

MODELOS PARA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DO AR NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

D. P. Gomes¹, D. F. Carvalho², D. H. Oliveira Neto³, C. A. B. Santos³, A. D. Oliveira⁴

RESUMO: O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de gerar modelos de regressão múltipla, visando à estimativa das temperaturas mínimas, máximas e médias mensais e média anual, para o estado do Rio de Janeiro, tendo como variáveis independentes a latitude, longitude e altitude. Foram utilizados dados de temperatura do ar de 37 estações meteorológicas pertencentes ao INMET, sendo 31 localizadas no estado do Rio de Janeiro, 4 em Minas Gerais, 1 em São Paulo e 1 no Espírito Santo. Os modelos foram selecionados com base no nível de significância dos seus coeficientes e nos coeficientes de regressão ajustados. Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que: a altitude e latitude foram as variáveis que mais influenciaram na estimativa das temperaturas, estando a primeira, presente em todos os modelos gerados; e que a análise de desempenho dos modelos mostrou que os valores de temperatura do ar estimados não diferiram estatisticamente dos valores medidos.

PALAVRA CHAVE: Simulação da temperatura, modelos de estimativa, elementos climáticos

MODELS TO ESTIMATE THE AIR TEMPERATURE IN THE RIO DE JANEIRO STATE, BRAZIL

ABSTRACT: This work was carried out in order to generate multiple regression models to estimate the minimum, maximum and medium monthly and annual medium air temperature, for the Rio de Janeiro State, Brazil, using data of geographical coordinates and elevation. They were considered air temperature data of 37 meteorological station, being 31 located in Rio de Janeiro State, 4 in Minas Gerais State, 1 in São Paulo State and 1 and Espírito Santo State. The models were selected with base in the significance level and the adjusted regression

¹ Estudante de Agronomia na UFRRJ. Bolsista de IC da FAPERJ (danielagomesagro@hotmail.com).

² Depto. de Engenharia/Instituto de Tecnologia/UFRRJ. BR 465, km 7, Seropédica-RJ. CEP 23890-000. Bolsista do CNPq (carvalho@ufrj.br).

³ Agrônomo. Mestrando em Fitotecnia na UFRRJ. BR 465, km 7, Departamento de Engenharia/IT/UFRRJ, Seropédica-RJ(dionizioneto@ufrj.br e carlos-ufrj@bol.com.br).

⁴ Bolsista Pós-doutoramento da FAPERJ. Depto. de Engenharia/Instituto de Tecnologia/UFRRJ (alexsandrado@yahoo.com.br).

coefficients. The results obtained allowed to conclude that the elevation and latitude were the variables that most influenced in the estimate of temperature; and the performance analyses of models showed that the air temperature estimates values were not statistically different of the measured values.

KEYWORDS: Simulation of temperature, estimative models, climatic elements.

INTRODUÇÃO

Diversos estudos têm mostrado que o bom desenvolvimento das culturas agrícolas não está associado apenas aos fatores solo e planta, mas principalmente, aos fatores climáticos (ALLEN et al., 1998). Sendo assim, o estudo do clima de uma região apresenta grande importância na determinação de épocas de plantio, zoneamento agrícola, necessidade hídrica dos cultivos, etc.

Dentre os elementos climáticos que mais afetam direta e significativamente a agricultura está a temperatura (LIMA & RIBEIRO, 1998). No entanto, a obtenção de dados confiáveis de temperatura em nível regional para o estudo da disponibilidade térmica se torna um problema quando as estações meteorológicas, que nem sempre são em número satisfatório, não estão adequadamente distribuídas em determinadas regiões.

De acordo com STAHL et al. (2006), a temperatura do ar é uma das mais importantes variáveis de entrada em modelos ambientais, os quais necessitam de informações espaciais de variáveis climáticas, incluindo a temperatura do ar, principalmente em áreas com distribuição irregular das informações. Neste contexto, buscando-se minimizar os efeitos da escassez de estações meteorológicas, vários autores vêm desenvolvendo modelos matemáticos para estimar a temperatura por meio de análises de regressão (múltiplas) com boa precisão, sendo essas dependentes de diferentes variáveis fisiográficas. Segundo STAHL et al. (2006), dependendo da escala de interesse, além das coordenadas geográficas, a altitude do terreno é o mais importante fator na variação da temperatura.

