

# INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DE DADOS COM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

<sup>1</sup>HENDERSON S. WANDERLEY, <sup>2</sup>RICARDO F. CARLOS DE AMORIM,  
<sup>3</sup>FREDE DE O. CARVALHO

<sup>1</sup>Discentes do Prog. de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola pela Univ. Fed. de Viçosa, Viçosa-MG, Bra.

<sup>2</sup>Profº Dr. Instituto de Ciências Atmosféricas da Univ. Fed. de Alagoas, Maceió-Al, Bra.

<sup>3</sup>Profº Dr. Unidade Acadêmica de Tecnologia da Univ. Fed. de Alagoas, Maceió-Al, Bra.

Fone: (0 55 31) 3899 1900 e-mail: [henderson.wanderley@ufv.br](mailto:henderson.wanderley@ufv.br)

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

**RESUMO:** As regiões tropicais são marcadas por apresentarem grande variabilidade quanto à distribuição dos seus regimes pluviométricos, e o conhecimento dessa variabilidade torna-se fundamental para obtenção dos padrões que definem os regimes hidrológicos e climatológicos destas regiões. No entanto, falta de informação quanto à distribuição da precipitação é complexo de se compreender e modelar sua variabilidade, surgindo à necessidade de se obter informações para regiões que não apresentam estações de medições ou que apresentem falhas em seu banco de dados através de interpolação. Desta forma, o objetivo deste estudo consiste em utilizar Redes Neurais Artificiais (RNA) no preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o Estado de Alagoas nos meses de máxima e mínima distribuição da precipitação. Para o estudo foram selecionadas 63 estações pluviométricas provenientes da Agência Nacional de Águas (ANA) entre os anos de 1965 a 1980. A utilização de RNA mostrou resultados satisfatórios na estimação dos dados de precipitação, os demais resultados estimados, tanto para o mês de maio quanto novembro, apresentou valores de precipitação superior a 70% do valor observado.

**Palavra Chave:** Precipitação, preenchimento de falhas, variabilidade espacial.

## SPATIAL INTERPOLATION OF DATA WITH ARTIFIAL NEURAL NETWORKS

**ABSTRACT:** Tropical regions are characterized by great variability in the distribution of the rainfall regimes, and knowledge of this variability is fundamental to achieving the standards that define the climatologic and hydrological regimes of this region. However, lack of information regarding the distribution of rainfall is a serious obstacle to understanding and modeling its variability, resulting in the need to obtain information for regions that do not have measuring stations or shows flaws in its database by interpolation. Thus, the aim of this paper is to use Artificial Neural Networks (ANN) missing rainfall data for the State of Alagoas in the months of maximum and minimum rainfall distribution. For the study we selected 63 rainfall stations from the Agencia Nacional de Aguas (ANA) between the years 1965 to 1980. The use of ANN showed satisfactory results in the estimation of rainfall data, the other estimated results for both the months of may and november, showed values of precipitation exceeding 70% of the observed value.

**Keyword:** Precipitation, missing rainfall, spatial variability.

## INTRODUÇÃO

As regiões tropicais são marcadas por apresentarem variabilidade quanto à distribuição dos seus regimes pluviométricos. Nestas localidades, a precipitação determina as chamadas estações secas e chuvosas, e o conhecimento de sua variabilidade espacial e temporal torna-se fundamental para obtenção dos padrões definidores dos regimes hidrológicos e climatológicos destas regiões.

A representação da distribuição espacial e temporal da precipitação é essencial para se determinar suas características, influência no ciclo hidrológico, utilização na agricultura, bem como os meses propícios para o turismo, dentre outros. No entanto, falta de informação quanto à distribuição da precipitação é um sério obstáculo para se compreender e modelar sua variabilidade. Outro fator importante e determinante se dá pelo fato de varias estações apresentarem falhas em seu banco de dados, sendo essas estimativas uma das mais importantes e necessárias tarefas exigidas em processos meteorológicas (Teegavarapu e Chandramouli, 2005).

