

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS DE TRATAMENTO DE  
DADOS APLICADOS AO LEVANTAMENTO DE RECURSOS EÓLICOS**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Carina Souza (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [carina.souza@fosjc.unesp.br](mailto:carina.souza@fosjc.unesp.br)

Enio B. Pereira (CCST/INPE)  
E-mail: [enio.pereira@inpe.br](mailto:enio.pereira@inpe.br)

Junho de 2016

## **Resumo**

O objetivo desse trabalho de Iniciação Científica é o estudo dos métodos de tratamento e qualificação aplicados aos dados meteorológicos e espaciais utilizados na quantificação do recurso eólico nacional, revisando os algoritmos e propondo melhorias de modo a aumentar a confiabilidade das análises e subsidiar a validação de modelos computacionais de levantamento do recurso eólico. Inicialmente foram estudados os diferentes critérios utilizados pelo Ministério de Minas e Energia (DEA 04/12), International Electrotechnical Commission (IEC 61400-12-1), Measuring Network of Wind Energy Institutes (MEASNET 2009), World Meteorological Organization (WMO 2010), United States Environmental Protection Agency (EPA) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Nesse estudo foi possível verificar e analisar as principais diferenças entre os métodos adotados por cada órgão. O trabalho atual trata da elaboração de algoritmos para a aplicação dos métodos de tratamento e qualificação dos dados anemométricos e meteorológicos coletados pela Rede SONDA (INPE), sendo esperado que ao aplicá-los sejam identificados pontos críticos. Através dos conhecimentos adquiridos pelo estudo de outros métodos espera-se que seja possível a elaboração de soluções para melhorar a qualidade dos dados obtidos.

### **1.0 Introdução**

O consumo de energia mundial vem crescendo com o desenvolvimento de novas tecnologias e a preocupação com a poluição e degradação do meio ambiente cresce a mesma taxa. O estudo de novas formas de gerar energia, torna-se então necessário para que seja possível desenvolver-se tecnologicamente de modo sustentável. A energia eólica é a energia gerada através da passagem do vento, movimento horizontal do ar, paralelo a superfície do planeta, pela pá eólica que ao girar aciona a turbina que faz a conversão da energia cinética do vento em energia elétrica, sendo assim menos poluente que o uso do petróleo e seus derivados, por exemplo.

A disposição do vento na superfície do planeta não é uniforme, podendo-se verificar que em uma mesma região há diferenças se as medidas forem realizadas a alturas diferentes, o que é explicado pela existência de maiores obstáculos e a influência do relevo na passagem do vento a alturas mais próximas ao solo e a alturas mais elevadas esses fatores influenciam menos devido a existência da camada limite. A camada limite estabelece aproximadamente a altura em que o vento se torna geostrófico, ou seja, a altura em que o vento não sofre influência do atrito. O vento geostrófico é um modelo idealizado para facilitar a compreensão do comportamento do escoamento de ar em altos níveis.

A temperatura e a pressão são variáveis meteorológicas que influenciam na direção e velocidade do vento, sendo a primeira responsável por aquecer diferencialmente a superfície terrestre e o ar atmosférico através da radiação solar, dando origem as diferenças de pressão. Os gradientes de pressão constituem a principal força motriz dos movimentos

de ar, surgindo-se então o vento, o qual é controlado pela força de atrito e de Coriolis, sendo a força de Coriolis, a qual modifica a direção do vento.

Ao tratar de energia eólica e conhecendo-se a complexidade do funcionamento do vento pode ser necessário a verificação do potencial energético de cada região para a geração dessa forma de energia mais 'limpa'. O anemômetro é um instrumento que mede a velocidade e direção do vento, entre outros dados, o que torna possível analisar os dados obtidos e calcular o potencial eólico da região, por exemplo. As medidas realizadas por esse instrumento podem conter erros, devido a diversos fatores naturais e ao fator de erro humano na instalação ou programação do aparelho. A qualificação desses dados torna-se necessária antes da utilização dos dados, pois quanto maior o erro associado as medidas, menos exato será o resultado calculado pelo interessado.

## **2.0 Materiais e Métodos**

Os materiais utilizados foram as referências bibliográficas, os programas de computação Matlab e Excel e os dados retirados dos anemômetros instalados pela Rede SONDA do ano de 2009.

