2)}''
mf='echo $sdat $horf |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,5,2)}''
df='echo $sdat $horf |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,7,2)}''
hf='echo $sdat $horf |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,9,2)}''

af2='echo $sdat $horf2 |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,1,4)}''
yf2='echo $sdat $horf2 |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,3,2)}''
mf2='echo $sdat $horf2 |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,5,2)}''
df2='echo $sdat $horf2 |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,7,2)}''
hf2='echo $sdat $horf2 |awk -f $path_cro/fwddatan.awk |awk '{ print substr($1,9,2)}''

#
echo $ai
echo $yi
echo $mi

```



```
echo $di
echo $hi
```

```
echo $af
echo $yf
echo $mf
echo $df
echo $hf
```

```
echo $af2
echo $yf2
echo $mf2
echo $df2
echo $hf2
```

```
start=$ai-$mi-$di`_18`:00:00
end=$af-$mf-$df`_03`:00:00
```

```
echo $start
echo $end
```

```
end2=$af2-$mf2-$df2`_00`:00:00
```

```
cat << EOF > /home/wrf3/WRF_new/WPS/namelist.wps
&share
wrf_core = 'ARW',
max_dom = 1,
start_date = '$start',
end_date = '$end',
interval_seconds = 10800,
io_form_geogrid = 2,
opt_output_from_geogrid_path = '/home/wrf3/WRF_new/WPS/',
debug_level = 0,
/
```

```
&geogrid
parent_id = -1,
parent_grid_ratio = 1,
i_parent_start = 1,
j_parent_start = 1,
e_we = 100, 112,
e_sn = 98, 97,
geog_data_res = '10m',
dx = 10000,
dy = 10000,
map_proj = 'lambert',
ref_lat = -32.121,
ref_lon = -53.435,
```

```

truelat1 = -32.121,
truelat2 = -32.121,
stand_lon = -53.435,
geog_data_path = '/home/lmsc/WPS/geog',
opt_geogrid_tbl_path = '/home/juan/WPS/',
ref_x = 49.5,
ref_y = 49.5,
/

&ungrib
  out_format = 'WPS',
  prefix = 'FILE',
/

&metgrid
  fg_name = 'FILE',
  io_form_metgrid = 2,
/

&mod_levs
  press_pa = 201300 , 200100 , 100000 ,
             95000 , 90000 ,
             85000 , 80000 ,
             75000 , 70000 ,
             65000 , 60000 ,
             55000 , 50000 ,
             45000 , 40000 ,
             35000 , 30000 ,
             25000 , 20000 ,
             15000 , 10000 ,
             5000 , 1000
/

&domain_wizard
  grib_data_path = '/home/wrf3/WRF_new/WPS',
  grib_vtable = 'Vtable.GFS',
  dwiz_name      =Juan
  dwiz_desc      =TCC
  dwiz_user_rect_x1 =683
  dwiz_user_rect_y1 =663
  dwiz_user_rect_x2 =742
  dwiz_user_rect_y2 =711
  dwiz_show_political =true
  dwiz_center_over_gmt =true
  dwiz_latlon_space_in_deg =10
  dwiz_latlon_linecolor =-8355712
  dwiz_map_scale_pct =12.5
  dwiz_map_vert_scrollbar_pos =0
  dwiz_map_horiz_scrollbar_pos =0
  dwiz_gridpt_dist_km =10.0
  dwiz_mpi_command =

```

