

Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade

**PREVISÃO DE GERAÇÃO EÓLICA DE CURTÍSSIMO PRAZO COM
PROGRAMAÇÃO R E SUA VIZÃO EXPONENCIAL**

**FORECAST WIND GENERATION FORECAST WITH PROGRAMMING AND
EXPONENTIAL SUAVISATION**

William Ismael Schmitz, Luciane Neves Canha, Alzenira Da Rosa Abaide, Magdiel Schmitz e Iochane Garcia Guimarães

RESUMO

Para que haja um desenvolvimento econômico seguro e sustentável em um determinado país, faz-se necessário que se tenha disponível uma ampla oferta energética, segura e diversificada. Atualmente, fatores como mudanças climáticas tem adicionado novos critérios nos planejamentos de expansão energética, que acabaram por impulsionar as fontes de energia limpa e renováveis, como é o caso da geração eólica. Contudo, a geração eólica apresenta uma peculiaridade em relação as outras, devido a imprevisibilidade dos ventos, torna-se complexo prever a quantidade de energia que será gerada por esta fonte no sistema elétrico. Este trabalho traz como objetivo central estudar e desenvolver um modelo de previsão de geração de energia eólica, de curtíssimo prazo, utilizando-se da metodologia de suavização exponencial que apresenta uma alta adaptabilidade e robustez, e da programação R, muito difundida em cálculos estatísticos e gráficos.

Palavras-chave: previsão de geração, suavização exponencial, previsão de curtíssimo prazo, produção limpa, energias renováveis.

ABSTRACT

What you are looking for is a program for the country, it is necessary that you get a wide range of energy, safe and diversified. Currently, factors such as climate change have added new criteria in the plans for energy expansion, which eventually boosted as sources of clean and renewable energy, as is the case of wind power generation. However, wind generation has a peculiarity in relation to others, due to an unpredictable wind, it becomes complex to predict an amount of energy that is generated by this source without an electrical system. This is a very short-term model of wind power generation, using an exponential smoothing methodology that presents high adaptability and robustness, and R programming, which is very widespread in statistical calculations and graphs.

Keywords: generation forecast, exponential smoothing, very short term forecast, clean production, renewable energies.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia cinética dos ventos para geração de energia elétrica, encontra-se entre as fontes renováveis mais proeminentes da atualidade no mundo. Acordos de cooperação mundial contra mudanças climáticas como a COP 21 (21ª Conferência das Partes), acentuaram a inserção de fontes alternativas de energia na matriz energética, consolidando uma tendência mundial que tem por objetivo limpar a matriz energética atual. No entanto, apesar do vento ser um recurso praticamente inesgotável, apresenta uma dificuldade para a geração de energia elétrica devido a sua inconstância, não permitindo contar sempre com sua geração, que pode variar significativamente mesmo em um intervalo pequeno de tempo. Para o operador do sistema elétrico que tem de estar preparado para atuar no despacho das usinas de geração de energia elétrica, isso se torna um empecílio, pois dificulta o planejamento e operação do sistema elétrico nacional.

Durante a COP21 na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês), foram definidos por todos os países participantes metas de redução de emissões de CO₂ com objetivo de limitar em 2°C o crescimento da temperatura mundial até 2100. Neste evento, o Brasil se comprometeu em reduzir 37% suas emissões de CO₂ até 2025, utilizando como referência os valores de emissão do ano de 2005. Para que seja atingido esta redução de emissão carbônica, um dos compromissos assumidos pelo Brasil foi de ampliar a participação das energias renováveis, além da energia hídrica, em sua matriz energética atual entre 28% e 33% (UNFCCC, 2017).

Dentre as diversas fontes energéticas renováveis e amplamente incentivadas no Brasil, encontra-se a energia eólica. Esta fonte de energia apresenta inúmeras vantagens, como o fato de ser uma fonte não poluente e de utilizar economicamente o território, juntamente com a agricultura por exemplo, para geração de energia. No entanto, devido ao alto custo no armazenamento de energia, e de a saída de energia deste tipo de gerador ser descontínua, é adicionada um fator de complexidade em sua operação, pois a energia deve ser toda disponibilizada imediatamente no sistema elétrico. A energia cinética dos ventos pode variar muito em pouco tempo, a isso é chamado de efeito de rampa, que pode causar danos ao aerogerador e acarreta em um grande desafio ao operador do sistema de planejamento de energia. Portanto, para que energia eólica seja efetivamente utilizada como parte integrante de nossa matriz energética, é necessário que se tenha uma boa previsão de sua geração (HWANG et al, 2012).

O presente trabalho traz como proposta o estudo e elaboração de um modelo de previsão de geração para energia eólica, utilizando a metodologia de suavização exponencial juntamente com a implementação em programação R, de modo a observar o comportamento desta metodologia na previsão de geração de curtíssimo prazo. Para realização do estudo de caso, são utilizados valores reais de vento em um dia típico na cidade de Triunfo PE, juntamente com os dados de um aerogerador WEG tipicamente encontrado nos parques de geração eólica.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

O presente capítulo tem por objetivo realizar uma breve contextualização sobre a fonte de geração eólica, que é objeto de estudo neste trabalho científico. Posteriormente, é apresentada uma revisão sobre a previsão de geração eólica, categorizando os modelos de previsão e apresentando alguns métodos.