Apesar de já terem sido realizados em diversos estados e regiões brasileiras, não foi verificada a existência de trabalhos dessa natureza para o estado do Rio de Janeiro. Assim, realizou-se este estudo com objetivo de gerar equações de regressão múltiplas para estimar a temperatura do ar mínima, máxima e média mensal e anual para o estado do Rio de Janeiro, utilizando coordenadas geográficas e altitude.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado para o Estado do Rio de Janeiro, considerando dados de temperatura do ar provenientes de estações meteorológicas cadastradas no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Em função da quantidade e qualidade dos dados e visando a obtenção de um melhor ajuste espacial, foram selecionadas 31 estações no Estado do Rio de Janeiro, 4 em Minas Gerais, 1 no Espírito Santo e 1 em São Paulo.

Com base nas informações de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e altitude, foram realizadas análises de regressão múltipla a fim de obterem modelos matemáticos, tendo as variáveis citadas acima como independentes e as temperaturas médias mensais mínima, máxima e média, além da média anual, como variáveis dependente. A equação 1 apresenta o modelo quadrático geral utilizado:

$$T_i = A_0 + A_1 ALT + A_2 LAT + A_3 LONG + A_4 ALT^2 + A_5 LAT^2 + A_6 LONG^2 + A_7 ALT LAT + A_8 ALT LONG + A_9 LAT LONG \quad (1)$$

em que:

T_i - temperaturas mensais (médias, máximas e mínimas) ($i = 1, 2, \dots, 12$) e anual ($i = 13$) estimadas;

ALT - altitude da estação em metros;

LONG - longitude da estação em graus decimais (valores negativos);

LAT - latitude da estação em graus decimais (valores negativos); e

A_i - coeficientes da equação de regressão.

As análises de regressão múltipla foram realizadas utilizando o programa computacional SAEG 9.0 (Fundação Arthur Bernardes, 2005) para todos os meses e também para o ano, sendo os coeficientes A_i obtidos pelo método dos mínimos quadrados. Foram realizados testes “t” de Student para avaliar a significância dos coeficientes das equações de regressão (A_i). Para cada variável estudada, foram selecionados os modelos com o menor número de variável independente, considerando ainda o nível de significância dos coeficientes e o coeficiente de regressão ajustado.

A fim de verificar o grau de ajustamento entre os valores de temperatura medidos e os estimados pelos modelos, foram geradas equações de regressão linear simples ($Y = \beta_0 + \beta_1 X$) e calculados o erro-padrão da estimativa (SEE), o índice de concordância (d) e o índice de

desempenho (c), conforme metodologia apresentada por CAMARGO & SENTELHAS (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de agrupamento foi possível observar uma tendência de formação de dois grupos (ou cluster) distintos. Entretanto, para um deles, as localidades aparentemente semelhantes, pertenciam a regiões diferentes dentro do Estado. Este resultado corrobora com o encontrado por MEDEIROS et al. (2005), que ao tentarem separar a região nordeste do Brasil em sub-regiões com características homogêneas, foi verificado que um dos grupos apresentou estações muito dispersas dentro da região, impossibilitando a divisão da região nordeste em sub-regiões homogêneas. Assim, no presente trabalho, os modelos foram gerados considerando todas as 37 estações selecionadas.

Os coeficientes das equações de regressão ajustadas para a estimativa das temperaturas do ar mínima, máximas e médias mensais, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ajustados (R^2) estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes das equações de regressão para estimativa dos valores mensais de temperatura mínima, máximas e médias do ar, com seus respectivos coeficientes de determinação ajustados (R^2), para o estado do Rio de Janeiro

Mês	R^2	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
A. Temperatura Média						
Jan	0,81	26,5975	-0,00527500*	ns	ns	ns
Fev	0,83	26,9591	-0,00548183*	ns	ns	ns
Mar	0,87	26,4115	-0,00569252*	ns	ns	ns
Abr	0,87	24,5856	-0,00595863*	ns	ns	ns
Mai	0,88	22,5471	-0,00626482*	ns	ns	ns
Jun	0,86	21,2817	-0,00641327*	ns	ns	ns
Jul	0,88	21,0177	-0,00939487*	ns	ns	0,000003244**
Ago	0,87	21,7612	-0,00586549*	ns	ns	ns
Set	0,79	22,6755	-0,00537156*	ns	ns	ns
Out	0,82	30,4637	-0,00486093*	0,315306**	ns	ns
Nov	0,81	28,4863	-0,00481125**	0,184183**	ns	ns
Dez	0,79	25,5804	-0,00504286*	ns	ns	ns
Ano	0,89	23,9067	-0,00558916*	ns	ns	ns
B. Temperatura Máxima						
Jan	0,59	31,4368	ns	ns	ns	-0,0000053221*
Fev	0,60	31,9998	ns	ns	ns	-0,0000053488*
Mar	0,65	45,3354	ns	0,627498**	ns	-0,0000056727*
Abr	0,71	45,7643	ns	0,742747*	ns	-0,0000056653*
Mai	0,70	43,4442	ns	0,719189*	ns	-0,0000055289*