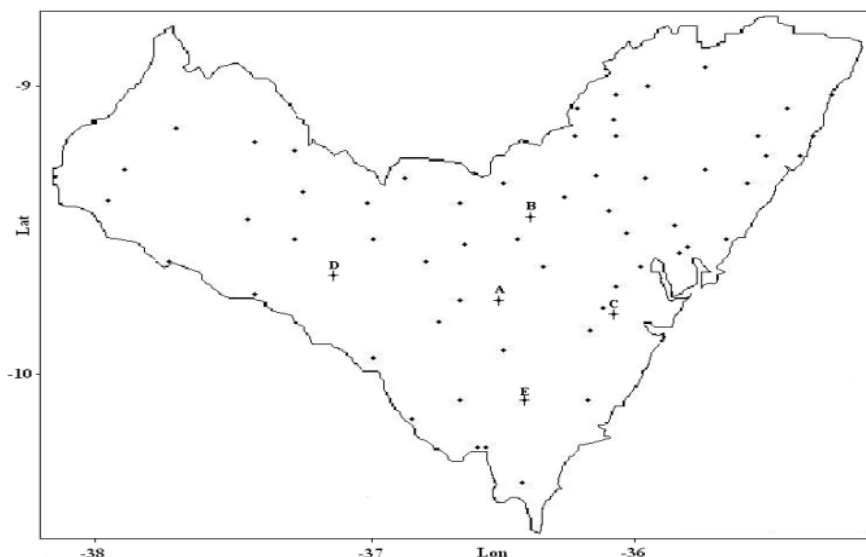
O processo de estimativa de dados de precipitação permanece sendo uma tarefa complexa, principalmente para pequenas bacias hidrográficas, onde essas lacunas dificultam a elaboração de estudos que buscam modelar sua variabilidade. (Coulibaly e Evora, 2007). Assim, as redes neurais se destacam como uma ferramenta promissora para simular processos meteorológicos e hidrológicos (Ozgur et al., 2009; Maqsood e Abraham, 2007). Desta forma, o objetivo deste estudo consiste em utilizar Redes Neurais Artificiais (RNA's) no preenchimento de falhas de dados pluviométricos para Estado de Alagoas nos meses de máxima e mínima distribuição da precipitação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Estado de Alagoas, o qual localiza-se na região leste do nordeste brasileiro, limitando-se ao norte com o estado de Pernambuco, ao sul com Sergipe, a oeste com Pernambuco e Bahia e a leste com o Oceano Atlântico. Para o estudo foram selecionados dados mensais de 63 estações pluviométricas distribuídas espacialmente no estado de Alagoas (Figura 1), provenientes do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), compreendidos entre os anos de 1965 a 1980.

Destas estações, cinco foram retiradas do conjunto de dados e classificadas em: A (para a estação Limoeiro de Anadia), B (Mar Vermelho), C (Sebastião Ferreira), D (Batalha) e E (Colônia Pindorama), (Figura 1). Para essas estações foram admitidas a existência de possíveis falhas, onde busca-se preencher essas falhas com o uso de Redes Neurais Artificiais de múltiplas camadas (MLP), para o preenchimento de dados de precipitação para os meses de maio e novembro, meses de máxima e mínima distribuição da precipitação, respectivamente.

As Redes Neurais Artificiais se constituem em uma técnica de inteligência artificial definidas como sistemas paralelos distribuídos compostos por unidades de processamento simples (nodos) que calculam determinadas funções matemáticas, normalmente não-lineares. Tais unidades são dispostas em um ou mais camadas (uma camada de entrada, uma ou várias intermediárias e uma de saída) e interligadas por um grande número de conexões, geralmente unidirecionais. Na maioria dos modelos estas conexões são associadas a pesos, os quais armazenam o conhecimento representado no modelo e servem para ponderar a entrada recebida por cada neurônio da rede.



**Figura 1** : Distribuição espacial das estações no Estado de Alagoas.

Para a interpolação foram utilizadas nesse trabalho redes neurais dos tipos MLP (Multilayer Perceptron), com a utilização dos algoritmos de treinamento Levenberg-Marquardt e a Regularização Automatizada “*Trainlm e Trainbr*”, juntamente com as funções de transferências de ativação “*sigmóide, linear, e tangente hiperbólica*”, ambas disponíveis em ambiente *MATLAB*<sup>®</sup> 7.0. O algoritmo *backpropagation* foi utilizado juntamente com a regra de aprendizagem *Delta*. A fase de treinamento, validação e teste das redes neurais tinham como dados de entrada a latitude, longitude e precipitação das estações de medição, e precipitação como saída. O processo supervisionado de aprendizagem foi adotado neste estudo pelas redes neurais.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As estimativas de dados de precipitação para Alagoas com a utilização da latitude e da longitude, das estações de medição utilizadas para a interpolação, como dados de entrada, mostraram resultados satisfatórios. Teegavarapu (2007) comenta que esse tipo de experimentos com redes neurais indicam que, apesar de suas limitações, a interpolação espacial proporciona uma melhor estimativa dos dados em falta do que os métodos mais simples. A principal razão para seu sucesso é a capacidade de utilizar informações de vários pontos no espaço e incorporar a variabilidade espacial do processo físico subjacente, meteorológica ou hidrológicas via correlação estatística.

Os coeficientes de correlação obtido no treinamento da rede para a interpolação da precipitação para os meses de maio e novembro foram de  $r = 0,902$  e  $r = 0,925$  respectivamente. Segundo Ferreira (2005), os coeficientes de correlação baixos e pouco significativos poderão influenciar no ajuste estatístico dos modelos, reduzindo sua dependência espacial. Pellegatti (2007) ressaltou que no contexto da precipitação, a latitude e a altitude proporcionaram coeficientes elevados e significativos, mostrando que é possível modelar adequadamente os totais precipitados em função das coordenadas.