O método utilizado foi a comparação entre os critérios aplicados pela Rede SONDA e os critérios aplicados pelo Ministério de Minas e Energia (DEA 04/12), International Electrotechnical Commission (IEC 61400-12-1), Measuring Network of Wind Energy Institutes (MEASNET 2009), World Meteorological Organization (WMO 2010), United States Environmental Protection Agency (EPA), e a verificar quais os critérios que podem ser aplicados aos dados da Rede SONDA para melhorar a qualificação dos dados eólicos já existentes.

## **3.0 Desenvolvimento e Resultados**

### **3.1 Caracterização da Rede SONDA**

A rede SONDA utiliza as estratégias de controle de qualidade de dados adotada pela Baseline Surface Radiation Network (BSRN) em combinação com os critérios de análise estabelecidos pela Webmet.com para os dados meteorológicos e anemométricos.

Ela não altera a base de dados original, mas sinaliza os dados suspeitos de estarem incorretos. O processo de controle de qualidade é composto por quatro etapas seqüenciais, sinalizando os dados possivelmente incorretos (Tabela 1). A etapa 1, verifica se o dados está dentro dos limites físicos. A etapa 2, verifica a frequência com que esse dado ocorre e se ele pode ser considerado extremamente raro. A etapa 3, verifica se a evolução temporal condiz com o esperado para a variável. A etapa 4, verifica se o dado é consistente com medidas apresentadas por outras variáveis da mesma estação.

**Tabela 1: Etapas de Validação**

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| <b>Etapa 1</b> | Fisicamente Possível |
|----------------|----------------------|

|                |                                |
|----------------|--------------------------------|
| <b>Etapa 2</b> | Extremamente Raro              |
| <b>Etapa 3</b> | Evolução Temporal Esperada     |
| <b>Etapa 4</b> | Consistente com outras Medidas |

O dado só poderá prosseguir para a próxima etapa se for aprovado na etapa anterior. Se o dado não obtiver aprovação o processo será interrompido e o dado receberá o código de suspeito. Os códigos numéricos são os resultados de cada uma das etapas anteriormente aplicadas (Tabela 2). Eles são lidos da direita para a esquerda, classificando o dado em nenhum procedimento executado, dado suspeito de ser incorreto, procedimento não pode ser executado e dado de boa qualidade ou não suspeito.

**Tabela 2: Código para o Controle de Qualidade para Dados Meteorológicos**

| <b>Código</b> | <b>Significado</b>                  |
|---------------|-------------------------------------|
| 0             | Nenhum Procedimento Executado       |
| 2             | Dado Suspeito de ser Incorreto      |
| 5             | Procedimento não pode ser Executado |
| 9             | Dado de Boa Qualidade               |

As variáveis anemométricas descritas na Tabela 3, tiveram seus limites baseados nos critérios da Webmet.com e o dado só poderá ser sinalizado como de boa qualidade se atender a esses limites.

**Tabela 3: Variáveis Anemométricas**

| <i>Fisicamente Possível</i>      | <i>Extremamente Raro</i>                     | <i>Evolução Temporal</i>                       | <i>Comparação entre Sensores</i>  |
|----------------------------------|--|--|---|
| <b>Temperatura (°C)</b>          |  |  |   |
| Mínimo absoluto local            | Variação < 5° no período de 1h               | Variação > 0,5° no período de 12h consecutivas | -   |
| Máximo absoluto local            |  |  |   |
| <b>Velocidade do Vento (m/s)</b> |  |  |   |
| Mínimo (0)                       | Variação < 0,1 no período de 3h consecutivas | Variação < 0,5 no período de 12h consecutivas  | Num mesmo momento: dado do sensor mais alto > dado do sensor mais baixo |
| Máximo (25)                      |  |  |   |
| <b>Direção do Vento (graus)</b>  |  |  |   |
| Mínimo (0°)                      | Variação > 1° no período de 3h consecutivas  | Variação > 10° no período de 18h consecutivas  | -   |
| Máximo (360°)                    |  |  |   |

### 3.2 Comparação entre a Rede SONDA e a United States Environmental Protect Agency (EPA)

A EPA elaborou um guia chamado Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications, o qual regulamenta uma das formas de realizar medidas de grandezas meteorológicas e como validar os dados medidos, segundo os padrões que julgam necessários.

