

ESTUDO DAS CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Sérgio Oliveira Pitombo, sergio.pitombo@fieb.org.br¹,
Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹

¹ Centro Universitário SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, Salvador- Bahia.

Resumo: O grande desafio que se enfrenta hoje no setor energético é atender a crescente demanda de energia elétrica com o mínimo impacto ao meio ambiente. O mundo está cada vez mais preocupado com os crescentes níveis de emissão de CO₂ que contribuem para o aquecimento global e mudanças climáticas.

A utilização de séries temporais de variáveis meteorológicas coletadas, para estimativas de curto e longo para identificação de potencial de geração de energia, nas matrizes eólica, solar e hídrica, juntamente com técnicas estatísticas, torna-se uma ferramenta indispensável nos dias atuais.

O objeto de investigação deste trabalho são os métodos estatísticos para identificar correlação entre as variáveis mais importantes nas gerações eólica e solar para fins de identificação de locais ou épocas para melhorar a base de dados a serem utilizados pelos estrategistas.

Palavras-chave: séries temporais, variáveis meteorológicas, geração de energia.

1. INTRODUÇÃO

As fontes renováveis de energia podem desempenhar um papel importante na solução do dilema de aumento da capacidade de produção de energia minimizando a interferência no meio ambiente (Votolini, 2007).

Todas as fontes de energia existentes atualmente, renováveis ou não renováveis, impactam direta ou indiretamente no meio ambiente, em maior ou menor proporção. Portanto, o que se busca é a fonte de energia que provoque o menor impacto ambiental possível e que possa atender as necessidades da população mundial (Junior, 2013).

Em países como Alemanha tem-se investido maciçamente em fontes alternativas com enfoque especial na geração distribuída de energia. Na Alemanha qualquer cidadão pode gerar energia elétrica e comercializar com as concessionárias sem muita burocracia (Carvalho, 2014). Duas fontes alternativas que tem ganhado destaque na Alemanha são a solar e eólica, com destaque para fontes eólicas que em 2016 geraram 78 TWh de energia com uma carga instalada de 49,60 GW ao final de 2016 (Burger, 2017). Cerca de 37,5 TWh de eletricidade a partir de matrizes fotovoltaicas foram alimentadas na rede em 2016, uma carga instalada de 40.85 GW ao final de 2016, conforme figura 1.

Segundo dados do instituto Fraunhofer, até Maio de 2017 a potência instalada chegava a 41,68 GW para a energia solar e 51.66 GW para energia eólica.

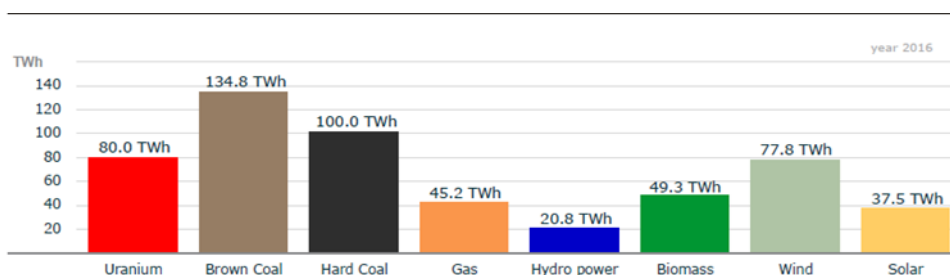


Figura 1: Geração de energia líquida das usinas de energia para a fonte de Energia pública Ano Base 2016 (Burger, 2017).

O Brasil tem matriz energética com configuração renovável-térmica, tendo um problema a dependência das grandes hidrelétricas para a geração de energia, o que pode ser problemático em momento de forte seca, como nos anos de 2001, 2013 e 2015 (Bardelin, 2014; Tancredi, 2013; Tolmasquim, 2000 e Galvão et al., 2015). O balanço energético brasileiro, ano base 2015, conforme figura 2 é predominante da fonte hídrica no total da energia produzida no Brasil, embora tal fonte tenha apresentado uma redução de 3,7% na comparação com o ano anterior. As fontes renováveis representam 75,5% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável (EPE, 2016).

