

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DAS TEMPERATURAS DO AR NO NORDESTE BRASILEIRO

MICHEL C. MOREIRA¹, ROBERTO A. CECÍLIO², KENNEDY R. DA SILVA³

¹Bacharel Ciência da computação, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG
mmoreira@gprh.ufv.br

²Eng^o Agrícola, DS., Prof. Adjunto, Depto de Engenharia Florestal, CCA-UFES, Alegre – ES

³Graduando em Eng. Florestal, Depto de Engenharia Florestal CCA-UFES, Alegre – ES

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia- 02 a 05 de Julho de 2007-
Aracaju - SE

RESUMO: O conhecimento da temperatura do ar é fundamental para a condução de estudos relativos ao planejamento agrícola, uso do solo, zoneamento ecológico e aptidão climática das culturas. No presente trabalho foram avaliadas o desempenho das redes neurais artificiais (RNAs) desenvolvidas por Moreira e Cecílio (2007) e das equações de regressão proposta por Medeiros et al.(2005) para a estimativa mensal e anual das temperaturas mínimas, médias e máximas do ar na região Nordeste do Brasil. Utilizaram-se dados mensais e anuais das normais das temperaturas do ar obtidas em 74 estações meteorológicas, listadas nas normais climatológicas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). De maneira geral, as RNAs apresentaram maior acurácia através coeficiente de determinação (R^2), erro relativo médio (ERM) e erro absoluto máximo (EA_{\max}) na estimativa das temperaturas do ar, em comparação com as equações de regressão.

Palavras-chave: planejamento agroclimático, redes neurais artificiais, equações de regressão.

ABSTRACT: Air temperature knowledge is needed to the development of many agricultural, soil use and agroclimatic zoning researches. This paper presents an evaluation of the artificial neural networks (ANN's) developed by Moreira & Cecílio (2007) and regression equations developed by Medeiros et al. (2005) applied to predict monthly and annual air temperatures (minimum, mean and maximum) at the Northeast region of Brazil. Monthly and annual air temperature data collected at 74 meteorological stations of Brazilian Meteorology Institute (INMET) were used to proceed the evaluation. Calculated statistic indexes (determination coefficient, mean relative error and maximum absolute error) showed that the ANN's predicted air temperature better than the regression equations.

KEYWORDS: agroclimatic planning, artificial neural networks, regression equations.

INTRODUÇÃO: O conhecimento da temperatura do ar é fundamental para a condução de estudos relativos ao planejamento agrícola, uso do solo, zoneamento ecológico e aptidão climática das culturas (Oliveira Neto et al., 2002). Estimativas das temperaturas ar em locais onde tais dados são indisponíveis podem ser feitas a partir de equações de regressão, técnicas de interpolação ou por meio de redes neurais artificiais (RNA's). Apesar de amplamente usadas, as equações de regressão, em alguns casos, apresentam baixos coeficientes de determinação, não possuindo acurácia suficiente para serem utilizadas ou não realizando estimativas confiáveis, quando sua aplicação destina-se a certas partes da região para a qual foram estabelecidas, notadamente aquelas em que há brusca variação da altitude ou onde os

valores desta variável situam-se próximos ao extremo (Medeiros et al., 2005). A utilização de redes neurais artificiais (RNAs) é uma potencial alternativa para estimativa de variáveis climáticas, em substituição às equações de regressão e aos métodos tradicionais de interpolação (Sárközy, 1999), uma vez que sua capacidade de aprendizado para diferentes parâmetros de entrada as tornam capazes de resolver problemas complexos em diversas áreas do conhecimento, como a variação espacial das temperaturas do ar (Bryan & Adams 2002; Silva 2003) para a Áustria.

Do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho das redes neurais artificiais (Moreira & Cecílio, 2007) e equações de regressão (Medeiros et al 2005) aplicadas na estimativa mensal e anual das temperaturas mínima, média e máxima do ar para a região Nordeste do Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS: Na comparação dos métodos de estimativa das temperaturas do ar foram utilizadas as Redes Neurais Artificiais desenvolvidas por Moreira e Cecílio (2007) e as equações de regressão propostas por Medeiros et al. (2005) (equações 1, 2 e 3).