A validação de dados proposta pela agência norte-americana faz uma separação dos dados em níveis, representados em código numérico, os quais indicam o grau de confiabilidade do dado (Tabela 4).

**Tabela 4: Nível de Validação**

|                |   |
|----------------|---|
| <b>Nível 0</b> | Dado retirado diretamente do instrumento  |
| <b>Nível 1</b> | Controle quantitativo, qualitativo e verificação de consistência entre os dados         |
| <b>Nível 2</b> | Comparação com outro conjunto de dados independentes                                    |
| <b>Nível 3</b> | Análise dos dados considerados inconsistentes que a provável causa seja erro de medição |

O código sugerido para fazer o controle de qualidade dos dados meteorológicos é composto por 10 números, os quais são utilizados para sinalizar a qualidade dos dados (Tabela 5). O código 0, significa que o dado é válido, portanto ele foi julgado preciso dentro dos limites de precisão do instrumento utilizado. O código 1, significa que o dado está estimado, ou seja foi classificado como suspeito, inválido ou está faltando e precisará de uma nova revisão. O código 2, significa que o dado foi corrigido usando uma medida já conhecida. Os códigos 3,4 e 5 são dados reservados para uso futuro. O código 6 significa que o dado que foi sinalizado com o código do controle de qualidade não passou nos critérios de seleção automática do software de controle de qualidade. O código 7 são dados que estavam errados, pois ultrapassaram critérios físicos ou não tinha consistência, mas não foi possível identificar uma causa possível. Para determinar a validação final desse dado deve-se verificar novamente sua consistência com um conjunto de dados independentes. O código 8 são observações que foram julgadas incorretas ou inexatas cuja a causa é conhecida. O código 9 são observações que não foram coletadas.

**Tabela 5: Código de Validação**

| <b>Código</b> | <b>Significado</b>        |
|---------------|---------------------------|
| 0             | Válido                    |
| 1             | Estimado                  |
| 2             | Aplicação da calibração   |
| 3             | Reservado para uso futuro |
| 4             | Reservado para uso futuro |

|   |   |
|---|---|
| 5 | Reservado para uso futuro                             |
| 6 | Falhou na revisão automática do Controle de qualidade |
| 7 | Suspeito  |
| 8 | Inválido  |
| 9 | Faltando  |

Ao comparar os níveis de validação da EPA com as etapas de validação da rede SONDA (Tabela 6) é possível verificar que enquanto o primeiro concentra as análises quantitativas e qualitativas em um só nível (nível 1), o segundo separa essas análises em mais de uma etapa (etapas 1,2 e 3). O nível 2 (comparação com outro conjunto de dados) corresponde a etapa 4 (consistente com outras medidas), enquanto que o nível 0 e 3 da agência norte-americana não são estabelecidos nas etapas da rede SONDA.

**Tabela 6: Possível Correspondência dos Níveis e Etapas**

| EPA | SONDA   |
|-----|---------|
| 0   | -       |
| 1   | 1,2 e 3 |
| 2   | 4       |
| 3   | -       |

Os códigos utilizados pela agência norte-americana, possuem diferenças, assim como os níveis ou etapas de validação (Tabela 7). O código 0 (dado válido) da EPA corresponde ao código 9 (dado de boa qualidade) da rede SONDA, pois são os dados que passaram por todos os testes e foram julgados corretos. O código 0 (nenhum procedimento executado) da SONDA pode corresponder ao nível 0 (dado retirado diretamente do instrumento) da agência norte-americana, pois quando os dados são retirados do instrumento, ainda não se realizou nenhum processo de validação. O código 7 (dado suspeito) da EPA pode ser comparado com o código 2 (dado suspeito de ser incorreto) da SONDA, pois são dados que não foram aprovados em todos os níveis ou etapas de validação. O código 9 (dado faltando) pode corresponder ao código 5 (procedimento não pode ser executado) da rede SONDA, pois quando não se tem o dado, os procedimentos não podem ser realizados, no entanto esse não é o único caso que impede a execução.

