

8.

Conclusões e Considerações Finais

Todas as abordagens da literatura ou desenvolvem um modelo para a previsão pontual da velocidade do vento e em seguida usam a curva de potência para gerar a previsão da geração eólica, ou desenvolvem abordagens probabilísticas que mais se aproximam ao verdadeiro valor da produção eólica. A motivação que conduz o desenvolvimento desta tese está relacionada com a importância das previsões probabilísticas da geração de energia eólica e sua precisão no âmbito operativo de um sistema interligado como é o sistema brasileiro. O fato de que este tipo de previsões permita obter informações sobre as incertezas, no processo de tomada de decisões, as torna uma excelente opção se comparado com a previsão pontual, que não fornece informação de como este valor se distribui em torno do verdadeiro valor, o que confere maior robustez criando as previsões probabilísticas e, com isto, segurança ao sistema elétrico.

Por conseguinte, esta tese apresentou-se uma estratégia de especificação metodológica não paramétrica que permitiu prever a densidade de probabilidade da geração de energia eólica através da adaptação da metodologia tradicional, em dois estágios, da previsão da produção eólica, acrescida de um terceiro estágio. No primeiro estágio da metodologia adaptada, usou-se uma modelagem não paramétrica através da técnica *SSA sequencial* para a previsão da velocidade do vento. Posteriormente, em um segundo estágio, a partir dos dados e o estimador *kernel* de *Naradaya-Watson*, calculou-se a curva estocástica da produção eólica, ou seja, a densidade de probabilidade condicional da geração eólica. E finalmente no terceiro estágio do arcabouço metodológico, utilizaram-se as velocidades do vento previstas em conjunto com a curva de potência estocástica para determinar as previsões da produção eólica.

No estágio da previsão da velocidade do vento, no processo de agrupamento das autotriplas foi usado o método Hierárquico Aglomerativo que através do dendrograma permitiu o agrupamento das autotriplas provenientes da SVD, prescindindo da análise gráfica tradicionalmente usada para o agrupamento no estágio de *reconstrução* da metodologia SSA. E que para dados de alta frequência, como os empregados nesta pesquisa, torna-se todo um desafio utilizar estas metodologias gráficas.

Para aplicação foi considerada a potência média horária gerada por uma turbina eólica, os resultados obtidos mostram que o processo de previsão probabilística da geração eólica é consistente com o cálculo da densidade condicional da potência dada a velocidade do vento, pois esta densidade tem um bom ajuste se comparado com o gráfico da curva de potência da base de dados, e com as medidas de erro de previsão que foram

muito boas entre os modelos tanto para os modelos SARIMA multiplicativos (ver Apêndice A), quanto para os modelos SSA. A previsão da velocidade do vento não permitiu afirmar que unicamente o modelo SARIMA multiplicativo para a previsão da velocidade do vento gera valores da previsão da geração eólica estatisticamente superiores aos outros. Nesta situação o modelo SSA de fato se torna uma melhor opção, já que não é necessário estabelecer nenhuma hipótese sobre o modelo. No horizonte de tempo de 72 horas à frente, a previsão da velocidade do vento com o SSA teve melhores medidas de erro para previsão da produção eólica. Este fato reforça que a técnica de SSA usada no primeiro estágio da metodologia proposta resulta mais adequada se comparado com os modelos usados como modelos de avaliação. Assim, os resultados obtidos das previsões tanto da velocidade do vento quanto da geração de energia eólica foram satisfatórios ao serem avaliadas através das medidas de erro RMSE, MAD, e U-THEIL, e permitindo a comparação com abordagens tradicionais, como SARIMA, Double Seasonal Holt-Winters e a previsão Naive.

Apesar da natureza intrínseca altamente não-linear da série da velocidade do vento, a modelagem com a técnica SSA forneceu resultados muito bons, mas que incentivam ao processo de maior aprofundamento no cálculo da densidade de probabilidade para evidenciar algumas falhas no processo de estimação das funções de densidade ao usar o estimador de *Nadaya-Watson*. Cabe ressaltar que outros tipos de funções *kernel* diferentes ao gaussiano foram testados como, por exemplo, o *kernel* de Epanechnikov ou Biweight, mas os resultados não foram significativamente diferentes.

De forma resumida, esta tese contribui de forma original com:

- A Análise e previsão de séries de alta frequência como a velocidade vento, através do enfoque não paramétrico conhecido como Análise Espectral Singular (SSA).
- Uma nova abordagem de SSA para séries de alta frequência ou séries muito cumpridas, ao fazer uso dos métodos Hierárquicos aglomerativos para o agrupamento das matrizes elementares no estágio de reconstrução de SSA.
- Um novo enfoque para a previsão de séries de alta frequência (velocidade do vento), por meio do uso de SSA *sequencial* e Métodos Hierárquicos Aglomerativos.

- Estratégia de especificação metodológica não paramétrica para a previsão probabilística da geração de energia eólica, que combina SSA *sequencial* - Métodos Hierárquicos e a Densidade de Probabilidade Condicional por *kernel*.

Em trabalhos futuros recomenda-se investigar outros estimadores da densidade condicional por *kernel* que levem em consideração as características da série da velocidade do vento, além da evolução do tempo. Assim mesmo sugere-se o uso de outras variáveis explicativas, neste caso, variáveis físicas que permitam uma melhor representação do fenômeno, por exemplo, a temperatura e a direção do vento.