

**ANÁLISE TEMPORAL DA TEMPERATURA DO AR EM BOTUCATU - SP**

**Clóvis Manoel Carvalho Ramos<sup>1</sup>, Célia Regina Lopes Zimback<sup>2</sup>, Alessandra Fagioli da Silva<sup>3</sup>, Anderson Antonio da Conceição Sartori<sup>4</sup>, Luís Henrique Basso<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Doutorando em Agronomia / Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônomicas / Universidade Estadual Paulista / GEPAG – [clovisramos@fca.unesp.br](mailto:clovisramos@fca.unesp.br).

<sup>2</sup>Professora, Faculdade de Ciência Agrônoma, Universidade Estadual Paulista / GEPAG [czimback@gmail.com.br](mailto:czimback@gmail.com.br).

<sup>3</sup>Mestranda em Agronomia/Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista / GEPAG, [alefagioli@fca.unesp.br](mailto:alefagioli@fca.unesp.br).

<sup>4</sup>Mestrando em Agronomia/Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista / GEPAG, [sartori80@gmail.com](mailto:sartori80@gmail.com).

<sup>5</sup>Pesquisador, Embrapa Semi-Árido, [lhbasso@cpatsa.embrapa.br](mailto:lhbasso@cpatsa.embrapa.br)

**Resumo** - Este trabalho teve como objetivo estudar a distribuição temporal da variação da temperatura do ar na cidade de Botucatu-SP, utilizando técnicas geoestatísticas. Entre os dados horários de temperatura do ar de 2001 foram selecionados três conjuntos de dados: T0-8-16, com observações de temperatura as 0, 8 e 16 horas; T2-10-18, com observações de temperatura as 2, 10 e 18 horas; e T4-12-20 com observações de temperatura as 4, 12 e 20 horas, respectivamente. Todos os dados de temperatura do ar apresentaram dependência temporal. A temperatura estimada do modelo T4-12-20 foi o que se aproximou da temperatura do ar real observada.

**Palavras-chave:** geoestatística, krigagem

**TEMPORAL ANALYSIS OF AIR TEMPERATURE IN BOTUCATU, BRAZIL**

**Abstract** - This work aimed to study the temporal distribution of the air temperature variation of Botucatu, São Paulo State, Brazil, using geostatistic techniques. Data of air temperature in 2001, hourly measured, were arranged in three groups: T0-8-16, the temperature measured at 0, 8 and 16 hours, T2-10-18, the temperature measured at 2, 10 and 18 hours and T4-12-20 the temperature measured at 4, 12 and 20 hours. All data of air temperature evidence temporal dependence. The air temperature estimated by the model T4-12-20 was the closest to the actual air temperature measured.

**Key words:** geostatistics, kriging

**Introdução**

Uma das grandes preocupações da comunidade científica, na última década, diz respeito às alterações climáticas e suas conseqüências para a humanidade. A temperatura é um dos elementos climáticos mais diretamente relacionados à produção agrícola, devido ao seu caráter aleatório, aumentando, em conseqüência, os riscos na programação das atividades do setor agrícola (MELO JUNIOR et al, 2006).

De modo geral, a variabilidade climática anual é bem caracterizada e está associada às estações do ano. Em latitudes médias é marcante o contraste entre as estações do ano, porém, nos trópicos, essa variabilidade é menos acentuada em termos de temperatura do ar, sendo expressiva quando se considera a precipitação (GURGEL, 2003).

No Estado do Rio Grande do Sul, a temperatura do ar foi objeto de estudos de identificação de regiões homogêneas (DINIZ et al., 2003) e de estimativas de probabilidade usando funções de distribuição de probabilidade teóricas (ESTEFANEL et al., 1995; MOTA et al., 1999). Além destes, aplicações de estudos de probabilidade em cultivos agrícolas (ESTEFANEL et al., 1994), têm sido realizados. Ainda, o tamanho de amostra para estimativa de temperatura mínima (CARGNELUTTI FILHO et al., 2006) e temperatura máxima do ar (CARGNELUTTI FILHO et al., 2006) tem sido investigado.