2.1 GERAÇÃO EÓLICA

O uso do vento como método de produção de energia é um dos mais antigos na humanidade, tendo início na utilização em moinhos de ventos para bombeamento de água. Segundo GWEC (2017), o Brasil atualmente ocupa o nono lugar no ranking mundial de capacidade instalada em geração eólica, totalizando 10740MW. Somente em 2016, foram acrescentados 2014 MW de energia eólica na matriz energética brasileira.

O aproveitamento da energia cinética dos ventos para produção de eletricidade pode ser realizada tanto por pequenos aerogeradores como por aerogeradores de grandes dimensões, os quais podem ser instalados em terra ou no mar, agrupados em parques ou isolados. O coeficiente de potência de uma turbina eólica pode variar de acordo com a velocidade do vento, o que acaba variando a eficiência da máquina. Conforme a velocidade do vento aumenta, cresce a potência da turbina eólica até alcançar a potência nominal máxima de operação estipulada em projeto. Conforme mencionado, a turbina capta uma parte da energia cinética do vento e a converte em energia elétrica, e conforme Sperandio et al (2013) apresenta, pode ser modelada pela equação 1.

$$P(\text{Watts}) = \frac{1}{2} * \rho * A_r V^3 * C_p * \eta \quad (1)$$

Onde:

C_p = Coeficiente aerodinâmico de potência do rotor

ρ = Densidade do ar em $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$A_r = \pi \frac{D^2}{4}$ em que D é o diâmetro do rotor.

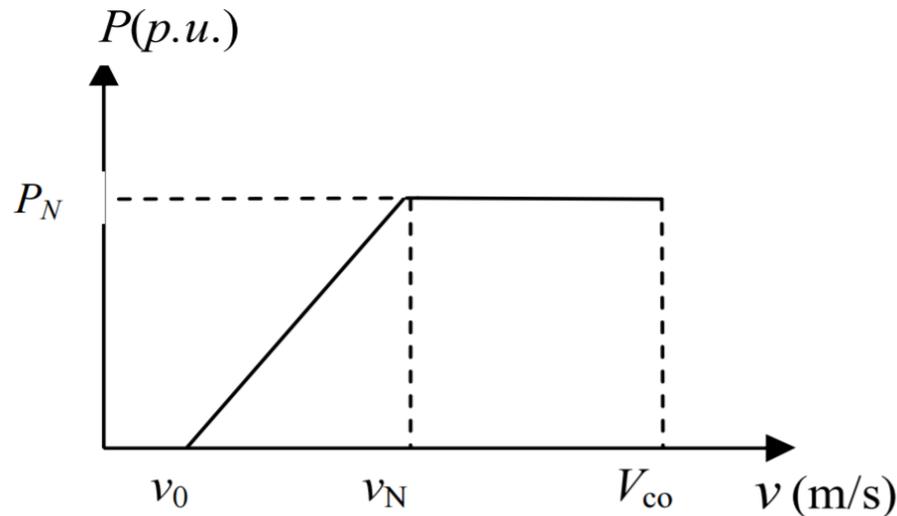
V = Velocidade do vento m/s.

η = Eficiência do do conjunto gerador/transmissão.

A relação entre a potência elétrica gerada pela turbina e a velocidade do vento também pode ser apresentada na forma de uma curva de potência, conforme a figura 1. Nesta imagem, a potência é dada em valores por unidade (p.u) e a velocidade do vento em metros por segundo (m/s). Em P_N esta localizado a potência nominal da do aerogerador e V_0 a velocidade de partida. V_N representa a velocidade nominal de operação do aerogerador e V_{CO} a velocidade limite de corte, ou seja, de desligamento do aerogerador (SUHUA et al, 2008).

Usualmente, a geração elétrica inicia-se com velocidades de vento da ordem de 2,5 - 3,0m/s; abaixo desses valores, a energia cinética disponível no vento não justifica aproveitamento desta, devido ao baixo rendimento das máquinas. Para velocidades muito elevadas de vento, em que a máquina operaria fora da velocidade de projeto, também não é aproveitada esta energia dos ventos para geração, são velocidades entre 12,0m/s e 15,0m/s, em que é ativado o sistema automático de limitação de potência da máquina (SOARES, 2015).

Figura 1 – Curva típica de potência em turbinas eólicas.



Fonte: (SUHUA et al 2008).

2.2 PREVISÃO DE GERAÇÃO EÓLICA

A geração energia elétrica através de aerogeradores é permeada de desafios técnicos importantes, principalmente devido ao caráter altamente aleatório dos ventos responsáveis por sua força motriz. Essa aleatoriedade gera um grande esforço por parte do operador do sistema elétrico, que apresentará dificuldades em sincronizar a energia gerada com a rede, devido a relação entre geração e carga. Outra dificuldade surge no momento do investimento em um parque eólico, devido a dificuldade que se tem em assegurar a energia contratada.

