



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA**

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76  
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

## **XXVII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2023**

### **UMA VISÃO HORA A HORA DA AUTOCORRELAÇÃO EM DADOS METEOROLÓGICOS NA BAHIA**

**Natália Oliveira Santos<sup>1</sup>; Gilney Figueira Zebende<sup>2</sup>; Bianka Lima de Oliveira<sup>3</sup>**

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [santosnat20002@gmail.com](mailto:santosnat20002@gmail.com)
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [gfigebende@uefs.br](mailto:gfigebende@uefs.br)
3. Bolsista PIBIC/FAPESB, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [biankaoliveira37@gmail.com](mailto:biankaoliveira37@gmail.com)

**PALAVRAS-CHAVE:** variáveis meteorológicas; modelagem computacional;  
correlações cruzadas.

### **INTRODUÇÃO**

Ferraro & Hasenack (2000) destacam a relevância dos fatores climáticos no ecossistema, afirmando que eles influenciam o ecossistema e têm impactos abrangentes, incluindo na vegetação, distribuição da vida selvagem e bem-estar da população. Isso ressalta a importância da pesquisa das variáveis climáticas.

É amplamente reconhecido que ferramentas físicas, matemáticas e computacionais desempenham um papel crucial na análise de dados. Ao longo desta pesquisa, foi utilizada uma abordagem de modelagem usando o coeficiente de correlação cruzada  $\rho_{DCCA}$ . Permitindo a análise de variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, ponto de orvalho, umidade relativa do ar e pressão atmosférica (hora a hora) ao longo de um período de seis meses. O objetivo era compreender como as medições instantâneas se relacionam com seus valores máximos e mínimos, proporcionando informações valiosas sobre o comportamento dessas variáveis ao longo do tempo.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é a instituição federal do Brasil responsável por fornecer informações meteorológicas. Neste estudo, foram utilizados dados da estação meteorológica automática A401, situada na cidade de Salvador (BA), que registra informações climáticas a cada hora. O conjunto de dados abrange o período de 02/09/2022 a 02/03/2023, compreendendo um total de  $N = 4245$  observações (hora a hora).

### **MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)**

Antes de apresentarmos o coeficiente de correlação cruzada  $\rho_{DCCA}$ , a nossa ferramenta estatística para análise de séries temporais, vamos começar introduzindo brevemente os métodos DFA e DCCA, respectivamente:

#### **Método DFA**

O método *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) foi proposto por Peng et al. (1994) para analisar correlações de longo alcance em séries temporais não-estacionárias. A principal vantagem da aplicação do DFA é a sua capacidade de remover as tendências das séries, que mascaram a verdadeira correlação das flutuações das variáveis envolvidas, e assim permitir ver as verdadeiras correlações de longo alcance nos referidos sinais, nos dando a informação sobre a persistência ou não da série temporal.

### Método DCCA

Já o método *Detrended Cross-Correlation Analysis* (DCCA), proposto por Podobnik and Stanley (2008), generaliza o DFA e propõe estimar o expoente  $\lambda$ , que caracteriza a correlação cruzada entre duas series temporais, com o mesmo número de observações  $N$ , em regime não estacionário. Neste sentido, buscamos identificar ou não correlação cruzada de longo alcance.

Podemos destacar que temos algumas publicações oriundas da aplicação do método DCCA Lin et al. (2012); Zebende et al. (2013). Pensando em termos do expoente  $\lambda$ , destacamos que o mesmo qualifica as correlações cruzadas de longo alcance e também identifica sazonalidades, porém não quantifica o nível de correlação cruzada. Assim, para quantificarmos o nível de correlação cruzada em termos do DFA e DCCA é imediata a definição do  $\rho_{DCCA}$ , apresentado logo a seguir.

### Coefficiente $\rho_{DCCA}$ por Zebende (2011)

Este coeficiente é definido em termos da função de covariância  $F_{DCCA}^2(n)$  e da função de variância  $F_{DFA}(n)$ , entre as duas series temporais:

$$\rho_{DCCA(n)} \equiv \frac{F_{DCCA}^2(n)}{F_{DFA\{u_i\}}(n) F_{DFA\{u_i\}}(n)}$$

Tal coeficiente apresenta uma nova forma de se medir e quantificar correlação cruzada entre duas series temporais não estacionárias. O  $\rho_{DCCA}$  é um coeficiente adimensional que varia entre -1 e 1, com a seguinte condição (ver Tabela 1):

Tabela 1. Coeficiente de correlação cruzada.