**Tabela 7: Possível Correspondência entre os Códigos**

| EPA | SONDA |
|-----|-------|
| 0   | 9     |
| 1   | -     |
| 2   | -     |

|   |   |
|---|---|
| 3 |   |
| 4 | - |
| 5 |   |
| 6 | - |
| 7 | 2 |
| 8 | - |
| 9 | 5 |

Ambas as organizações trabalham com os dados sinalizando os procedimentos que realizaram com eles, sem excluir da base de dados os que julgam suspeitos. Esse fato é muito importante, pois as medidas podem ser utilizadas para diferentes fins, então os procedimentos realizados no conjunto de dados podem não ter a mesma confiabilidade dependendo do fim para o qual será utilizado.

As diferenças nas sugestões das formas de validar esse dados estão principalmente nas etapas e níveis de validação e no código gerado para sinalizar os dados. Quanto as diferenças entre os níveis (EPA) e as etapas (SONDA) pode-se identificar o dado retirado diretamente do instrumento (nível 0) e a análise dos dados considerados inconsistentes que a provável causa seja erro de medição (nível 3) que é sugerido pela agência norte-americana e não é sugerido pela rede SONDA.

As diferenças quanto aos códigos ocorrem nos códigos 1,2,3,4,5,6,8 e 9, os quais foram estabelecidos pela EPA e tem o significado de dado estimado, aplicação da calibração, reservado para uso futuro (códigos 3,4 e 5), falhou na revisão automática do controle de qualidade, dado inválido e dado faltando, respectivamente. Embora existam essas diferenças, algumas vezes apenas mudam a ordem de aplicação dos procedimentos, como a diferença que ocorre no nível 0 do manual da EPA, a qual não está definida nas etapas que a SONDA sugere, mas está no código que é gerado após as etapas (código 0). Esse fato ocorre, também com o código 9 (dado faltando) da EPA que corresponde de certa forma com o código 5 (procedimento não pode ser executado) da rede SONDA.

### **3.3 Comparação entre a Rede SONDA e a Nota Técnica DEA 04/12**

A nota técnica DEA 04/12 apresenta as instruções gerais para a realização da medição de dados anemométricos e climatológicos para os parques eólicos vencedores dos leilões de Energia promovidos pelo Ministério de Minas e Energia a partir de Março de 2012.

A instalação da estação, os equipamentos de medição e as rotinas de medição e manutenção são estabelecidas conforme as normas técnicas da International Electrotechnical Commission (IEC 61400-12-1), Measuring Network of Wind Energy Institutes (MEASNET 2009), International Energy Agency e do Ministério da Defesa.

A verificação das medidas devem ser feitas considerando implausíveis os valores que ultrapassem o limite máximo ou mínimo da Tabela 8. As medidas implausíveis podem ser substituídas por hífen nos arquivos.

**Tabela 8: Limites Meteorológicos**

| <b>Temperatura (°C)</b>          |      |
|----------------------------------|------|
| Máxima                           | 50   |
| Mínima                           | -15  |
| <b>Umidade (%)</b>               |      |
| Máxima                           | 100  |
| Mínima                           | 0    |
| <b>Pressão (hPa)</b>             |      |
| Máxima                           | 1060 |
| Mínima                           | 800  |
| <b>Velocidade do Vento (m/s)</b> |      |
| Máxima                           | 50   |
| Mínima                           | 0    |

O código de erro do intervalo de registro (10 minutos) é formado pela soma dos códigos individuais de erro (Tabela 9).

**Tabela 9: Código de Qualificação**

| <b>Código</b> | <b>Caracterização</b>                        |
|---------------|--|
| 1             | Erro em medidores climáticos                 |
| 2             | Erro no anemômetro superior                  |
| 4             | Erro no medidor de direção do vento superior |
| 8             | Erro no anemômetro inferior                  |
| 16            | Erro no medidor de direção do vento inferior |
| 32            | Erro no anemômetro intermediário             |

Ao comparar a qualificação de dados da rede SONDA como a do DEA 04/12 pode-se verificar inúmeras diferenças, como o fato de que o código utilizado pelo DEA é um código que apenas sinaliza em que equipamento o erro ocorreu, enquanto na SONDA são especificados os testes de validação aplicados e não é considerado a procedência do erro e sim qual tipo de erro ocorreu segundo as etapas de validação já apresentadas.