A grande dificuldade na elaboração de modelos de previsão de geração eólica, segundo Vargas (2015), se encontra na volatilidade do vento, que possui características aleatórias que necessitam de um tratamento tanto físico como estatístico. Em síntese, diferentemente de outras fontes, como a água, o carvão vegetal ou mineral, o urânio e até mesmo as fontes oriundas de rejeitos animais e vegetais, que podem ser armazenados e utilizados conforme a demanda do mercado, o vento não pode ser estocado e nem controlado. Reforça-se a isso a dificuldade da previsão do potencial eólico que depende de inúmeros dados referente ao relevo e de dados meteorológicos coletados, como velocidade do vento, direção do vento, pressão atmosférica, variação da temperatura, umidade, precipitação e tempo presente, referente a data e hora que ocorrem as medições meteorológicas (FERREIRA, 2012).

Neste contexto, a previsão da velocidade do vento e por conseguinte, a previsão da geração em aproveitamentos eólicos passa a ser uma informação complexa de se obter. Também torna-se uma informação estratégica em momentos de tomada de decisão que permeiam a operação técnica, econômica e segura dos parques eólicos. Dentro da literatura de modelos de previsão, existe uma vasta quantidade de modelos de previsão de ventos para geração, que podem ser divididos em 4 grupos de escala de tempo (SOMAN et al, 2010). As previsões de geração podem ser organizadas em grupos de curtíssimo, curto, médio e longo prazo, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Escalas de tempo em previsão.

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

Fonte: (SOMAN et al, 2010).

Soman et al (2010) estende sua análise e comenta que os métodos de curtíssimo prazo possuem grande aplicação em ações de regulação e compensação no mercado de eletricidade. Os métodos de Curto prazo são utilizados preferencialmente no planejamento econômico de despacho de carga. Já os métodos de médio prazo possuem sua aplicação na operação em tempo real da rede e na segurança operacional no mercado de eletricidade. Por fim, os métodos de longo prazo apresentam grande aplicação em gestão da operação, programação de despacho das unidades geradoras, decisões de unidades reservas e planejamentos de manutenção.

Existe uma vasta quantidade de métodos para aplicação na previsão de geração eólica que (SOMAN et al, 2010) classificou em cinco grupos de métodos conforme pode ser observado na tabela 2. É possível notar que o método escolhido para estudo no presente trabalho, suavização exponencial, se enquadra na classificação dos métodos que apresentam uma abordagem estatística e que trabalham com modelos de séries temporais. É reforçado pelo autor que este método apresenta uma boa precisão de curto prazo.

Tabela 2 – Métodos de previsão do vento e de potência.

| Método de previsão | Subclasse | Exemplos | Observações |
|--------------------------|--|--|---|
| Método Persistente. | - | $P(t+k)=P(t)$ | -Abordagem de referência; - Muito preciso para muito curto e curto prazo. |
| Abordagem Física. | Previsão meteorológica numérica (NWP). | - Sistema de Previsão Global; - MM5; - Prediktor; -HIRLAM, etc. | -Uso de dados meteorológicos, como velocidade e direção do vento, pressão, temperatura, umidade, estrutura do terreno etc; -.Preciso para longo prazo. |
| Abordagens estatísticas. | Rede neural artificial (ANN). | - Alimentação para a frente; - Recorrente; - Perceptron de várias | - Preciso para curto prazo; - Suas estruturas híbridas são úteis para previsões de médio a longo prazo; |

| | | | |
|-------------------------|------------------------------|--|---|
| | | camadas; - Função de base radial; - ADALINE, etc. | - Geralmente supera os modelos de séries temporais. |
| | Modelos de séries temporais. | - ARX. - ARMA. - ARIMA. - Previsão cinza. - Previsão linear. -Suavização exponencial , etc. | - Preciso para curto prazo; - Alguns modelos muito bons da série temporal substituem as estruturas NN. |
| Algumas novas técnicas. | - | - Correlação espacial; - Lógica difusa; - Transformada Wavelet; - Previsões do Ensemble; - Treinamento baseado em entropia, etc. | - A correlação espacial é boa para curto prazo; - A entropia baseado e no treinamento do modelo melhora o desempenho; - Considerando o erro não gaussiano o pdf melhora a precisão. |
| Estruturas híbridas | - | - NWP+NN. - ANN + Lógica difusa = ANFIS. - Correlação espacial + NN - NWP+timeseries. | - ANFIS é muito bom para previsão de curto prazo; - As estruturas NWP + NN são muito precisas para previsões de médio e longo prazos. |

Fonte: (SOMAN et al, 2010).

3 METODOLOGIA

O presente capítulo tem por objetivo apresentar a metodologia utilizada para identificar o comportamento da previsão de geração de curto prazo em um aerogerador, utilizando a metodologia de suavização exponencial. É apresentada a metodologia de suavização exponencial juntamente com a programação R utilizada neste estudo.