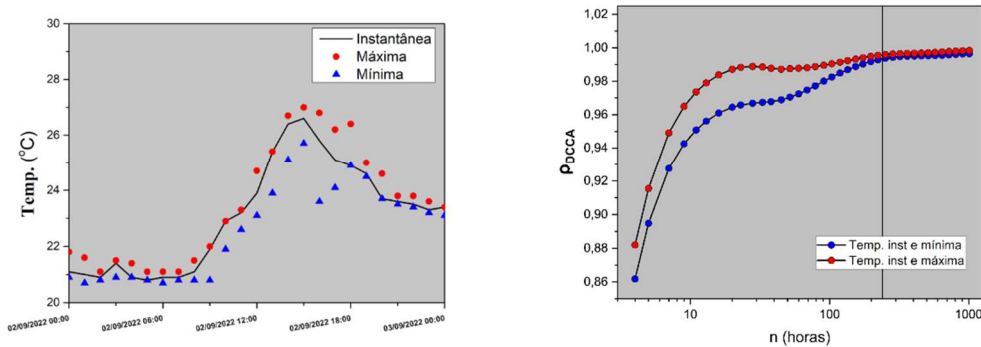
$\rho_{DCCA}$	Condição
-1	Perfeita anti-correlação cruzada
0	Ausência de correlação cruzada
1	Perfeita correlação cruzada

É de se destacar que tal coeficiente está sendo utilizado nas mais variadas publicações a saber, em Vassoler and Zebende (2012); Zebende et al. (2018) para estudar a correlação cruzada entre a temperatura e a umidade relativa do ar, Toledo et al. (2022) para analisar o fluxo de rios em bacias hidrográficas. O  $\rho_{DCCA}$  já foi testado estatisticamente em Podobnik et al. (2011), onde foi aprovado como um excelente coeficiente, principalmente se comparado com o coeficiente de *Pearson* Piao and Fu (2016), ou mesmo para series temporais simuladas Kristoufek (2014); Zebende et al. (2019). Também em Zebende and da Silva-Filho (2018) é possível ver a generalização do coeficiente  $\rho_{DCCA}$ . No vídeo do YouTube (*link abaixo*) é possível ver o algoritmo de implementação para o  $\rho_{DCCA}$  :

<https://www.youtube.com/watch?v=RQL7Db74yG0&t=123s>

## RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

Abaixo tem-se os resultados para o caso da Temperatura do Ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), com seu valor instantâneo, mínimo e máximo, ver Fig. 1 (painel à esquerda) De modo geral, é possível observar uma forte correlação entre as interações para cada variável. Esta figura



Legenda: 1. Valores da Temperatura do Ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) durante um determinado dia (como exemplo), mostrando os seus valores Instantâneos, Mínimos e Máximos (painel à esquerda).  $\rho_{DCCA}$  como função da escala temporal  $n$ , medido entre os valores de Temperatura do Ar: Instantâneo  $\times$  Mínimo (símbolo azul) e instantâneo  $\times$  Máximo (símbolo vermelho) (painel à direita). A barra vertical corresponde a  $n = 240$  horas ou 10 dias.