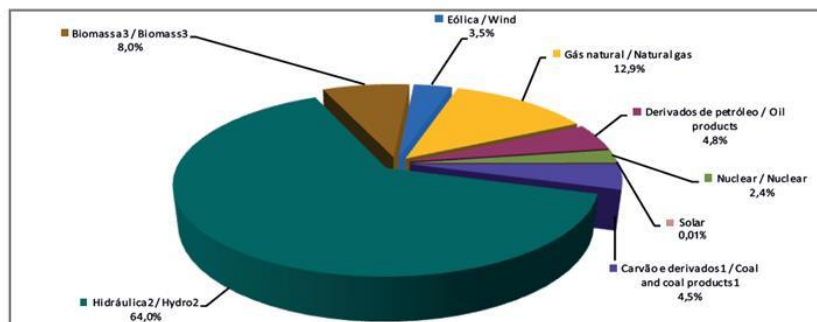


Figura 2: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – Ano Base 2015.
Fonte: (EPE, 2016)

Em 2015, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 140.858 MW, acréscimo de 6.945 MW. Na expansão da capacidade instalada, figura 3, as centrais hidráulicas contribuíram com 35,4%, enquanto as centrais térmicas responderam por 25,0% da capacidade adicionada. Por fim, as usinas eólicas e solares foram responsáveis pelos 39,6% restantes de aumento do grid nacional (EPE, 2016).

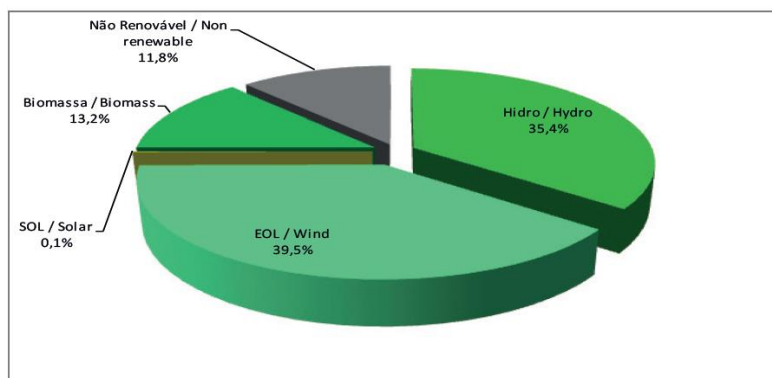


Figura 3: Participação das fontes na expansão da capacidade instalada – Ano 2015.
Fonte: (EPE, 2016)

As estações meteorológicas são compostas de uma unidade de memória central (“data logger”), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc.), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora (INPE, 2017). Esses dados armazenados tem-se o registro das séries temporais e históricas das variáveis meteorológicas. As séries temporais se consideram como a realização de um processo estocástico e que estão ordenadas em intervalos regulares de tempo, e representam a evolução temporal da dinâmica de uma variável específica, ou um conjunto de variáveis.

O presente trabalho utiliza do método DFA, denominado de análise de flutuações sem tendências, Detrended Fluctuation Analysis, para analisar as séries temporais de diversas variáveis meteorológicas, em estações meteorológicas instaladas no Brasil, para prospectar eventuais correlações temporais de curto e longo alcance.

2. APLICAÇÃO DO MÉTODO DFA

O método DFA é denominado de análise de flutuações sem tendências, Detrended Fluctuation Analysis, pode ser aplicado para verificar correlações de longo alcance em séries temporais não estacionárias. O método é uma evolução da análise R/S clássica de Hurst e vem sendo amplamente aplicado em diversas áreas (PENG. et al.1994).

Uma das vantagens do DFA em relação aos métodos convencionais, é que este permite a detecção de auto similaridade que faz parte de uma série não estacionária e que também evita uma falsa detecção de auto similaridade aparente, que pode ser um elemento de tendência externa (Castro, 2012). O método DFA é descrito através de uma sequência de passos para determinar a auto correlação de uma série temporal e não estacionária, como a seguir.

Uma série temporal qualquer $x(i)$, com $i = 1, 2, 3, \dots, N$, onde N é o número total de elementos da série $x(i)$.