3.1 SUAUIZAÇÃO EXPONENCIAL

A avaliação precisa da disponibilidade de ventos para aproveitamento de sua energia cinética como fonte sustentável se faz imprescindível neste tipo de operação, pois uma

avaliação correta, de curto prazo, torna-se de fundamental importância para o controle antecipado dos aerogeradores (KUSIAK, 2010). Não dispor de uma previsão de geração confiável implica na elevação de custos e ineficiência do sistema. O método da suavização exponencial tem sua origem nos anos de 1950, sendo atualmente um método de previsão popular e muito utilizado no setor comercial e industrial.

As aplicações da suavização exponencial se estendem em diversas áreas, sendo aplicado largamente na previsão de vendas e níveis de demandas. Esta popularização se deve a sua simplicidade de implementação, baixo custo de operação e de poder computacional, boa precisão e rapidez. O método se baseia em observações passadas e ponderadas com pesos exponencialmente decrescentes, que são utilizados para obter os futuros estados da previsão que se deseja, com isso, pode se dizer que nesse método é dada maior importância para dados mais recentes (KUSIAK, 2010). Mesmo com uma correta análise dos dados do vento, é difícil prever a intensidade destes devido à sua mudança irregular, portanto, técnicas de suavização podem ser utilizadas para prever a geração de energia eólica, pois o efeito de uma mudança irregular pode ser atenuada.

No modelo de suavização exponencial, é necessário que se tenha a previsão do último período, pois a previsão desejada é obtida mediante a ponderação de valores históricos. Uma vantagem quando comparado com os outros modelos, é que ele elimina as variações acima do normal ocorrida nos períodos anteriores, propiciando uma previsão mais real e que apresenta uma tendência, o que facilita no momento das projeções. Outro ponto forte é que ele necessita de poucos dados. Para sequência da modelagem do problema, a equação 2 é apresentada abaixo (HILLIER, 2001).

$$P_t = \alpha * X_t + (1 - \alpha) * P_{t-1} \quad (2)$$

Onde:

P_t = Previsão do próximo período.

X_t = Valor real.

P_{t-1} = Previsão do período anterior.

α = Constante de suavização exponencial.

A constante alfa é chamada de constante de suavização, que pode variar entre 0 e 1. Com isso, a previsão é apenas uma soma ponderada da última observação real X_t e da previsão anterior P_{t-1} para o período que está acabando. Quando alfa é definido como zero, os valores novos que entram na sequência de entrada X_t não são utilizados na suavização da previsão. Se o alfa é definido como um, somente o valor atual é considerado, excluindo a medição anterior. Quando o alfa é definido com valor diferente de zero, a componente de suavização para qualquer ponto de tempo terá um papel importante na supressão de valores aleatórios incômodos.

Conforme Hillier (2001) comenta, fica evidente que o fator de alisamento ou atenuação da maior peso para X_t e diminui o peso para observações anteriores. Também fica claro que a previsão é simples de calcular devido ao fato de que os valores anteriores ao período t não precisam ser mantidos. Os únicos valores que se precisa para a previsão é o valor de X_t e o valor P_{t-1} que representa a última previsão.

Uma forma alternativa para escrever a suavização exponencial pode ser vista na equação 3. De maneira geral, a previsão das séries temporais no tempo $t+1$ é apenas a previsão anterior no instante t mais o produto do erro da previsão no tempo t e um fator de desconto alfa.

$$P_t = P_{t-1} + \alpha * (X_t - P_{t-1}) \quad (3)$$

Uma desvantagem importante do método de suavização exponencial é o atraso constante que ocorre quando uma tendência de crescimento ou de decréscimo é verificada, nestas ocasiões, ele continuará atrasado na previsão por utilizar o valor da previsão anterior. Outra desvantagem deste método é dificuldade em escolher um valor apropriado para α . Para auxiliar esta última dificuldade, métodos de auxílio como de mínimos quadrados pode ser usado para determinar o valor de α .

3.2 PROGRAMAÇÃO R

A linguagem R foi criada nos anos 90 como uma alternativa de código aberto, derivada da linguagem chamada S, se apresentando como uma linguagem de alto nível voltada para análise de dados e geração de gráficos, usada principalmente para cálculos estatísticos. Como trata-se de um software livre com código aberto, é constantemente atualizado e modificado por seus usuários (MELLO, 2013).

De acordo com R Foundation (2017), o R fornece uma ampla variedade de estatística para modelagem linear e não-linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, agrupamento entre outros, também é utilizado em técnicas gráficas e é altamente extensível. Geralmente, a linguagem S é utilizada para pesquisa em metodologia estatística, e o R surge como uma alternativa de código aberto para esta atividade.

