

VARIABILIDADE TEMPORAL DOS DADOS DE TEMPERATURA DO AR EM BOTUCATU - SP

Clóvis Manoel Carvalho Ramos¹; Alessandra Fagioli da Silva¹; Anderson Antonio da Conceição Sartori¹; Célia Regina Lopes Zimback¹; Luis Henrique Basso²

(1) Universidade Estadual Paulista – UNESP/BOTUCATU
(2) Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas - GEPAG
CEP 18610-307 – Botucatu – SP, Brasil
Embrapa Semi-Árido CEP 56302-970, Petrolina-PE
clovisramos@fca.unesp.br

RESUMO: A possibilidade de estimar a variação horária da temperatura do ar com base em poucos registros ao longo do dia motivou este trabalho que visa estudar a variabilidade temporal da temperatura do ar em Botucatu-SP, a fim de obter os melhores horários para a sua estimativa. Os dados de temperatura do ar utilizados foram provenientes da Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas-UNESP. O período analisado foi o janeiro de 2001 a dezembro de 2005. Os dados foram divididos em cinco grupos de horários de medida, variando a hora da primeira: medida as 0, 6, 12, 18 horas; medida as 2, 8, 14, 20 horas; medida as 4, 10, 16, 22 horas; medida as 6, 12, 18 horas; medida as 9, 15, 21 horas. Os dados foram avaliados por meio da estatística clássica e geoestatística. Foi verificada dependência temporal entre as medidas de temperatura do ar ao longo do dia com alcance de 12 horas. O horário das medidas de temperatura do ar é uma variável importante para o ajuste do modelo que interpola a variação de temperatura do ar ao longo do dia. As medidas com início às duas horas e às quatro horas, com intervalos de seis horas, fornecem estimativas com menor erro. A estimativa com base nas medidas as 9,15, 21 horas foi o que apresentou maiores erros.

Palavras chave: geoestatística, mapeamento e krigagem

TEMPORAL VARIABILITY OF AIR TEMPERATURE IN BOTUCATU, BRAZIL

ABSTRACT: The possibility to estimate the hourly variation of air temperature based on few records to the long day that motivated this work, that aims to study the temporal variability of air temperature in Botucatu, State of São Paulo, Brazil, to obtain the best record times to estimate the air temperature throughout the day. The hourly air temperature data used in this study were recorded in the weather station at Lageado Farm, College of Agricultural Sciences, São Paulo State University. The analyzed period was from January 2001 to December 2005. The data were divided in five groups of measurement time, varying the time of the first record: records at 0, 6, 12, 18 hours, records at 2, 8, 14, 20 hours, records at 4, 10, 16, 22 hours, records at 6, 12, 18 hours, records at 9, 15, 21 hours. The data were evaluated by means of classical statistics and geostatistics. There is time dependence among measurements of air temperature throughout the day to reach 12 hours. The timing of air temperature record is an important variable for the model adjustment that interpolates the air temperature variation throughout the day. It was noted that measures starting two hours and four hours, with intervals of six hours among them, are the best times to estimate the variation of weather variable during the day. The records at 9, 15, 21 hours, produced the estimation with highest errors.

Keywords: geostatistics, mapping and kriging

INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento das variáveis climáticas, como a temperatura do ar, é um importante instrumento na tomada de decisões relacionadas às atividades agropecuárias (Cargnelutti Filho e col., 2006). A temperatura do ar é um fator importante que afeta o comportamento germinativo das sementes. A faixa de 20 a 30°C mostra-se adequada para a germinação de grande número de espécies subtropicais e tropicais (Borges e Rena, 1993). A temperatura do ar interfere na atividade fotossintética das plantas, uma vez que envolve reações bioquímicas, cujos catalisadores, as enzimas, são dependentes da temperatura para expressar sua atividade máxima. O excesso de calor afeta, negativamente, vários caracteres das plantas e, como consequência, há redução da produtividade. Para cada fase de desenvolvimento da planta existe uma faixa de temperatura ótima.

A temperatura do ar influencia no manejo da irrigação, na aplicação de defensivos agrícolas e de adubos, como os nitrogenados.

Em estudos que exijam o conhecimento das temperaturas do ar ao longo do dia, nem sempre existem estações meteorológicas automáticas, próximas o suficiente para permitir observar o valor desta variável climática.

É comum o uso da média amostral como medida para caracterizar um conjunto de dados, porém a importância da variabilidade dos dados influencia na precisão de tal estimativa. Assim, um conjunto de dados com pouca variabilidade (homogêneo) necessitará de um menor tamanho de amostra para representar os mesmos, quando comparados a um grupo de dados heterogêneos (Cargnelutti Filho e col., 2006).

O estudo da variabilidade temporal da temperatura do ar permite definir o grau de correlação temporal das amostras e tem-se apresentado como uma poderosa ferramenta de aplicação prática, permitindo estimar temperatura do ar com variância mínima (Silva e col., 2003). O conhecimento da variabilidade da temperatura do ar dá suporte a qualquer atividade econômica e limita os impactos dos distúrbios no ambiente físico e dimensões humanas correlatas (Cano e Brandão, 2002).