### **3.4 Comparação entre a Rede SONDA e a Internacional Electrotechnical Commission 61400-12-1**



A International Electrotechnical Commission é uma organização internacional com o objetivo de promover cooperação internacional em todas as questões relacionadas a padronização no campo elétrico e eletrônico. O objetivo dessa parte que trata sobre turbinas eólicas da IEC 61400 é fornecer uma metodologia que irá assegurar consistência, acurácia e reprodutibilidade das medidas e análises de desempenho de potência das turbinas eólicas.

Essa norma estabelece como deve ser feita a instalação dos equipamentos de medição e quais os aspectos que devem ser considerados para obter-se um conjunto de dados mais precisos para calcular a curva de potência da turbina. Na Tabela 10 pode-se verificar os passos seguidos a partir da coleta dos dados.

**Tabela 10: Processos Realizados com os Dados**

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1 | Coleta de dados        |
| 2 | Rejeição de dados      |
| 3 | Correção de dados      |
| 4 | Normalização dos dados |

A IEC estabelece que os dados coletados quando houve falha ou degradação do equipamento, os valores da direção do vento estiverem fora dos setores de medição e a velocidade média do vento for menor que 4 m/s ou maior que 16 m/s devem ser retirados do conjunto de dados (Tabela 11). Outros critérios de rejeição de dados podem ser estabelecidos utilizando outras condições especiais atmosféricas durante o teste de desempenho de potência.

**Tabela 11: Limites Meteorológicos**

| <b>Temperatura (°C)</b>          |                            |                            |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                  | Com turbulência isotrópica | Sem turbulência isotrópica |
| Máxima                           | 40                         | 40                         |
| Mínima                           | -10                        | 0                          |
| <b>Velocidade do Vento (m/s)</b> |                            |                            |
| Máxima                           | 16                         |                            |
| Mínima                           | 4                          |                            |
| <b>Direção do Vento (graus)</b>  |                            |                            |
| Máxima                           | 360                        |                            |
| Mínima                           | 0                          |                            |

A comparação da rede SONDA com a IEC 61400-12-1 deve ser feita considerando que a primeira tem como objetivo gerar uma base de dados meteorológicos qualificados que possa ser usado para diferentes fins, portanto não é excluído nenhum dado, mesmo que os critérios de qualificação sinalize que há algum erro. Enquanto a IEC padroniza o modo de instalação e calibração dos equipamentos e também como deve ser feita a normalização dos dados obtidos para turbinas eólicas. Essa diferença torna a comparação mais complicada, pois a SONDA qualifica de uma maneira geral os dados e a IEC qualifica com

o objetivo de avaliar a potência gerada, medindo inclusive a densidade do ar local para normalizar os dados.

### 3.5 Comparação entre a Rede SONDA e a Measuring Network of Wind Energy Institutes (MEASNET) 2009

A MEASNET é uma rede de institutos de medidas que estabeleceram um acordo para padronização dos procedimentos de medidas relacionadas com energia eólica. Ela elaborou o Evaluation of site-specific wind conditions com o intuito de melhorar a qualidade e comparabilidade dos dados.

O guia elaborado por essa rede recebeu o nome de Evaluation of site-specific wind conditions e ele estabelece a forma de instalação de todos os equipamentos para obter-se uma maior precisão nas medidas realizadas e estabelece, também as etapas de validação da base de dados (Tabela 12).

**Tabela 12: Etapas de Validação**

|   |  |
|---|--|
| 1 | Verificar Valores com erros/substituídos |
| 2 | Verificação Visual                       |
| 3 | Verificação de dados Incompletos         |
| 4 | Teste de Limites                         |
| 5 | Teste de Constância                      |
| 6 | Teste de Tendências e Inconsistência     |
| 7 | Teste de Parâmetros Relacionados         |
| 8 | Teste de Correlação                      |

A primeira etapa de validação corresponde aos erros que afetam as avaliações estatísticas e precisam ser filtrados ou tratados adequadamente, a segunda etapa é importante para identificar picos e para comparar medidas em diferentes alturas, a terceira etapa verificar se a seqüência e o número de dados gravado estão corretos, a quarta etapa verificar se os dados de cada sensor estão dentro dos seus respectivos limites. A quinta etapa verifica repetições consecutivas de dados com o mesmo valor para a velocidade e direção do vento, a sexta etapa detecta valores considerados estranhos no tempo, a sétima etapa compara os valores obtidos com valores esperados para as relações físicas entre os diferentes parâmetros, a oitava etapa utiliza de gráficos de dispersão para avaliar a correlação entre diferentes sensores.