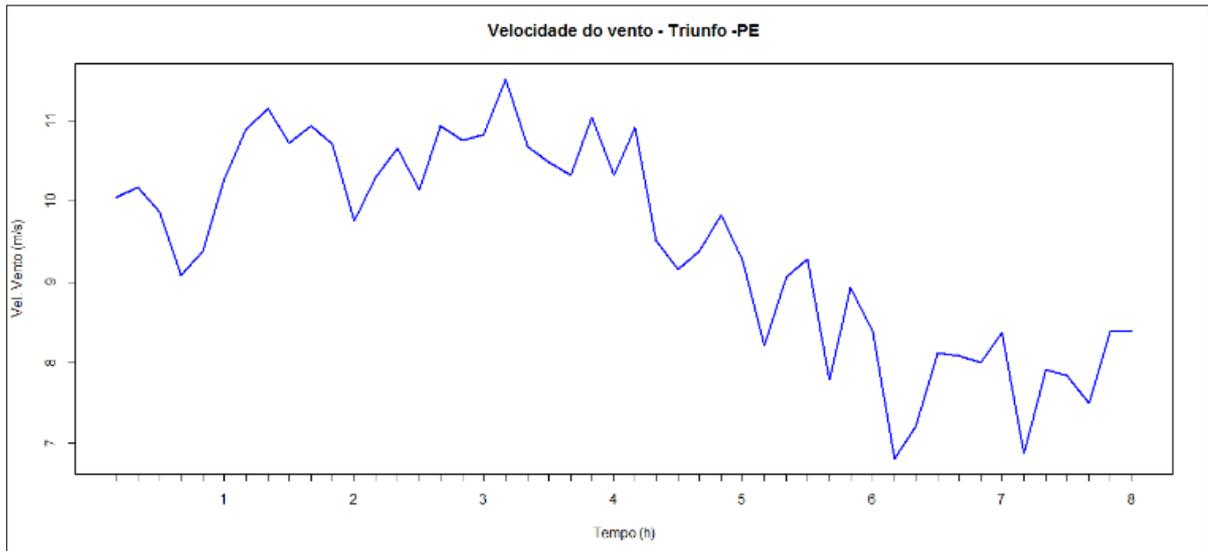
Como pontos fortes do R, R Foundation (2017) ressalta a facilidade com que se pode produzir simulações de qualidade para publicação bem produzidas, com símbolos matemáticos e fórmulas quando necessário. Outro ponto forte é a disponibilidade de comunidades online para compartilhamento de códigos abertos que permitem simulações gráficas de qualidade, permitindo ao usuário um controle total. Outro aspecto importante é que ela permite a interação com outros tipos de linguagens de programação, tais como o C, C++, Fortran, etc.

R encontra-se disponível como um Software Livre nos termos da Licença Pública Geral GNU na Free Software Foundation em código fonte. Também compila e funciona em uma grande variedade de plataformas UNIX e sistemas similares (incluindo o FreeBSD e Linux), Windows e MacOS.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, é apresentada uma previsão de geração de energia proveniente dos ventos para um curto período de tempo, de até 30 minutos, em uma torre de geração teoricamente instalada na cidade de Triunfo-PE. Para isso, foram utilizados os valores de vento para um intervalo de 8 horas desta localidade no dia 1 de abril de 2007, disponíveis através do projeto SONDA (INPE, 2017). Na figura 2 temos a amostra de vento utilizada. A primeira amostra foi efetuada às 10:50h e a última às 18:50h. O intervalo das amostragens é de 10 min, portanto temos 48 amostras e a altura da medição é de 50m.

Figura 2 – Velocidade do vento em Triunfo-PE.



Fonte: (INPE, 2017).

Para o estudo da previsão da potência, utilizou-se uma turbina tradicional em grandes parques de geração eólica no Brasil. O modelo escolhido foi o AGW 11/2.1 da fabricante WEG (Figura 3), com uma potência nominal de geração em 2100 kW (Tabela 3), torre entre 80 e 120 metros de altura e rotor com 110 metros de diâmetro. Na figura 4 é apresentada a curva de potência desta turbina de acordo com a velocidade do vento (WEG, 2015).

Figura 3 – Aerogerador AGW 110 / 2.1.



Fonte: (WEG, 2015).

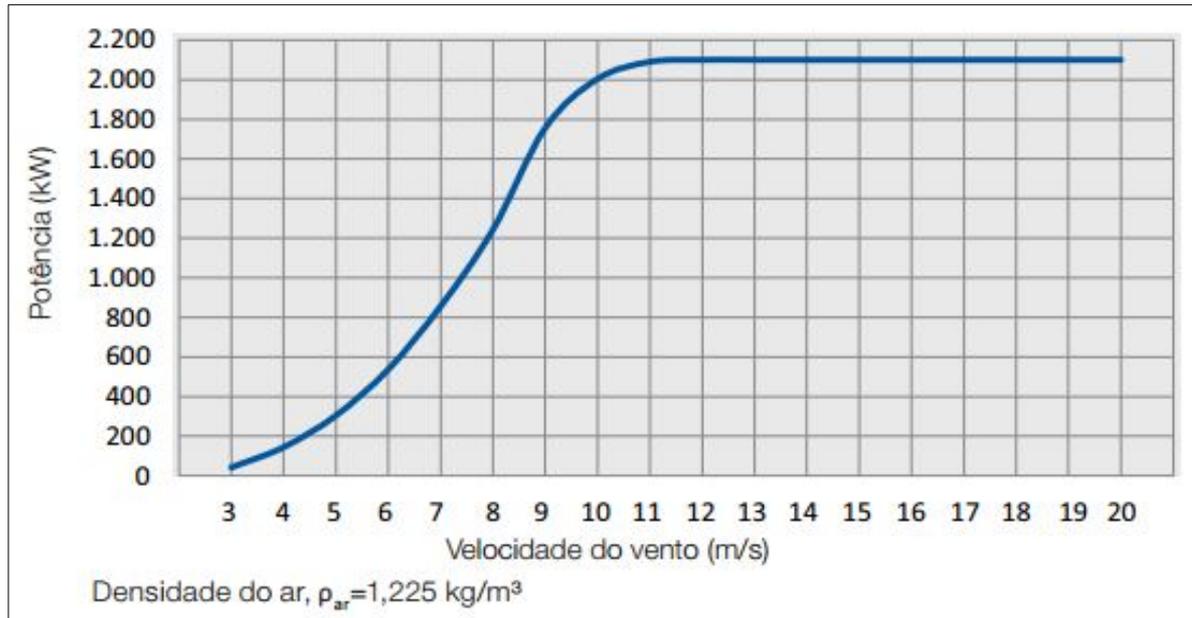
Tabela 3 – Dados do aerogerador AGW 110 / 2.1.