Primeiramente a série temporal deverá ser integrada logo, Calcula-se a somatória do desvio padrão de cada registro $x(i)$ em relação à média na série completa, obtendo a série integrada, conforme expressão na Eq. (1):

$$y(k) = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{X}) \quad (1)$$

Onde:

$\bar{X}$ é a média aritmética dos valores de $x(i)$, com $i = 1, 2, 3, \dots, N$, e K é um número inteiro menor que N .

Posteriormente divide-se a série integrada $y(k)$ em intervalos de tamanhos iguais de amplitude n não sobrepostos e removemos a tendência, efetuando a subtração da série integrada $y(k)$ em cada intervalo, pelo ajuste de uma curva que representa essa tendência $y_n(k)$, dentro do intervalo.

Segundo PENG *et al.* (1994), para quantificar as flutuações para um intervalo de tamanho n calcula-se a função de flutuação, definida na Eq. (2):

$$F_{DFA}(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y(k) - y_n(k)]^2} \quad (2)$$

Em um processo iterativo repete-se esse cálculo para diversos tamanhos de intervalo n para que possa aferir a relação entre $F(n)$ e o tamanho do intervalo n .

Para verificarmos se há uma lei de potência entre essas duas variáveis basta plotar os gráficos destas em escalas logarítmicas e observar se há um comportamento linear. Caso isso ocorra, teremos a seguinte lei de potência, Eq. (3):

$$F_{DFA}(n) \sim n^\alpha \quad (3)$$

Onde: α denota o comportamento da persistência da série (Feder, 1988).

Em Anjos, (2015) o expoente escalar α , também é descrito como o coeficiente angular da reta obtida por regressão linear de gráfico $\log F_{DFA}(n)$ versus $\log(n)$, como expresso na Eq. (4):

$$\alpha = \frac{\Delta \log F_{DFA}(n)}{\Delta \log(n)} \quad (4)$$

Onde o expoente α será o índice de correlação para $0 < \alpha < 1$, como segue na Tab. 1.

Tabela 1. Índice de correlação.

α	Condição
$0,5 < \alpha < 1$	Auto-correlações de longo alcance persistentes
0	Descrivendo uma série sem memória, ruído branco
$\alpha < 0,5$	Auto-correlações anti-persistentes

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento das séries temporais diárias de velocidade do vento máxima, velocidade do vento e radiação solar, são expressas nas figuras 4,5 e 6 e foram fornecidos pelo Centro de Previsão Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela Plataforma de Coleta de Dados automática, instalada em Petrolina - PE, no período de 2007 a 2015.