Dentre as técnicas estatísticas usadas para análise e interpretação de dados climáticos, encontra-se a geoestatística, que tem como característica principal a análise da distribuição espacial e/ou temporal entre as observações, determinando, por meio do variograma, a distância ou período de tempo de dependência entre elas. CARDIM (2001) realizou o mapeamento multivariado das principais variáveis climáticas de

interesse agrícola do Estado de São Paulo e a geoestatística permitiu analisar a variabilidade espacial dos índices climáticos obtidos.

Este trabalho teve como objetivo estudar a variação da temperatura do ar na cidade de Botucatu-SP utilizando diferentes horários de medida, visando a estimativa da temperatura, utilizando técnicas de análise temporal.

## Material e Métodos

Os dados de temperatura foram coletados em 2001 na Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, campus de Botucatu-SP. A fazenda situa-se na latitude de 22° 51' S, e na longitude de 48° 26' W, com 786 metros de altitude, com temperatura média diária do mês mais frio (julho) de 17,1 °C e a do mês mais quente (fevereiro) de 23,3 °C, e com precipitação média anual de 1314 mm. O clima da região é do tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico), de acordo com a classificação de Köppen (CUNHA et al, 1999). Os dados de temperatura média horária do ar (T24) foram analisados, utilizando a técnica de geoestatística. A partir de dados de temperatura do ano de 2001 foram selecionados dados pontuais com intervalos de oito horas entre cada observação para cada dia do ano. Desta forma foram analisados três conjuntos de dados variando a hora da primeira observação: T0-8-16, com observações de temperatura as 0, 8, 16 horas; T2-10-18, com observações de temperatura as 2, 10, 18 horas; e T4-12-20 com observações de temperatura as 4, 12, 20 horas, respectivamente. Para os pontos não coletados, por falha do equipamento, foram mantidas as coordenadas do eixo horizontal e vertical sem valor de temperatura. Inicialmente, verificou-se a presença de pontos discrepantes (*outliers*), na seqüência, uma análise descritiva dos dados para determinação das estatísticas: média; mediana; valor mínimo e máximo; desvio-padrão; coeficientes de variação, assimetria e curtose. A análise geoestatística foi realizada com intuito de verificar a existência e quantificar o grau de dependência temporal entre as observações, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada pela equação abaixo, segundo Vieira et al., (1983). As variâncias foram calculadas pela equação (1):

$$\gamma^*(h) = \left( \frac{1}{2N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que:  $\gamma^*(h)$  é a variância para um vetor  $h$  (dias);  $Z(x)$  e  $Z(x+h)$  são os pares de observações de temperatura, separados pelo vetor  $h$  (dias);  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(x)$ ,  $Z(x+h)$ , separados por um vetor  $h$ . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\gamma^*(h)$ , são estimados os coeficientes efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ) e o alcance ( $a$ ) do modelo teórico para o variograma. Os modelos foram ajustados pelo programa GS+ 7.0 (ROBERTSON, 2004), considerando a menor soma do quadrado dos resíduos, o maior coeficiente de determinação  $R^2$  e pelo coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada. Em seguida, os variogramas foram escalonados pela variância dos dados, como descrito por Vieira (1983). Para verificar a dependência temporal foi utilizado um índice de dependência temporal (IDT) adaptado da metodologia proposta por Zimback (2001). Comprovada a dependência temporal realizou-se interpolação para estimar valores de temperatura com intervalo de uma hora, utilizando o método da krigagem ordinária, para construção do mapa. A fim de verificar a exatidão dos dados estimados foi confeccionado um mapa com a diferença entre a temperatura estimada e a temperatura observada para cada hora do dia e em cada conjunto de dados selecionado, utilizando o Sistema de Informação Geográfica, Idrisi - Andes.