| Dados Operacionais | |
|---------------------------|---------------|
| Modelo | AGW 110 / 2.1 |
| Potência Nominal | 2100 kW |

| | |
|-------------------------------|---|
| Classe de Vento | S ($V_{ref} = 9,0 \text{ m/s}$ / $I_{ref} = 0,14$ / $V_{e50} = 52,5 \text{ m/s}$) |
| Dados do Rotor | |
| Diâmetro | 110m |
| Controle de potência | Regulagem de passo independente por pá |
| Dados do Gerador | |
| Tipo | Síncrono de Ímãs Permanentes |
| Acoplamento Mecânico | Direto |
| Conexão à Rede | Conversor de Potência Plena |
| Resfriamento | Fluido Térmico |
| Dados do Transformador | |
| Tensão de entrada /saída | 690V / 34,5kV |
| Resfriamento | Ar |
| Dados da Torre | |
| Altura do Cubo | 80 m ou 120 m |
| Construção | Aço (80 m) ou concreto (120 m) |
| Informações Adicionais | |
| Vida Útil de Projeto | 20 anos |
| Temperatura de operação | De -10 °C a 40 °C |

Fonte: (WEG, 2015).

Figura 4 – Curva de potência turbina AWG 110 2.1.



Fonte: (WEG, 2015).

5 ANÁLISES E RESULTADOS

De acordo com a equação 2, os dados de previsão de geração de curto prazo são baseados no valor previsto no período anterior ao atual, juntamente com o valor de geração atual. Deste modo, o estudo de caso foi realizado prevendo o valor de vento para o local para um período de 10 minutos. Na posse do valor de vento previsto, este foi inserido na equação da curva de potência da turbina eólica para obter o valor de geração em kW. Esta etapa é importante, pois caso a previsão fosse realizada com os valores de potência diretamente, o método poderia apresentar uma previsão de geração acima da potência máxima da turbina. Logo não condizendo com a realidade.

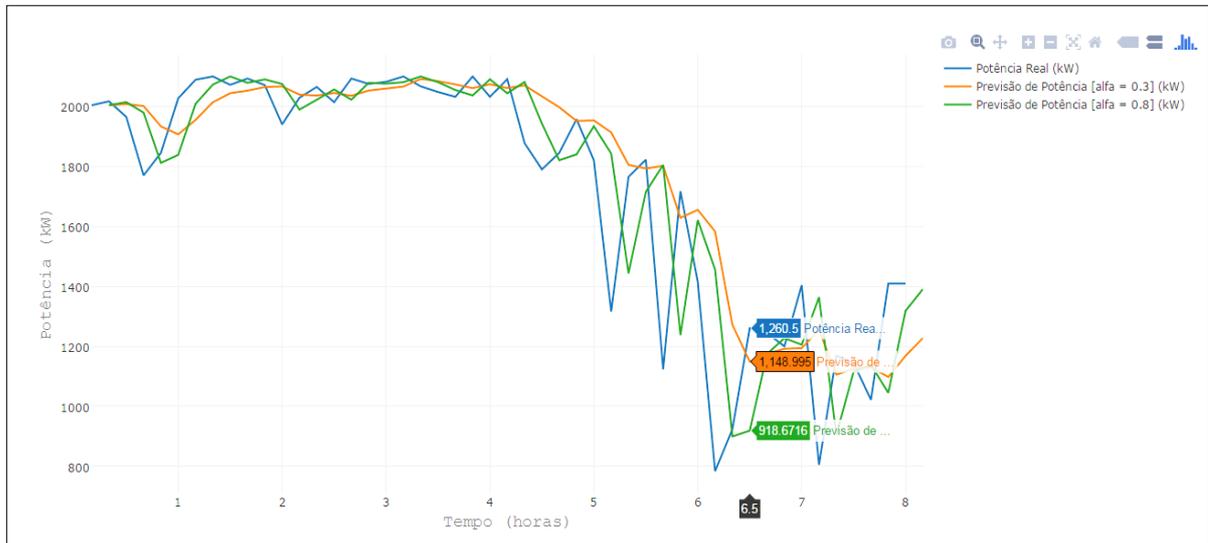
A simulação de previsão de geração foi realizada com o auxílio do software R, em três etapas: determinação da equação que representa a curva de potência (kW) da turbina eólica em função do vento (m/s); Segundo, implantação da equação 2 para dois valores de alfa e; finalmente utilizando uma ferramenta do software que implementa a equação 2 de forma automática. Os valores de velocidade de vento foram inseridos no próprio script do R em forma de vetor.