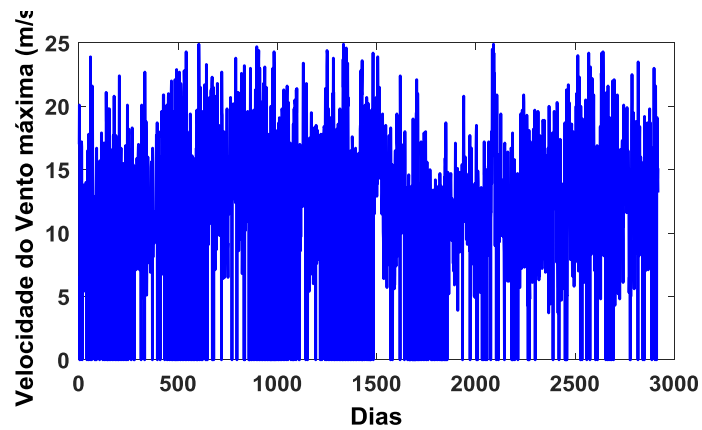


Figura 4: Velocidade do vento máxima

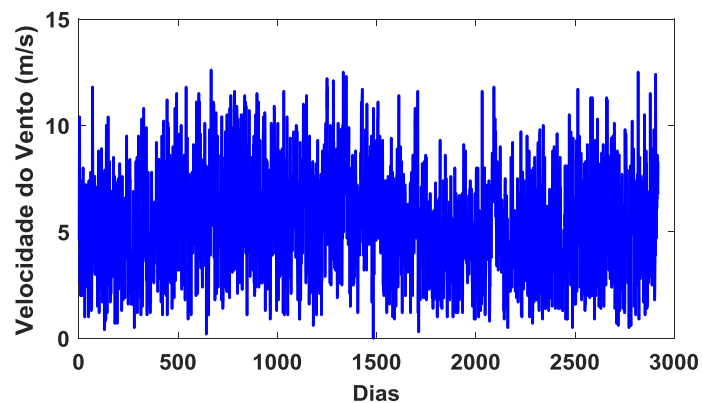


Figura 5: Velocidade do vento

Para avaliar a estabilidade temporal do expoente de autossimilaridade α nas séries temporais de velocidade do vento e radiação solar acumulada diária no período de 2007 a 2015, aplicou-se a metodologia DFA nas séries, deslocando continuamente a cada sete dias, como exposto na Figura 7.

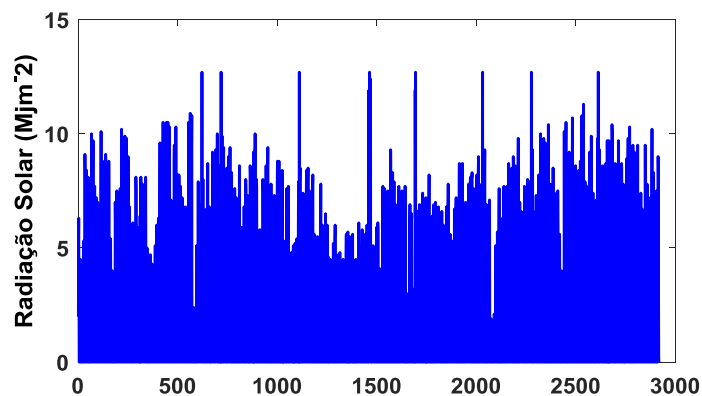


Figura 6: Radiação solar

As cores representam o expoente escalar α de cada série temporal, conforme legenda das cores, ao lado da figura. Cores em tom avermelhado representam as correlações de longo alcance persistentes, a cor azulada indica que as séries apresentam correlações de longo alcance antipersistentes e a cor esverdeada representam as correlações para ruído branco (série não correlacionada).

O resultado mostra que a série de velocidade do vento máxima apresentou correlações de longo alcance persistentes mais estáveis (menor variabilidade dos valores do expoente de escala), e a persistência mais forte (maior valor do expoente da escala) em sua evolução temporal. A série de velocidade do vento apresentou a persistência mais forte a partir de meados de 2010, marcado pelo retângulo tracejado em azul, em sua evolução temporal. Vale atentar ao período de 2007 a 2008 (retângulo tracejado em vermelho), as séries velocidade do vento e radiação solar apresentam os valores

dos expoentes da escala menores que 0.5 (antipersistentes). Outra situação que pode ser analisada na série radiação solar são as correlações de longo alcance antipersistentes até 2011 (retângulo tracejado em verde).

