

ESTIMATIVA DAS NORMAIS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS MENSAS E ANUAL NA REGIÃO NORDESTE UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Roberto Avelino Cecílio¹, Michel Castro Moreira², Salomão de Sousa Medeiros³, José Luiz Cabral da Silva Júnior⁴

ABSTRACT - Air temperature is one of the most important climatic elements, due to it influences the growing of the crops. Thus, many researches make use of regression equations to predict air temperature using geographical coordinate data. Nevertheless, many times these equations aren't sufficiently accurate to be used. In this paper artificial neural networks (RNAs) were developed intending to predict maximum mensal and annual air temperature to Brazil's Nordeste Region. The developed RNAs showed "Excellent" and "Very Good" performances, with maximum mean relative error equals to 3.35% and maximum error between 1.2 and 2.4°C, in way that they can be used to predict maximum air temperatures in the studied area.

INTRODUÇÃO

A realização de estudos de classificação ecológica com base em dados climáticos, para fins de planejamento do uso do solo, requer a disponibilidade destes dados em quantidade suficiente para caracterizar satisfatoriamente, as condições climáticas da área em questão (Oliveira Neto, 2002). Todavia, no Brasil, a escassez de pontos de observações climáticas pode comprometer o uso de variáveis climáticas em estudos desse tipo e/ou, de estimativa da produção agrícola e florestal.

A temperatura do ar é o elemento climático considerado como sendo o mais importante e sensível, influenciando o crescimento e o desenvolvimento de plantas economicamente cultivadas (Coelho et al., 1973).

A região Nordeste do Brasil conta com um número limitado de estações que medem dados de temperatura do ar. Para suprir esta limitação tem sido usada a estimativa desse elemento climático por intermédio de equações de regressão em função das coordenadas geográficas (Cavalcanti & Silva, 1994; Lima & Ribeiro, 1998; Marin et al., 2003; Medeiros et al., 2005). Todavia, muitas vezes estas equações não possuem acurácia suficiente para serem aplicadas (Lima & Ribeiro, 1998; Marin et al., 2003) ou não apresentam estimativas confiáveis quando aplicadas perto dos limites das coordenadas geográficas ou da altitude (Cavalcanti & Silva, 1994).

De acordo com Sárközy (1999), as Redes Neurais Artificiais (RNAs) podem ser usadas como ferramentas de interpolação, classificação e modelagem ambiental. Segundo Li (2002), a utilização das RNA é hoje uma alternativa potencial para estimativa de variáveis climáticas em substituição aos métodos tradicionais de interpolação.

Do exposto o presente trabalho teve por objetivo a estimativa das normais das temperaturas máximas mensais e anual para a Região Nordeste utilizando-se RNAs.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se dados das normais das temperaturas máximas mensais e anual, latitude, longitude e altitude de 74 estações climatológicas listadas nas normais climatológicas dos estados do Nordeste brasileiro, fornecidos pelo INMET (BRASIL, 1992). Para o treinamento das RNAs foram escolhidas aleatoriamente 52 estações, enquanto as 22 estações restantes foram utilizadas para teste (Figura 1).



Figura 1. Mapa do Nordeste com as estações utilizadas para treinamento e teste das RNAs.

Para aumentar a capacidade de generalização da RNA e com a finalidade de reduzir o problema de tamanho da amostra, utilizou-se uma variante da técnica de treinamento por validação cruzada conhecida como deixando um de fora (*leave one out*). Dessa forma definiram-se as melhores arquiteturas e números de ciclos de treinamento que se ajustassem melhor ao problema para então realizar o treinamento de 13 RNAs, sendo uma para cada mês e uma para a média anual. As arquiteturas testadas foram do tipo 3- n_1 - n_2 -1 onde 3 representa o número de entradas do problema (latitude, longitude e altitude), n_1 e n_2 o número de neurônios artificiais nas camadas 1 e 2, respectivamente, e 1 a saída da RNA (valor da temperatura média mensal ou anual). Visando garantir que cada parâmetro de entrada recebesse igual atenção durante o treinamento, tanto os dados de entrada quanto os de saída foram padronizados para o intervalo entre -1 e 1 (MatLab, 2000).

A RNA foi treinada utilizando o algoritmo de aprendizado de retropropagação do erro, com funções de ativação do tipo tangente hiperbólica sigmóide nas camadas intermediárias e linear na de saída. A regra de treinamento utilizada foi a Levenberg-Marquardt. Dentre as RNAs treinadas, utilizou-se o critério de

¹ Engº Agrícola, Doutorando em Eng. Agrícola, DEA/UFV, Viçosa - MG, (031) 3899.2715, (racecilio@yahoo.com.br).

² B. S. Ciência da Computação, Mestrando em Eng. Agrícola, DEA/UFV, Viçosa - MG.

³ Engº Agrícola, Doutor em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande - PB.

⁴ Meteorologista, Doutorando em Meteorologia Agrícola, Bolsista CNPq, DEA/UFV, Viçosa - MG.

escolha da melhor a que apresentasse o menor erro relativo médio (*ERM*) e que apresentasse erro absoluto máximo ($EA_{máx}$) menor que 2,5°C para as 74 estações utilizadas para treinamento e teste das RNAs.