Mês	R ²	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Jun	0,66	39,8670	ns	0,609143**	ns	-0,0000052858*
Jul	0,65	39,1912	ns	0,594384**	ns	-0,0000052268*
Ago	0,60	31,7230	ns	1,240820*	-0,540127**	-0,0000057508*
Set	0,57	38,5515	0,00662467**	0,539709**	ns	-0,0000126751*
Out	0,51	31,9120	ns	1,469520*	-0,672905**	-0,0000052810*
Nov	0,57	31,4716	ns	1,318730*	-0,631408**	-0,0000055372*
Dez	0,60	26,8952	ns	0,701557**	-0,446506**	-0,0000060548*
Ano	0,62	40,7515	ns	0,534905**	ns	-0,0000052398*

C. Temperatura Mínima						
Jan	0,82	22,1889	-0,00574974*	ns	ns	ns
Fev	0,83	22,5246	-0,00629381*	ns	ns	ns
Mar	0,81	21,9675	-0,00626286*	ns	ns	ns
Abr	0,80	20,6829	-0,00647892*	ns	ns	ns
Mai	0,77	18,5872	-0,01256800*	ns	ns	0,0000060311**
Jun	0,79	17,2275	-0,01404410*	ns	ns	0,0000071803*
Jul	0,80	16,6698	-0,01447770*	ns	ns	0,0000075334*
Ago	0,83	17,3624	-0,01327320*	ns	ns	0,0000064793*
Set	0,89	18,3958	-0,00987451*	ns	ns	0,0000036775**
Out	0,84	19,5707	-0,00855060*	ns	ns	0,0000033588**
Nov	0,79	20,3354	-0,00563854*	ns	ns	ns
Dez	0,83	21,4429	-0,00582084*	ns	ns	ns
Ano	0,82	19,5673	-0,00654239*	ns	ns	ns

* significativo a nível de 1% de probabilidade; ** significativo a nível de 5% de probabilidade; ns – não significativo a nível de 5% de probabilidade.

Os modelos gerados para estimar a temperatura média do ar apresentaram coeficientes de determinação ajustados variando entre 0,79 e 0,89. O período de março a agosto apresentou os maiores coeficientes de determinação ajustados coincidindo com o período seco no estado do Rio de Janeiro, sendo este comportamento também observado para a temperatura máxima. Observa-se que a componente linear da altitude (coeficiente A₁) foi significativo a 1% de probabilidade para todos os meses do ano, com exceção do mês de novembro e do mês de julho (coeficiente A₄). A variável latitude só se mostrou significativa ao nível de 5% de probabilidade e para os meses de outubro e novembro.

As equações de regressão geradas para estimar as temperaturas do ar máximas mensais apresentaram coeficientes de determinação, entre 0,51 e 0,71, menores que os apresentados para estimar temperatura do ar média e mínima.

Os modelos gerados para estimativa da temperatura mínima do ar apresentaram coeficientes R² variando de 0,77 e 0,89, sendo a variável altitude a única que se apresentou significativa a 1% de probabilidade em todos os meses do ano na componente linear. O coeficiente da componente quadrática foi significativo nos meses de maio a outubro.

Também foi realizada a análise de desempenho dos modelos com base na comparação dos valores de temperatura estimados com os medidos nas estações. Utilizando a classificação proposta por CAMARGO & SENTELHAS (1997), foi possível constatar que, de um modo geral, o desempenho dos modelos foi satisfatório, apresentando os melhores índices para os modelos de estimativa das temperaturas mínimas e médias. Em concordância com os resultados apresentados na Tabela 1, os menores índices de desempenho foram obtidos para os modelos de estimativa da temperatura máxima, principalmente para o mês de outubro que apresentou desempenho mediano.

CONCLUSÕES

A variável altitude se apresentou como a variável mais significativa na estimativa da temperatura do ar independente da época do ano, enquanto a latitude foi a coordenada geográfica que melhor se ajustou à temperatura máxima, indicando a influência da posição geográfica na estimativa desta variável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper 56, 1998. 301 p.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.5, n.1, p.89-97. 1997.

FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES. **Sistema para análises estatísticas: SAEG 9.0**. Viçosa, 2005. 1 CD-ROM.

LIMA, M. G. & RIBEIRO, V. Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 221-227. 1998.

STAHL, K.; MOORE, R.D.; FLOYER, J.A.; ASPLIN, M.G.; McKENDRY, I.G. Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density. **Agricultural and Foresty Meteorology**, Amsterdam, 139 (2006). p. 224-236.