## Resultados e Discussão

Os resultados da análise descritiva da temperatura do ar em Botucatu-SP estão apresentados na Tabela 1. Para todas as variáveis estudadas, os valores das medidas de tendência central (média e mediana) foram próximos, indicando distribuições simétricas, o que se confirma pelo valor de assimetria próximo de zero. Observando os valores de temperatura máxima e mínima o conjunto de dados T4-12-20 foi o que registrou valores mais próximos aos registrados no T24, para ambas as estatísticas. As temperaturas do ar medidas de hora em hora (T24) apresentaram maior amplitude e conseqüentemente maior coeficiente de variação. O coeficiente de variação apresentou valor médio ( $60\% > CV > 12\%$ ) para o conjunto de dados, de acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980). Todos os conjuntos de dados apresentaram distribuição normal de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos dados de temperatura do ar em Botucatu em 2001

Atributos	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	s	CV	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>	d
T24	8447	21,27	21,24	5,44	32,21	4,33	20,36	0,03	0,05	0,018 <sup>ns</sup>
T0-8-16	1057	21,49	21,31	7,63	32,03	4,29	19,96	0,07	0,15	0,030 <sup>ns</sup>
T2-10-18	1016	21,14	21,42	5,54	29,36	3,90	18,45	0,08	0,15	0,033 <sup>ns</sup>
T4-12-20	1053	21,24	21,27	5,84	30,84	4,31	20,29	0,07	0,15	0,028 <sup>ns</sup>

T24: observações da temperatura de hora em hora; T0-8-16: observações da temperatura as 0, 8 e 16 horas; T2-10-18: observações da temperatura as 2, 10 e 18 horas; T4-12-20: observações da temperatura as 4, 12 e 20 horas; n: número de observações; s: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação (%); C<sub>s</sub>: coeficiente de assimetria; C<sub>k</sub>: coeficiente de curtose; d = teste de normalidade, ns: não significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

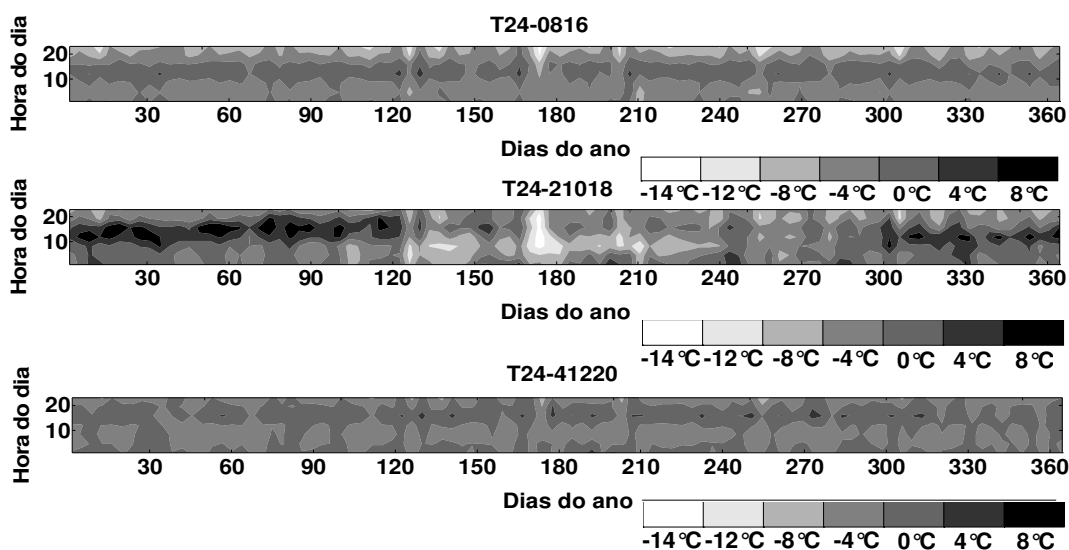
Os resultados da análise geoestatística (Tabela 2) indicam que os dados de temperatura apresentaram dependência temporal, ajustando-se ao modelo esférico. Os pontos localizados num tempo menor ou igual ao alcance são mais similares e estão dependentes entre si, em relação tempo. O maior alcance foi encontrado para o T2-10-18 (A<sub>o</sub>=20,36 h), mostrando que temperaturas coletadas nesses pontos mascararam a variação da temperatura ao longo do dia, em comparação com T24. O índice de dependência temporal para o conjunto de dados apresentou alta dependência temporal (IDT ≥ 75%) para todos os conjuntos de dados exceto o T2-10-18 que apresentou dependência moderada (25% ≤ IDT < 75%).