mostra o comportamento (aqui como exemplo) da Temperatura do Ar durante 24 horas de um determinado dia, onde é possível observar que durante o período do dia a Temperatura instantânea se aproxima mais da máxima e durante a noite a Temperatura instantânea se aproxima mais da mínima, o que indica ao longo de todo período estudado uma forte existência de correlação cruzada entre estas medidas. Na Fig. 1 (painel à direita) vemos a aplicação do  $\rho_{DCCA}$ , entre a Temperatura instantânea e os seus valores máximos (ícone vermelho) e mínimos (ícone azul), como função da escala temporal  $n$ . Portanto, aqui quando comparada a correlação cruzada da Temperatura instantânea existente com a medida máxima e mínima, o nível de correlação cruzada com a máxima é maior para as pequenas escalas, mas pode-se observar que para grandes escalas temporais,  $n \geq 240$  (horas), tal diferença se torna bem pequena, com  $\rho_{DCCA} \approx 1.0$ , indicado pela linha vertical na figura.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste resumo, trouxemos a modelagem da importante variável meteorológica (Temperatura do Ar), sobre o ponto de vista do coeficiente de correlação cruzada,  $\rho_{DCCA}$ . Nesta modelagem optamos por analisar a relação que existe entre a variável do ponto de vista de sua medida instantânea se comparada com seus valores mínimos e máximos dentro daquela hora medida. Aqui, para a estação meteorológica de Salvador, observamos a diferença entre os valores medidos e maior observando pequenas escalas temporais. Para grandes escalas temporais os valores medidos de  $\rho_{DCCA} \approx 1$ , porém a depender da variável, este valor vai mais rápido ou não, aqui 4 a 10 dias. Finalmente, com este trabalho podemos fazer um levantamento de como se comportam algumas das variáveis meteorológicas, o que pode ser importante no futuro para algum gestor do

INMET (ou outros) se levarmos em conta que há momentos em que tais variáveis não são medidas e podemos contar com esta informação para simular tais dados inexistentes.

## REFERÊNCIAS

- AIJING LIN, PENGJIAN SHANG, AND XIAOJUN ZHAO. The cross-correlation of stock markets based on DCCA and time delay DCCA. *Nonlinear Dynamics*, 67:425–435, 2012.
- B. PODOBNIK AND H. E. STANLEY. Detrended cross-correlation analysis: A new method for analyzing two nonstationary time series. *Phys. Rev. Lett*, 100:1–4, 2008.
- BORIS PODOBNIK, ZHI-QIANG JIANG, WEI-XING ZHOU, AND H. E. STANLEY. Statistical tests for power-law cross-correlated processes. *Phys. Rev. E*, 84:066118, 2011.
- C.-K. PENG, S. V. BULDYREV, S. HAVLIN, M. SIMONS, H. E. STANLEY, AND A. L. GOLDBERGER. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Phys. Rev. E*, 49:1685–1689, 1994.
- G. F. ZEBENDE. DCCA cross-correlation coefficient: Quantifying level of cross-correlation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(4):614–618, 2011.
- G.F. ZEBENDE AND A.M. DA SILVA-FILHO. Detrended multiple cross-correlation coefficient. *Physica A*, 510:91 – 97, 2018. ISSN 0378-4371.
- GF ZEBENDE, AA BRITO, AM SILVA FILHO, AND AP CASTRO.  $\rho$ DCCA applied between air temperature and relative humidity: An hour/hour view. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 494:17–26, 2018.
- GF ZEBENDE, AA BRITO, AND AP CASTRO. DCCA cross-correlation analysis in time-series with removed parts. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, page 123472, 2019.
- GF ZEBENDE, MF DA SILVA, AND A MACHADO FILHO. DCCA cross-correlation coefficient differentiation: Theoretical and practical approaches. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(8):1756–1761, 2013.
- L. KRISTOUFEK. Measuring cross-correlation between non-stationary series with DCCA coefficient. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 402:291–298, 2014.
- L. PIAO AND Z. FU. Quantifying distinct associations on different temporal scales: comparison of DCCA and pearson methods. *Sci. Rep.*, 6:36759, 2016.
- LILIAN MARIA WAQUIL FERRARO AND HEINRICH HASENACK. *Clima*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Biociências. Centro de Ecologia. Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: A Universidade, 2000. p. 26-44., 2000.
- O. POSTOLACHE, J. M. DIAS PEREIRA, P.M. GIR AO, AND H. RAMOS. Dew point and relative humidity smart measuring system. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 55(6): 2259–2264, December 2006.
- OC TOLEDO, AM DA SILVA FILHO, AB SILVA, AND GF ZEBENDE. Temporal analysis of the flows of the rivers that form the hydrographic basin of moquegua (peru). *Fluctuation and Noise Letters*, 21(06):2250059, 2022.
- RT VASSOLER AND GF ZEBENDE. DCCA cross-correlation coefficient apply in time series of air temperature and air relative humidity. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(7):2438–2443, 2012.