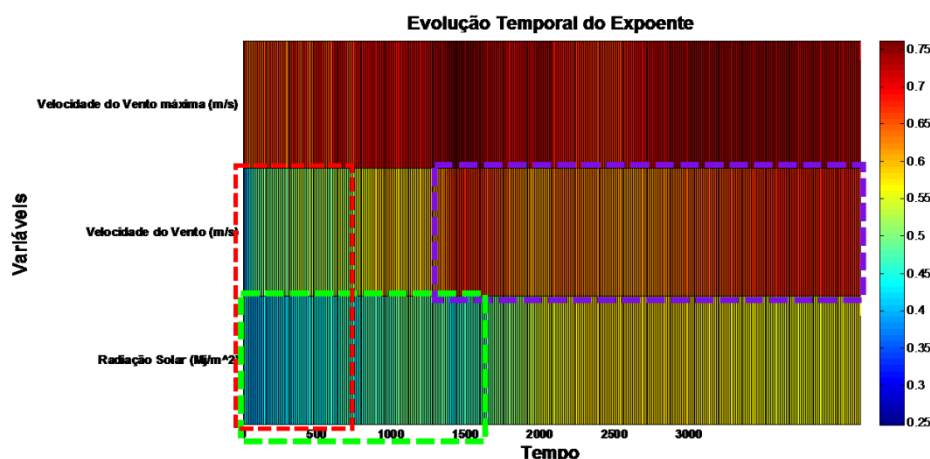


Figura 7: Evolução Temporal das Variáveis

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados para análises de correlações aplicando método Detrended Fluctuation Analysis (DFA) nas séries temporais diárias de velocidade do vento máxima, velocidade do vento e radiação solar registradas em Petrolina - PE, no período de 2007 a 2015 mostraram que a série de velocidade do vento máxima apresentou correlações de longo alcance persistentes mais estáveis e a persistência mais forte em sua evolução temporal. As séries de velocidade do vento e radiação solar apresentaram correlações de longo alcance antipersistentes em determinados períodos, entretanto, na maioria do período estudado apresentaram correlações persistentes.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC.

6. REFERÊNCIAS

- Anjos, P.S., Silva, A.S.A., Stosic, B. and Stosic, T., 2015, Long-term correlations and cross-correlations in wind speed and solar radiation temporal series from Fernando de Noronha island, Brazil. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 424:90-96.
- Bardelin, C.E.A., 2004, Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica. Tese, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Burger, B., 2017, Power generation in Germany - assessment of 2016. Technical report, FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS ISE.
- Carvalho, N.H.C. 2014, Modelagem de processo de negócio de geração solar fotovoltaica ou eólica de pequeno porte no contexto da resolução normativa ANEEL nº 482/2012. Master's thesis, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos (ITA).
- Castro, A. P.N., 2012, Método de detecção de padrões na dinâmica dos movimentos complexos na deglutição de um indivíduo. Master's thesis, Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do SENAI CIMATEC.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética, 2016, Balanço energético nacional 2016: Ano base 2015.
- Feder, F., 1988, *Fractals*. Nova York: Plenum Press.
- Galvão, J. and Bermann, C., 2015, Crise hídrica e energia: conceitos no uso múltiplo das águas. *Revista Ambiente e Sociedade*.
- INPE, Instituto nacional de pesquisas espaciais, 2017, <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>. Accessed: 2017-04-30.
- Junior, L.C.M.L., 2013, Avaliação experimental das perturbações causadas por diferentes tipos de sistemas de controle em usinas eólicas. Master's thesis, Universidad de São Paulo (USP), 2013.
- Peng, C.K.S.V., Buldyrev, H.S.M., Simons, S.H.E. and Goldberger A. L., 1994, On the mosaic organization of DNA sequences. *Physical Review E*, 49:1685-1689.
- Tancredi, M. and Abbud, O.A., 2013, Por que o Brasil está trocando as hidrelétricas e seus reservatórios por energia mais cara e poluente? Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado Federal.
- Tolmasquim, M., 2000, As origens da crise energética brasileira. *Revista Ambiente e Sociedade*.
- Voltolini, H. 2007, "Modelagem e Controle de Geradores de Indução Duplamente Alimentados com Aplicação em Sistemas Eólicos" Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF THE CORRELATIONS BETWEEN METEOROLOGICAL VARIABLES IN ELECTRIC POWER GENERATION

Sérgio Oliveira Pitombo, sergio.pitombo@fieb.org.br¹.

Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹.

¹ Centro Universitário SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, Salvador- Bahia.

Abstract. *The major challenge we face today in the energy sector is meeting the growing demand for electricity with minimal impact on the environment. The world is increasingly concerned about rising levels of CO2 emissions that contribute to global warming and climate change.*

The use of time series of collected meteorological variables for short and long estimates for the identification of potential energy generation in the wind, solar and water matrices, together with statistical techniques, becomes an indispensable tool in the present day.

The objective of this work is the statistical methods to identify correlation between the most important variables in the wind and solar generations for the purpose of identifying places or times to improve the database to be used by strategists.

Keywords: *time series, meteorological variables, energy generation.*