Na previsão de geração eólica implementada, os valores de alfa simulados foram igual a 0,3 e alfa igual a 0,8, conforme pode ser visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada.5**. Para uma previsão de curto prazo com pouca variação na velocidade do vento, um alfa próximo de 1,0 pode ser adotado, fazendo com que a previsão de geração fique muito próxima da medição anterior. Para um local com grande variação de velocidade do vento, ou, quanto mais distante se pretende prever, um valor de alfa próximo de zero é necessário ser adotado.

No gráfico da figura 5, a linha em preta representa a potência real gerada pelo gerador eólico. Na linha em vermelho é representada uma previsão de geração com intervalo de 10 minutos e um alfa de suavização igual a 0,3. Na linha em azul é demonstrada a previsão de geração para um intervalo de 10 minutos, porém com um alfa de amortização igual a 0,8. Pode ser visto que em alguns períodos a geração e as previsões permanecem constante chegando próximo do limite superior, que representa a capacidade máxima do gerador de

2100 kW para um vento acima de 11 m/s. Aspecto esse perceptível logo após a terceira hora amostrada.

Figura 5 – Curva de geração real versus prevista.

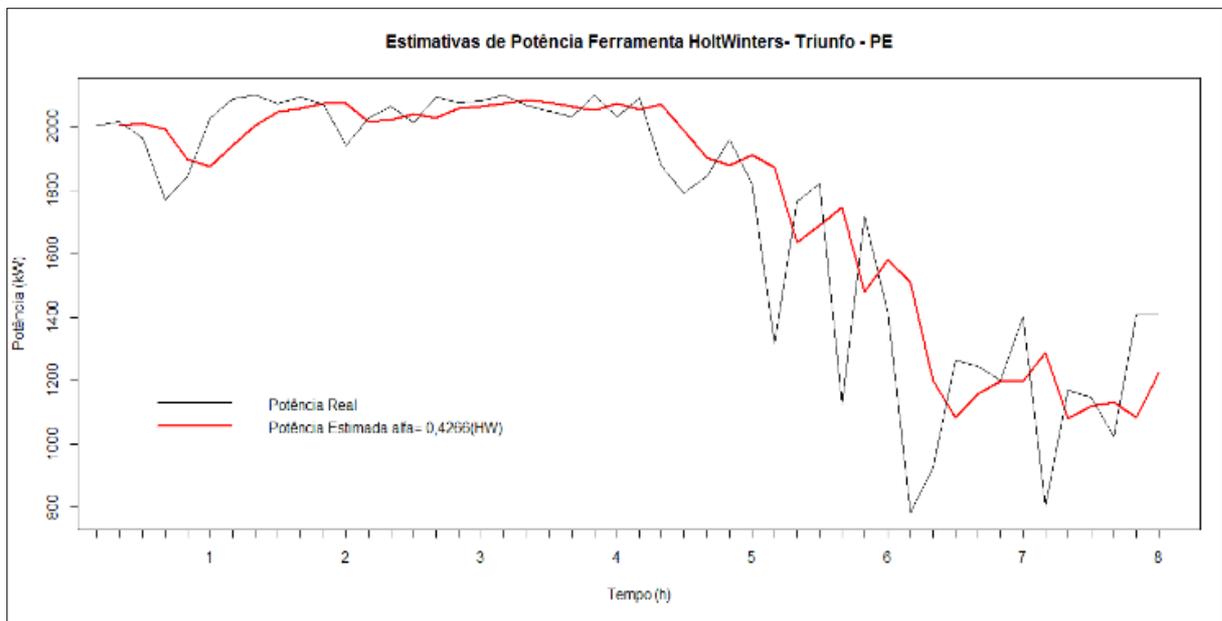


Fonte: Autores.

Através desta simulação, pode ser notado que com alfa próximo de zero, a previsão possui uma inércia maior para mudança de tendência, enquanto que com um alfa próximo de 1, como 0,8 do estudo, a simulação acompanha mais as últimas variações. Em uma situação de previsão em longo prazo, é melhor que se adote um alfa próximo de zero, pois, seguirá uma previsão próxima do valor médio, evitando que ocorra uma previsão com um valor muito diferente do que irá ocorrer. No estudo do caso apresentado, no tempo 6,5 horas, o valor real no momento apresentado foi 1.260 kW, o previsto com alfa 0,3 foi 1.148,9 kW e o previsto com um alfa igual a 0,8 foi 918,6 kW, devido a rápida variação em sentido contrário na velocidade do vento, a previsão com alfa menor chegou mais perto do valor real, o contrário da previsão com alfa maior.