O código utilizado para indicar a qualidade do dado é baseado no valor de incerteza associado ao valor obtido (Tabela 13).

**Tabela 13: Código de Validação**

| Subst. Valor de Incerteza | Caracterização |
|---------------------------|----------------|
|---------------------------|----------------|

|           |   |
|-----------|---|
| 0%        | A instalação completa dos equipamentos de medida, operação e avaliação dos dados feitas pela MEASNET                          |
| 0-1%      | A medida é realizada de acordo com um sistema de gestão de qualidade que assegura a integridade e reprodutibilidade dos dados |
| 1-2%      | A integridade do dado é assegurada em alto nível devido a medidas de proteção   |
| 2-5%      | Aplicação dos fatores de calibração   |
| Mínimo 5% | Aplicação somente dos limites físicos   |

Ao comparar os métodos da MEASNET com os métodos da Rede SONDA pode-se verificar algumas correspondências nas etapas de validação. As etapas quatro, cinco e seis da MEASNET podem corresponder as etapas um (fisicamente possível), dois (extremamente raro) e três (evolução temporal) respectivamente, pois em cada uma dessas etapas são verificadas os mesmos aspectos dos dados (Tabela 14).

**Tabela 14: Possível Correspondência entre as Etapas**

| MEASNET | SONDA |
|---------|-------|
| 1       | -     |
| 2       | -     |
| 3       | -     |
| 4       | 1     |
| 5       | 2     |
| 6       | 3     |
| 7       | -     |
| 8       | -     |

### **3.6 Comparação entre a Rede SONDA e a World Meteorological Organization 2010**

A World Meteorological Organization tem como um de seus propósitos a coordenação dos seus 118 membros na geração de dados e informação de tempo, clima e água de acordo com padrões de acordos internacionais. A organização elaborou, então um guia chamado Meteorological Instruments and Methods of Observation em 1954 e periodicamente publica edições desse guia atualizado.

O guia classifica o dado como preciso se o valor obtido for igual ou menor a um limite estabelecido, como impreciso se o valor for maior que esse limite e como faltando se não existe o dado.

Os dados são classificados em níveis também (Tabela 15). O nível I, em geral contém as leituras dos instrumentos, as quais encontram-se em unidades físicas apropriadas e referenciadas com coordenadas geográficas, sendo necessária sua conversão em variáveis meteorológicas normais (pressão, umidade, etc). O nível II corresponde as variáveis meteorológicas normais, as quais podem ser obtidas diretamente do instrumento ou

derivadas no nível I. O nível III são dados que tem consistência interna entre o conjunto de dados geralmente em grid-point.

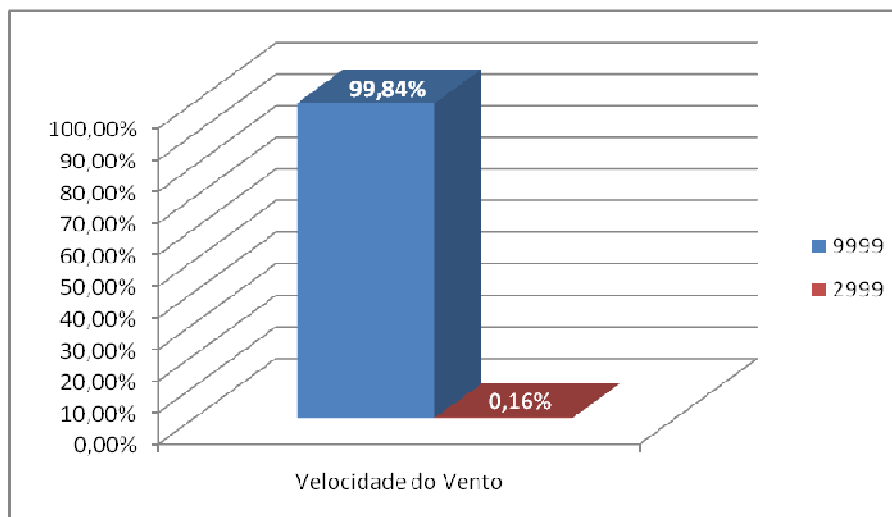
**Tabela 15: Nível de Dados**

| Nível | Caracterização  |
|-------|---|
| 1     | Dados brutos que exigem conversão para variáveis meteorológicas |
| 2     | Variáveis meteorológicas  |
| 3     | Dados com consistência interna                                  |

Ao comparar as características da WMO com a rede SONDA verifica-se que há algumas semelhanças como a classificação do dado como preciso pode corresponder a classificação de dado de boa qualidade e a verificação de consistência interna dos dados que ocorre em ambas.