Na avaliação do desempenho das RNAs utilizou-se o índice de confiança (*c*), proposto por Camargo & Sentelhas (1997), obtido por intermédio do produto entre o coeficiente de correlação (*r*) e o índice de concordância (*d*), proposto por Willmott (1981). Os índices *ERM*, $EA_{máx}$, *c*, *r* e *d* foram calculados utilizando-se apenas os valores de temperatura máxima observados e estimados para as 22 estações utilizadas na amostra de teste. Para comparar a RNA com equações de regressão existentes para a Região Nordeste, calculou-se ainda o valor do coeficiente de determinação ajustado (R^2) utilizando-se os valores de temperatura observados e estimados para as 74 estações, e não apenas os valores da amostra de teste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados a arquitetura final de cada RNA treinada, os índices *c*, *ERM* e $EA_{máx}$ e a classificação do desempenho, segundo os critérios de Camargo & Sentelhas (1997), além dos valores de R^2 (para os dados da 74 estações).

Os valores de R^2 apresentados pelas RNAs foram superiores àqueles obtidos nos ajustes de equações de regressão para a estimativa das temperaturas máximas na Região Nordeste (Marin et al., 2003 e Medeiros et al., 2005) e no Piauí (Lima & Ribeiro, 1998). Estes valores também foram superiores àqueles encontrados por Cavalcanti & Silva (1994) em duas das três sub-áreas nas quais os autores dividiram a região Nordeste, sendo inferiores em 7 meses na sub-área Maranhão / Piauí. Todavia, esta sub-região é justamente aquela na qual as equações de Cavalcanti & Silva (1994) apresentam sérios desvios na estimativa das temperaturas, conforme observado por Medeiros et al. (2005). Ressalta-se que mesmo não utilizando parte das estações para o ajuste das RNAs, estas apresentaram melhores desempenhos, sendo mais indicadas para a estimativa da temperatura máxima.

Verifica-se, na Tabela 1, que o *ERM* máximo apresentado pelas RNAs foi de apenas 3,55%, no mês de novembro, representando um erro relativamente baixo. Observa-se também que todas as RNAs apresentaram $EA_{máx}$ relativamente baixo com valores sempre inferiores a 2,4°C. No geral as RNAs apresentaram excelente acurácia, obtendo 12 classificações de desempenho “Ótimo” (*c* maior que 0,85) e uma “Muito bom” (*c* entre 0,76 e 0,85). Estes fatos indicam que as RNAs desenvolvidas podem ser utilizadas com segurança para a estimativa das normais de temperatura do ar máximas mensais e anual na Região Nordeste.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas (1961-1990). Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. 84 p.

Camargo, A.P.; Sentelhas, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Rev. Bras. Agromet., 5:89-97, 1997.

Cavalcanti, E.P.; Silva, E.D.V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas

locais. In: Congresso Brasileiro De Meteorologia, 7, 1994, Belo Horizonte. Anais..., Belo Horizonte: Soc. Brasileira de Meteorologia, 1994, p.154-157.

Coelho, D.T.; Sedyama, G.; Vieira, M. Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais no Estado de Minas Gerais. Rev. Ceres, 20(112):455-459, 1973.

Li, B. Spatial interpolation of weather variables using artificial neural networks. Athens, University of Georgia, 2002. 89p. (Tese de Mestrado)

Lima, M.G.; Ribeiro, V.Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí. Rev. Bras. Agrometeorologia, 6(2):221-227, 1998.

Marin, F.R.; Pandorfi, H.; Ferreira, A.S. Estimativa das temperaturas máximas, mínimas e médias mensais para o Brasil. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 13., Santa Maria, 2003. Anais..., Santa Maria, 2003. (CD-ROM)

MATLAB software. Version 6.0, The MathWorks, Inc., Natick, MA. 2000.

Medeiros, S.S.; Cecílio, R.A.; Melo Júnior, J.C.F.; Silva Júnior, J.L.C. Estimativa e espacialização das normais das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental, 2005 (no prelo)

Oliveira Neto, S.N.; Reis, G.G.; Reis, M.G.F.; et al. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste. Rev. Eng. Agricultura, 10(8-17):57-61, 2002.

Sárközy, F. Gis functions – Interpolation. Periodica Polytechnica ser. civ. eng. 43:63-86, 1999.

Willmott, C.J. On the validation of models. Physical Geography, 2:184-194, 1981.

Tabela 1. Arquitetura e desempenho das RNAs desenvolvidas para estimativa das temperaturas

Mês	Ciclos	n ₁	n ₂	ERM *	$EA_{máx}$ (°C)	c *	Desempenho	R ² **
Jan	150	5	4	2,59%	1,9	0,91	Ótimo	0,92
Fev	500	4	2	2,69%	1,7	0,86	Ótimo	0,87
Mar	150	5	4	2,19%	1,8	0,84	Muito bom	0,83
Abr	500	4	5	2,54%	1,7	0,87	Ótimo	0,92
Mai	200	3	4	2,75%	1,9	0,91	Ótimo	0,93
Jun	50	5	4	3,04%	2,3	0,93	Ótimo	0,94
Jul	100	5	3	2,85%	2,2	0,95	Ótimo	0,97
Ago	125	4	3	3,14%	1,6	0,95	Ótimo	0,96
Set	125	3	4	2,66%	2,4	0,95	Ótimo	0,95
Out	125	4	4	3,35%	2,4	0,89	Ótimo	0,90
Nov	75	5	4	2,92%	2,4	0,91	Ótimo	0,92
Dez	500	5	2	2,92%	2,3	0,90	Ótimo	0,91
Ano	125	4	3	2,25%	1,2	0,94	Ótimo	0,95

* calculado com dados das 22 estações da amostra de teste

** calculado com dados de todas as 74 estações