$$TMED_i = A_0 + A_1 h + A_2 h^2 + A_3 \lambda + A_4 \lambda^2 + A_5 \phi + A_6 \phi^2 + A_7 h \phi + A_8 h \lambda + A_9 \phi \lambda \quad (1)$$

$$TMAX_j = B_0 + B_1 h + B_2 h^2 + B_3 \lambda + B_4 \lambda^2 + B_5 \phi + B_6 \phi^2 + B_7 h \phi + B_8 h \lambda + B_9 \phi \lambda \quad (2)$$

$$TMIN_k = C_0 + C_1 h + C_2 h^2 + C_3 \lambda + C_4 \lambda^2 + C_5 \phi + C_6 \phi^2 + C_7 h \phi + C_8 h \lambda + C_9 \phi \lambda \quad (3)$$

em que:

- TMED_i = temperaturas normais médias mensais (i = 1, 2, ..., 12) e anual (i = 13) estimadas
- TMAX_j = temperaturas normais máximas mensais (j = 1, 2, ..., 12) e anual (j = 13) estimadas
- TMIN_k = temperaturas normais mínimas mensais (k = 1, 2, ..., 12) e anual (k = 13) estimadas
- λ = longitude da estação (INMET) em graus e décimos (valores negativos)
- φ = latitude da estação em graus e décimos (valores negativos)
- h = altitude da estação em metros
- A_n, B_n, C_n = coeficientes das equações de regressão

Para a avaliação do desempenho das RNAs e das equações de regressão foram utilizados dados reais de temperaturas do ar mínimas, médias e máximas, em escala mensal e anual, coletados em 74 das 75 estações meteorológicas listadas nas normais climatológicas dos estados da região Nordeste, fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Brasil 1992). Apenas a estação de Fernando de Noronha não foi utilizada, por se localizar fora da parte continental do Brasil.

A avaliação consistiu em estimar, para cada uma das 74 estações, os valores das temperaturas médias, mínimas e máximas, utilizando-se tanto as RNAs quanto as equações de regressão. Os valores estimados foram então confrontados com os reais, sendo calculados os seguintes índices estatísticos: coeficiente de determinação (R²), erro absoluto máximo (EA_{máx}) e erro relativo médio (ERM) (equação 4).

$$ERM = \frac{100}{N} \left[\sum_{i=1}^N \left| \frac{O_i - E_i}{E_i} \right| \right] \quad (4)$$

em que:

ERM = Erro Relativo Médio;

E_i = valor estimado da variável;

O_i = valor real da variável; e

N = número de amostras das estações de teste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O Quadro 1 apresenta os valores de R^2 , ERM e $EA_{máx}$ calculados com a utilização das equações de regressão propostas por Medeiros et al. (2005) e pelas RNAs desenvolvidas por Moreira e Cecílio (2007).

A análise dos índices R^2 , ERM e $EA_{máx}$ calculados para a estimativa das temperaturas médias do mês de maio por meio das equações de regressão, leva a desconfiança de que houve algum equívoco de Medeiros et al. (2005) na apresentação dos coeficientes da equação de regressão para esse mês, já que o baixo valor de R^2 e os altos valores de ERM e $EA_{máx}$ são muito discrepantes em relação àqueles dos outros meses, não havendo uma correspondência climatológica que justifique tal desvio. Por este motivo, nas análises referentes ao Quadro 1 não foi considerado esse mês.

A análise do Quadro 1 permite verificar que a maioria dos valores de R^2 obtidos pelas RNAs foram superiores àqueles obtidos pelas equações de regressão propostas por Medeiros et al. (2005), que utilizaram todas as 74 estações meteorológicas para o ajuste. Apenas as RNAs relativas às temperaturas mínimas do ar no mês de janeiro, às temperaturas médias nos meses de janeiro e dezembro, e às temperaturas máximas em abril e maio apresentaram valores de R^2 inferiores aos obtidos pelos referidos autores.

Observa-se que, entre as 39 RNAs analisadas, 27 apresentaram menores ERM em relação às equações propostas por Medeiros et al. (2005). Os valores de ERM relativos às RNAs analisadas variaram entre 1,87 e 5,35%, enquanto para as equações propostas por Medeiros et al. (2005) a variação ocorreu entre 1,86 e 7,58%, evidenciando, portanto, que uma melhor estimativa das temperaturas do ar é obtida pelas RNAs.

Quanto ao $EA_{máx}$, verifica-se que este variou entre 1,16 e 2,85 °C para a estimativa da temperatura do ar pelas RNAs, enquanto, para as equações propostas por Medeiros et al. (2005), a variação foi de 1,35 a 6,35 °C. A menor amplitude e a baixa magnitude dos $EA_{máx}$ obtidos pelas RNAs, em relação às equações propostas por Medeiros et al. (2005), evidenciam a superioridade das RNAs analisadas na estimativa das temperaturas do ar para a região Nordeste do Brasil.