```

dwiz_tcvitals =null
dwiz_bigmap =Y
/
EOF

./ungrib.exe
./metgrid.exe

mv met_em.d01.2017-* /home/wrf3/WRF_new/WRFV3/test/em_real &&

rm -f FILE\2017-* &&
rm -f GRIBFILE.AA* &&
rm -f gfs.t00z.pgrb2.0p50* &&

cd /home/wrf3/WRF_new/WRFV3/test/em_real

cat << EOF > /home/wrf3/WRF_new/WRFV3/test/em_real/namelist.input
&time_control
run_days                = 0,
run_hours               = 57,
run_minutes             = 0,
run_seconds            = 0,
start_year              = $ai, 1987, 2012,
start_month             = $mi, 12, 03,
start_day               = $di, 04, 19,
start_hour              = 18, 06, 00,
start_minute            = 00, 00, 00,
start_second            = 00, 00, 00,
end_year                = $af, 1987, 2012,
end_month               = $mf, 12, 03,
end_day                 = $df, 10, 21,
end_hour                = 03, 06, 00,
end_minute              = 00, 00, 00,
end_second              = 00, 00, 00,
interval_seconds        = 10800,
input_from_file         = .true.,.true.,.true.,
history_interval        = 60, 60, 60,
frames_per_outfile      = 10000, 10000, 1000,
restart                 = .false.,
restart_interval        = 500000,
io_form_history         = 2
io_form_restart        = 102
io_form_input           = 2
io_form_boundary        = 2
debug_level             = 0
/

&domains
time_step               = 60,
max_dom                 = 1,
e_we                    = 100, 124, 151,
e_sn                    = 98, 124, 151,

```

```

e_vert           = 32,   35,   35,
p_top_requested  = 5000,
use_surface      = .false.,
num_metgrid_levels = 32,
num_metgrid_soil_levels = 4,
dx              = 10000, 9000, 1000,
dy              = 10000, 9000, 1000,
grid_id         = 1,    2,    3,
parent_id       = 0,    1,    2,
i_parent_start  = 1,    58,   81,
j_parent_start  = 1,    32,   73,
parent_grid_ratio = 1,    3,    3,
parent_time_step_ratio = 1,    3,    3,
feedback        = 0,
smooth_option   = 0,
max_ts_locs     = 8,
ts_buf_size     = 300,
max_ts_level    = 3
/

&physics
mp_physics      = 6,    6,    6,
ra_lw_physics   = 3,    3,    3,
ra_sw_physics   = 3,    3,    3,
radt            = 27,   27,   25,
cam_abs_freq_s  = 21600,
levsiz          = 59,
paerlev         = 29,
cam_abs_dim1    = 4,
cam_abs_dim2    = 35,
sf_sfclay_physics = 2,    2,    2,
sf_surface_physics = 2,    2,    2,
bl_pbl_physics  = 2,    2,    2,
bldt           = 0,    0,    0,
cu_physics      = 2,    2,    2,
cudt           = 5,    5,    5,
isfflx         = 1,
ifsnow         = 0,
icloud         = 0,
surface_input_source = 1,
num_soil_layers = 4,
sf_urban_physics = 0,
maxiens        = 1,
maxens         = 3,
maxens2        = 3,
maxens3        = 16,
ensdim         = 144,
/

&dynamics
w_damping      = 1,

```

```

diff_opt          = 1,
km_opt            = 4,
diff_6th_opt     = 0,      0,      0,
diff_6th_factor  = 0.12,  0.12,  0.12,
base_temp        = 290.
damp_opt         = 3,
zdamp            = 5000., 5000., 5000.,
dampcoef         = 0.2,   0.2,   0.2
khdif            = 0,     0,     0,
kvdif            = 0,     0,     0,
non_hydrostatic  = .true., .true., .true.,
moist_adv_opt    = 1,     1,     1,
scalar_adv_opt   = 1,     1,     1,
gwd_opt          = 1,
tke_adv_opt      = 1,     1,     1,
/

&bdy_control
spec_bdy_width   = 5,
spec_zone        = 1,
relax_zone       = 4,
specified        = .true., .false., .false.,
spec_exp         = 0.33
nested           = .false., .true., .true.,
/

&grib2
/

&namelist_quilt
nio_tasks_per_group = 0,
nio_groups = 1,
/
EOF

./real.exe

./wrf.exe

scp *.UU *.VV lmsc@192.168.1.1:/home/lmsc/cron/$sdat

rm -f met_em.d01.2017-*
rm -f campo.d01.* &&
rm -f cassi.d01.* &&
rm -f cerro.d01.* &&
rm -f chui.d01.* &&
rm -f herme.d01.* &&
rm -f santa.d01.* &&
rm -f corre.d01.* &&

exit

```