Os valores estimados pelas redes neurais de precipitação para as estações selecionadas, bem como os valores observados nas estações em estudo podem ser observados na Tabela 1. Os valores estimados, em sua maioria, estão próximos dos medidos nas estações, principalmente para o mês de novembro, onde a diferença dos valores estimados e observados foi pequena para quase todas as estações.

**TABELA 1:** Precipitação estimada para os meses de maio e novembro nas estações A, B, C, D e E para Alagoas.

Meses	Estações									
	A		B		C		D		E	
	Obs*	Est*	Obs*	Est*	Obs*	Est*	Obs*	Est*	Obs*	Est*
<b>Mai</b>	168,60	191,36	204,85	143,00	104,05	103,49	104,04	119,80	264,55	259,72
<b>Nov</b>	18,79	18,72	18,89	13,10	3,92	3,48	15,72	15,49	35,76	32,34

\*Obs - Precipitação observada na estação de medição em (mm); \*Est – Precipitação estimada com Redes Neurais Artificiais.

Para o mês de maio, o valor estimado para a estação C foi a que demonstrou a menor diferença entre o dado observado e estimado 104,05 mm (observado), 103,49 mm (estimado) pela rede neural. Para a estação E, a precipitação estimada também não apresentou diferença significativa entre o valor medido e interpolado pela rede. O maior desvio obtido na estimação foi observado para a precipitação da estação B, mesmo assim o valor estimado pela rede correspondeu a 70% do valor médio na estação.

No estado de Alagoas o mês de maio é caracterizado por apresentar grande variabilidade na distribuição espacial da precipitação, bem como os maiores índices pluviométricos. Essa variabilidade pode ter influenciado nos resultados para este período, uma vez que, para esse mês, a amplitude observada entre os dados das estações utilizadas para a estimação é superior a 160 mm. Como os resultados foram simulados em conjunto, essa amplitude pode ter influenciado nos resultados, caso fossem simulados unicamente para cada estação.

No mês de novembro, os dados estimados apresentaram resultados mais preciso, para quase todas as estações utilizadas utilizando-se dados interpolados. Para a estação A, o desvio obtido foi de apenas 0,07 mm, para a estação D foi de 0,23 mm e 0,44 mm para a estação C. Considerando erro instrumental de 0,5 mm, o que ainda é inferior a margem existente por muitos aparelhos que são vendidos no mercado, os resultados obtidos para estas estações são bem expressivos e caracterizam bem os resultados das estações analisadas.

O maior desvio entre os dados estimados e observados foi obtido na estação B, onde esse diferença é inferior a 6 mm, demonstrando o potencial das RNA para o processo de estimativas de dados de precipitação.

## CONCLUSÕES

A utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA's) no preenchimento de falhas de dados pluviométricos para Estado de Alagoas nos meses de máxima e mínima distribuição da precipitação demonstrou resultados satisfatórios. Para o mês de maio, a precipitação estimada apresentou desvio de 0,56 mm para a estação C, entre o dado observado e medido nesta estação. Para novembro, esse desvio foi de 0,07 mm para a estação A. Os demais resultados estimados, tanto para o mês de maio quanto novembro, apresentou valores de precipitação superior a 70% do valor medido na estação. Os dados estimados para o mês de novembro apresentaram resultados mais precisos do que o mês de maio decorrente da menor variabilidade espacial da precipitação neste mês.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COULIBALY; P., EVORA; N. D. Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records. **Journal of Hydrology**, Volume 341, Issues 1-2, Pages 27-4, 20 July 2007.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 760p, 2005.

MAQSOOD, I.; ABRAHAM, A. Weather analysis using ensemble of connectionist learning paradigms. **Applied Soft Computing**, Volume 7, Issue 3, Pages 995-1004, June 2007,

OZGUR, N. B.; KOYUNCU, M.; YAZICI, A. An intelligent fuzzy object-oriented database framework for video database applications. **Fuzzy Sets and Systems**, Volume 160, Issue 15, Pages 2253-2274, 1 August 2009.

PELLEGATTI, C. H. G. **Avaliação espaço-temporal da precipitação no perfil Baixada Santista – Vertentes Oceânicas – Robordo Interiorano da escarpa da Serra do Mar-SP**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo, São Paulo, 128p, 2007.

TEEGAVARAPU, R. S. V. e CHANDRAMOULI V. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. **Journal of Hydrology**, Volume 312, Pages 191–206, June 2005.

TEEGAVARAPU, R. S. V. Use of universal function approximation in variance-dependent surface interpolation method: An application in hydrology Original Research Article. **Journal of Hydrology**, Volume 332, Issues 1-2, Pages 16-29, 1 January 2007.