**Tabela 2.** Modelos e parâmetros dos variogramas escalonados da temperatura do ar

Atributos	Modelo	A <sub>o</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	R <sup>2</sup>	IDT	RCV
T24	Esférico	11,54	0,0368	0,8745	99	96	0,91
T0-8-16	Esférico	23,3	0,2066	0,9494	87	78	0,71
T2-10-18	Esférico	20,36	0,2631	0,8431	95	69	0,68
T4-12-20	Esférico	12,57	0,0327	0,8747	81	96	0,79

T24: observações da temperatura de hora em hora; T0-8-16: observações da temperatura as 0, 8 e 16 horas; T2-10-18: observações da temperatura as 2, 10 e 18 horas; T4-12-20: observações da temperatura as 4, 12 e 20 horas; A<sub>o</sub>: alcance da dependência temporal (horas); C<sub>0</sub>: efeito pepita; C<sub>0</sub>+C: patamar; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação múltipla do ajuste; IDT: índice de dependência temporal (IDT) adaptado da metodologia proposta por Zimback (2001); RVC: coeficiente de correlação da validação cruzada.

De acordo com os mapas (Figura 1), a estimativa do modelo T4-12-20 registrou um erro que variou de 4 °C, para mais e para menos em relação a temperatura observada, enquanto no modelo T0-8-16 chegou a 8 °C no erro da estimativa. O modelo T2-10-18, que apresentou maior erro na estimativa da temperatura do ar registrou erro de até 14 °C abaixo da temperatura observada e 8 °C acima da temperatura observada. Apesar da variação de quatro graus centígrados o modelo gerado apartir do registro de temperatura do ar T4-12-20 foi o que apresentou melhor resultado entre os horários de registro analisados.



**Figura 1.** Mapa das diferenças da temperatura do ar entre o modelo T24 e os modelos dos demais pontos de amostragem.

## Conclusão

Todos os dados de temperatura do ar apresentaram dependência temporal. Dentre os modelos testados, em função dos horários de medida da temperatura, o modelo gerado a partir das medidas T4-12-20 foi o que apresentou menor erro em relação a temperatura do ar real observada. O horário de observação da temperatura se mostrou uma importante variável para a análise e interpolação dos dados de temperatura ao longo do dia, utilizando geoestatística.

## Agradecimentos

Ao Departamento de Ciências Ambientais, FCA UNESP Botucatu, pelos dados fornecidos.

## Referências

- CARDIM, M. **Mapeamento do comportamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do estado de São Paulo**. 2001. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 2001.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; MALUF, J.R.T. Variabilidade temporal e espacial do tamanho de amostra da temperatura mínima do ar no Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1156- 1163, 2006.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; MALUF, J.R.T. Variabilidade temporal e espacial do tamanho de amostra para estimativa das médias mensais de temperatura máxima do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.14, n.1, p.76-84, 2006.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; MALUF, J.R.T.; RIBEIRO, N.D.; TRINDADE, J.K. DA; SAWASATO, J.T.; STOLZ, A.P. Temperaturas máximas prejudiciais ao feijoeiro no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p.1019-1026, 2005.
- CUNHA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: Simpósio em Energia na Agricultura, 1. 1999. Botucatu – SP: **Anais**. Botucatu: FCA/UNESP, 1999, v.1, p. 487-490.
- DINIZ, G.B.; BERLATO, M.A.; CLARKE, R.T.; FONTANNA, D.C. Identificação de regiões homogêneas de temperaturas máxima e mínima do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.303-312, 2003.
- ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A. Probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas do ar prejudiciais aos cultivos agrícolas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, n.1, p.57-63, 1994.
- ESTEFANEL, V.; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M. Estimativa da duração da temperatura do ar acima de determinados níveis térmicos em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, n.1, p.121-127, 1995.
- GURGEL, H. C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)–Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.
- MELO JUNIOR, J. C. F. et al. Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.02, 2006.
- MOTA, F.S. da; ROSSKOFF, J.L.C.; SILVA, J.B. da. Probabilidade de ocorrência de dias com temperaturas iguais ou superiores a 35°C no florescimento do arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.147-149, 1999.
- ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User’s Guide**. Plainwell, **Gamma Desing Software**, 152 p, 2004.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.
- WARRICK, A.W., NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 385 p.
- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 p. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia), FCA/UNESP, 2001.