No segundo caso estudado foi utilizando uma ferramenta do R chamada de HoltWinters, que executa previsões com suavizações exponenciais de até terceira ordem. Aqui ela foi utilizada com o parâmetro simples, determinar apenas alfa. Utilizando a mesma amostragem a ferramenta determinou um alfa de 0,4266 tomado pelas primeiras amostras de toda a amostra analisada. Na figura 6 temos o gráfico produzido com auxílio desta ferramenta. No caso de se desejar maior precisão para algum evento, como grandes variações, pode-se treinar o evento (determinar o alfa) para amostras específicas.

Figura 6 – Estimativa de potência pela ferramenta HoltWinters, com alfa = 0,42, definido pela ferramenta.



Fonte: Autores.

3 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado um estudo de caso sobre previsão de geração eólica de curtíssimo prazo. Para tal estudo, foram consideradas as características de vento da cidade de Triunfo-PE juntamente com um desenvolvimento de simulação em linguagem de programação R. Utilizou-se o método de suavização exponencial para realizar a previsão de geração de até 10 minutos, e o aerogerador escolhido para tal estudo foi o modelo AWG 110 2.1 de fabricação WEG, amplamente utilizada nos grandes parques de geração eólica no Brasil.

O estudo pode constatar a influência de um correto ajuste de parâmetros no método de suavização exponencial. Para previsões de curtíssimo prazo em locais em que o vento não varia bruscamente, o alfa da equação pode ser ajustado para valores próximos de 1, permitindo uma previsão mais próxima do real, e para locais com grandes variações nas velocidades dos ventos, um alfa próximo a zero deve ser escolhido. Outro ponto observado é que os resultados da metodologia de suavização exponencial possuem uma boa eficácia para previsões muito próximas do tempo de operação, em que uma variação do vento não implica em grande variação na previsão, como em intervalos de 10 a 15 minutos. Quanto mais a previsão avança no tempo, maior a taxa de erro, mesmo com um ajuste de alfa próximo de zero.

Através da simulação em programação R, foi possível constatar fatores particulares e interessantes da previsão de geração em curtíssimo prazo aplicado em geração eólica. Utilizando valores aleatórios de velocidades de vento em torno da média do local escolhido, pode se observar o comportamento da metodologia de previsão de suavização exponencial para a geração escolhida. Salienta-se que este tipo de previsão se faz extremamente necessária, pois, a geração eólica possui uma grande variação durante o decorrer do dia devido a variação dos ventos que são intermitentes, e para um correto gerenciamento do sistema elétrico, quanto maior a previsibilidade de geração, maior o controle e segurança da energia elétrica.

REFERÊNCIAS

FERREIRA A. A. B.. Metodologia de Previsão do Potencial Eólico de Curto Prazo para Planejamento da Operação de Sistemas Elétricos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pampa. Alegrete. 2012.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Wind Energy Global Status**. GWEC 2017 Disponível em: <<http://www.gwec.net/global-figures/wind-energy-global-status/>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

Hillier FS, Lieberman GJ. Introduction to Operations Research: Cases Developed. New York, NY: McGrawHill; 2001.

HWANG Y. M., et al. **Prediction of Wind Power Generation And Power Ramp Rate With Time Series Analysis**. 2011 3rd International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST). IEEE. Dalian, China. 2012.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SONDA(Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) - Dados Ambientais de Triunfo**. INPE, 2017. Disponível em: <<http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/triunfo.html/>>. Acesso em: 23 maio. 2017.

KUSIAK A. **Short Horizon Prediction of Wind Power: A Data Driven Approach**. IEEE Transactions On Energy Conversion.2010.

MELLO, M. P.. **Conhecendo o R: Uma Visão Mais que Estatística**. Viçosa, MG. Ed. UFV, 2013

R FOUNDATION: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 22 jun. 2017.

SOARES, P. H. **Previsão da Geração de Energia Eólica de Curtíssimo Prazo Aplicada ao Parque Eólico de Palmas (PR)**. 2015. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SOMAN S. S., ZAREIPOUR H., MALIK O., MANDAL P.. **Review of Wind Power and Wind Speed Forecasting Methods With Different Time Horizons**. North American Power Symposium (NAPS). IEEE. Arlington, TX, USA. 2010.

SPERANDIO M., FERREIRA A. A. B., MORAES M. R.. **Short-term wind farm power forecasting with numerical weather prediction**. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. IEEE. Istanbul, Turkey 2012

SUHUA L., ZHIHENG L. YAOWU W. **Clustering Analysis of The Wind Power Output Based on Similarity Theory**. Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. IEEE. Nanjing, China. 2008.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **The Paris Agreement**. UNFCCC, 2017. Disponível em: <http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php> . Acesso em: 21 jun. 2017.

VARGAS S. A. . **Previsão Da Distribuição da Densidade de Probabilidade da Geração de Energia Eólica Usando Técnicas Não Paramétricas**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Centro Técnico Científico da Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Brasil. 2015.

WEG. **Catálogo Aerogerador AGW 110 / 2.1**. Grupo WEG. Jaraguá. Brasil.2015.