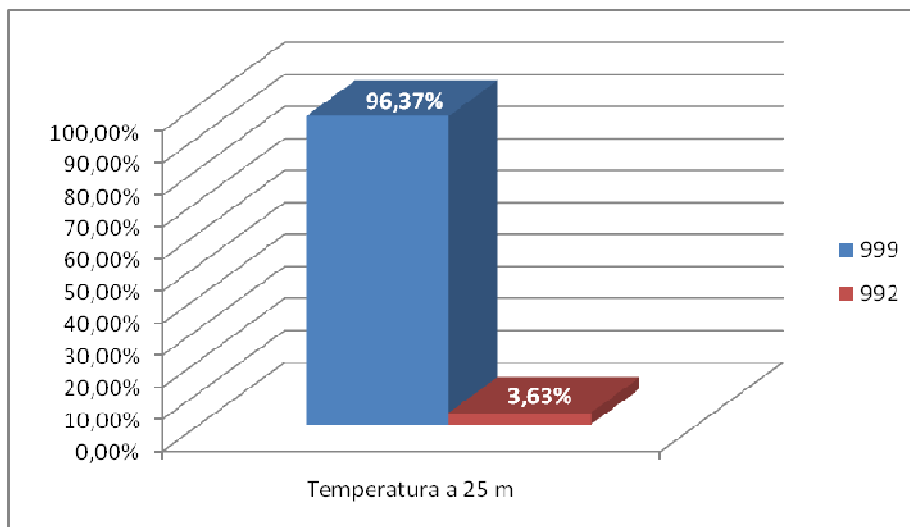
#### 4.0 Resultados

Os parâmetros adotados pelo SONDA foram aplicados a um conjunto de dados, para verificar qual a porcentagem de dados que apresentaram medidas suspeitas de estarem incorretas em comparação com a porcentagem de medidas consideradas dados de boa qualidade. Os dados de velocidade do vento a 25 e 50 metros apresentaram o mesmo gráfico.



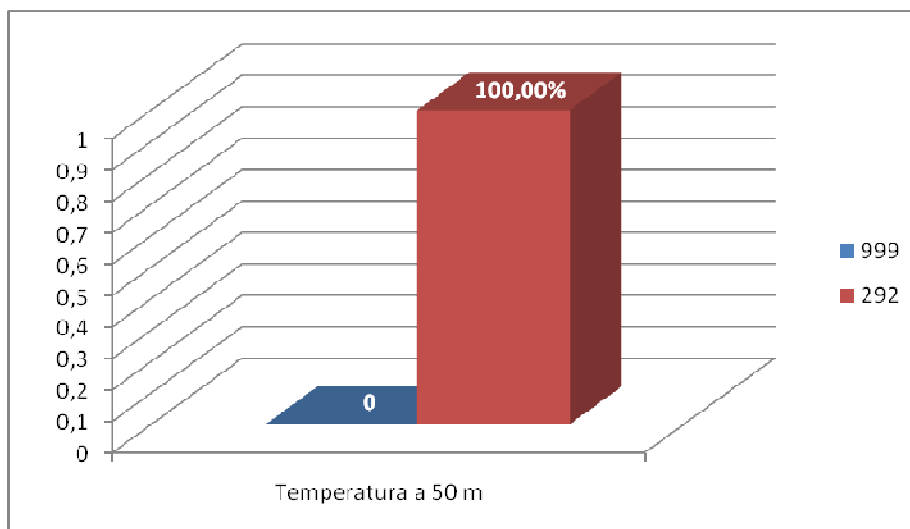
**Gráfico 1: Velocidade do Vento a 25 e 50 metros**

Ao analisar o Gráfico 1 observa-se que a maioria dos dados foram considerados de boa qualidade ao passar por todos os critérios e uma minoria foi considerada suspeita de estar incorreta. A importância da utilização de mais de um critério é verificada quando apenas um dos critérios apresentou resultado diferenciado, pois sem ele o dado seria considerado de forma incorreta um dado de boa qualidade. Esse fator pode ser observado em todos os gráficos do conjunto de dados.