Quadro 1. Valores médios do coeficiente de determinação (R^2), erro relativo médio (ERM) e erro absoluto máximo ($EA_{máx}$) calculados a partir da aplicação das RNAs desenvolvidas por Moreira e Cecílio (2007) e das equações de regressão Medeiros et al. (2005) para as 74 estações analisadas.

Mês	RNAs			Equações de regressão		
	R^2	ERM	$EA_{máx}$ (°C)	R^2	ERM	$EA_{máx}$ (°C)
Temperaturas mínimas mensais						
Jan	0,81	3,36	1,64	0,82	2,74	1,54
Fev	0,87	2,37	1,16	0,84	2,31	1,65
Mar	0,82	2,59	1,40	0,70	3,13	1,72
Abr	0,83	2,49	1,35	0,82	2,54	1,50
Mai	0,81	3,31	2,23	0,63	7,02	4,14
Jun	0,79	4,51	2,36	0,72	4,54	3,31
Jul	0,83	4,46	2,25	0,71	5,25	3,61
Ago	0,78	5,35	2,83	0,68	5,98	3,64
Set	0,79	4,91	2,23	0,63	6,03	3,51
Out	0,81	3,81	2,23	0,71	4,90	3,67
Nov	0,76	4,32	2,30	0,61	5,10	4,36
Dez	0,86	3,05	1,76	0,77	3,33	3,70
Ano	0,88	2,84	1,34	0,85	2,59	1,87
Temperaturas médias mensais						
Jan	0,85	1,87	1,56	0,87	1,86	1,48
Fev	0,70	2,60	2,26	0,64	3,08	2,71
Mar	0,75	2,74	1,41	0,69	2,77	1,87
Abr	0,75	3,08	1,50	0,74	2,83	1,52
Mai	0,90	2,17	1,25	0,00	16,1	10,1
Jun	0,80	4,23	1,93	0,75	3,70	3,04
Jul	0,80	4,07	1,92	0,78	3,74	2,64
Ago	0,85	3,82	1,91	0,54	7,58	6,35
Set	0,86	3,48	1,65	0,79	3,76	2,41
Out	0,85	2,66	2,30	0,72	3,96	2,68
Nov	0,84	2,99	1,98	0,76	3,35	2,99
Dez	0,72	3,55	1,86	0,84	2,17	2,07
Ano	0,89	2,04	1,83	0,88	1,91	1,35
Temperaturas máximas mensais						
Jan	0,65	3,67	2,43	0,55	3,74	2,74
Fev	0,79	2,69	1,74	0,53	3,29	2,36
Mar	0,78	2,19	1,83	0,58	2,88	2,03
Abr	0,65	3,12	1,99	0,72	2,69	1,67
Mai	0,69	3,58	2,06	0,76	2,85	2,62
Jun	0,87	3,04	2,33	0,80	3,17	3,11
Jul	0,89	2,85	2,20	0,83	3,43	2,72
Ago	0,90	3,14	1,61	0,79	3,66	4,59
Set	0,85	3,64	2,23	0,66	4,83	5,42
Out	0,85	3,15	2,39	0,72	4,10	2,99
Nov	0,80	3,67	2,32	0,75	4,11	2,76
Dez	0,85	2,71	1,81	0,75	3,49	2,58
Ano	0,90	2,25	1,18	0,75	3,10	2,54

Conclusões:

A análise dos resultados permite concluir que as RNAs desenvolvidas por Moreira e Cecílio (2007) obtiveram melhor desempenho na estimativa das temperaturas mínimas, médias e máximas do ar quando comparadas às equações de regressão desenvolvidas por Medeiros et al. (2005).

Referência Bibliográficas:

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

BRYAN, B.A.; ADAMS, J.M. Three-dimensional neuro-interpolation of annual mean precipitation and temperature surfaces for China. **Geographical Analysis**, v.34, n.2, p.94-111, 2002.

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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.247-255, 2005.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A. Estimativa das temperaturas do ar utilizando redes neurais artificiais para a Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2007 (no prelo)

OLIVEIRA NETO, S.N.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; LEITE, H.G.; COSTA, J.M.N. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1-4, p.57-61, 2002.

SÁRKÖZY, F. Gis functions – Interpolation. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, v.43, p.63-86, 1999.

SILVA, A. **Neural Networks application to spatial interpolation of climate variables**. Report of STSM – Short Term Scientific Mission in ZAMG - Vienna, Austria, 2003. (<http://cost719.met.no/papers>, acesso em: 12-07-2006)