**Gráfico 2: Temperatura a 25 metros**

No Gráfico 2 pode ser observado que ocorreu o mesmo fenômeno que o gráfico da velocidade, os valores considerados suspeitos só receberam esse código devido a um dos parâmetros aplicados e a maioria dos dados foram considerados de boa qualidade.



**Gráfico 3: Temperatura a 50 metros**

O Gráfico 3 mostrou que para esse conjunto de dados, todas as temperaturas a 50 metros foram reprovadas no primeiro e terceiro teste, mas foram aprovadas do terceiro teste. Esse resultado comprova que ocorreu alguma falha do equipamento enquanto ele realizava a medição.

## 5.0 Conclusão

A análise dos gráficos e a revisão bibliográfica das instituições já citadas nesse trabalho verificou a necessidade da criação de novos critérios de qualificação de dados para a Rede SONDA com o objetivo de melhorar a base de dados coletados nas estações meteorológicas, pois como foi observado nos gráficos quanto mais critérios forem aplicados, mais os dados são refinados.

A correlação entre dados de um mesmo local é um dos parâmetros que foram observados que é aplicado em outras validações de dados. Na rede SONDA é aplicado a comparação entre o sensor mais alto que tem que ter a velocidade do vento maior do que o sensor mais baixo, mas o sensor mais baixo também não pode ter uma velocidade muito mais baixa que o sensor mais alto, portanto sugere-se que a velocidade média do vento a 25 metros seja maior do que k vezes a velocidade média do vento a 50 metros ( $\bar{V}_{25} > K * \bar{V}_{50}$ ).

A variação máxima em dez minutos de uma medida de velocidade média do vento para outra é outro parâmetro sugerido para qualificar a velocidade do vento, pois dessa forma seria possível identificar erros menores, que ao verificar variações em um intervalo de tempo maior esses erros passariam pelos critérios sem ser identificados ( $\bar{V}_{x(t)} - \bar{V}_{x(t-1)} > C$ ).

As estações da rede SONDA que possuem anemômetros começaram a registrar recentemente a velocidade mínima e máxima do vento que é utilizada para compor a média da velocidade em dez minutos. Ao estudar os outros tipos de qualificações foi possível verificar que para obter um dado de maior confiança eles conferem se a média está calculada de forma correta. Ao aplicar o parâmetro velocidade média está entre a velocidade mínima e a velocidade máxima registrada, sendo menor que a primeira e maior que a segunda, verifica-se o valor da velocidade média ( $V_{min} < \bar{V} < V_{max}$ ).

As constantes K e C devem ser calculadas para cada estação meteorológica devido a diferenças regionais, através do estudo de todas as bases de dados disponíveis. Esse cálculos podem ser feitos utilizando métodos estatísticos que representem a distribuição dos dados anemométricos.

## 6.0 Referências

AWS Scientific, I. (1997). *Wind Resource Assessment Handbook*. Albany. Acesso em Março de 2016

Internacional Electrotechnical Commission (IEC). (2005). *Internacional Standard 61400-12-1* (1 ed.). Geneva, Suíça: IEC. Acesso em Março de 2016

Martins, R., Guarnieri, R., & Pereira, E. (2008). O Aproveitamento da Energia Eólica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30, 02-13. Acesso em Março de 2016

Measuring Network of Wind Energy Institutes. (2009). *Evaluation of Site-Specific Wind Conditions Version 1*. MEASNET. Acesso em Março de 2016

Ministério de Minas e Energia. (2012). (Nota Técnica DEA 04/12). *Leilões de Energia: Instruções para as medições anemométricas e climatológicas em parques eólicos*. Rio de Janeiro. Acesso em Março de 2016

United States Environmental Protect Agency. (2000). *Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications*. Acesso em Março de 2016

World Meorological Organization (WMO). (2012). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Geneva, Suíça: Chairperson, Publications Board. Acesso em Março de 2016