Existem vários métodos disponíveis para criar superfícies contínuas a partir de amostra de dados espaciais. Diferentemente de métodos determinísticos, a geoestatística usa uma abordagem estocástica e um modelo de variação espacial/temporal de propriedades. Inicialmente a geoestatística era utilizada para a estimativa de recursos minerais e reservas (Krige, 1951; Matheron 1965; 1971), posteriormente foi difundido o seu uso para outras áreas do conhecimento. A geoestatística está baseada no pressuposto de que as medições próximas, no espaço ou no tempo, tendem a apresentar valores mais dependentes do que aquelas medições mais afastadas.

Diversos trabalhos têm demonstrado que observações vizinhas, de variáveis do solo apresentam correlação ou dependência espacial (Vieira e col., 1983; Prevedello, 1987; Scott e col., 1994; Cambardella e col., 1994; Cahn e col., 1994; Paz e col., 1996; Souza, 1999). Outros trabalhos têm evidenciado que observações vizinhas de atributos da planta também não são aleatórias, ou seja, não variam ao acaso, e seguem comportamento espacial (Tabor e col., 1984; Vieira e col., 1997; Mulla, 1993; Salviano e col., 1995).

A estimativa da dependência entre amostras vizinhas no espaço pode ser realizada através da autocorrelação que é de grande utilidade quando se está fazendo amostragem em uma direção. Quando a amostragem envolve duas direções (x, y) o instrumento mais indicado na estimativa da dependência entre amostras é o variograma (Silva, 1988).

Na maioria das vezes, o interesse da análise geoestatística não se limita à obtenção de um modelo de dependência espacial, desejando-se também prever valores em pontos não amostrados. O interesse pode ser em um ou mais pontos específicos da área ou obter uma malha de pontos interpolados que permitam visualizar o comportamento da variável na região através de um mapa de isolinhas ou de superfície. Para se obter esse maior detalhamento da área em estudo é necessária a aplicação de um método de interpolação, como a krigagem (Silva Junior, 1984).

No método da krigagem, os pesos são atribuídos de acordo com a variabilidade espacial/temporal expressa no variograma (Vieira, 1998). No entanto, o que torna a krigagem um interpolador ótimo é a maneira como os pesos são distribuídos, não sendo tendencioso, tendo variância mínima e possibilitar que se conheça a variância da estimativa (Webster e Oliver, 1990).

É importante determinar o tamanho ótimo de amostra (número de observações por dia) necessário para estimar a temperatura do ar ao longo do dia, e para isso, a variabilidade temporal e espacial deve ser considerada. Ao se determinar o tamanho da amostra, em um determinado local e época do ano, necessário para caracterizar uma determinada variável, é preciso estabelecer um erro máximo aceitável com um determinado grau de confiança.

Nas estações agrometeorológicas convencionais do Brasil, existem registros de temperatura do ar em três horários (9, 15 e 21 horas), tomando como base o padrão de Greenwich, que registra a temperatura do ar às 6, 12 e 18. A diferença quanto às horas de registros deve-se ao fuso horário. Com base na tomada de temperatura do ar nestes horários, poderiam ser gerados modelos que estimem a variação horária da temperatura do ar durante o dia. Assim sendo, este trabalho tem por objetivo estudar a variabilidade temporal da temperatura do ar em Botucatu-SP, utilizando técnicas geoestatísticas, a fim de conhecer os melhores horários para os registros que podem estimar a variação da temperatura do ar longo de 24 horas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de temperatura foram coletados na Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônomicas-Unesp, campus de Botucatu-SP, entre janeiro de 2001 a dezembro de 2005. 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 e col., 1999). Os dados de temperatura média horária do ar (T24) foram analisados, utilizando a técnica de geoestatística. Foram selecionados dados pontuais com intervalos de seis horas entre cada observação para cada dia dos anos. Desta forma, foram analisados cinco conjuntos de dados variando à hora da primeira medida: T0-6-12-18, com medidas as 0, 6, 12, 18 horas; T2-8-14-20, com medidas as 2, 8, 14, 20 horas; e T4-10-16-22 com medidas as 4, 10, 16, 22 horas; T6-12-18, com observações de temperatura as 6, 12, 18 horas; T9-15-21, com observações de temperatura as 9, 15, 21 horas. Para os pontos não coletados, por falha do equipamento, foram mantidas as coordenadas do eixo horizontal e vertical sem valor de temperatura do ar. Inicialmente, verificou-se a presença de pontos discrepantes (outliers); na sequência, foi realizada uma análise descritiva dos dados para determinação da 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 e col. (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_0) 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. Os variogramas foram escalonados pela variância dos dados, como descrito por Vieira (1983). Comprovada a dependência temporal realizou-se interpolação para estimar valores de temperatura com intervalo de uma hora (das 0:30 às 23:30 horas), utilizando o método da krigagem ordinária, para construção do mapa.

A fim de verificar a exatidão dos dados estimados foi confeccionado um gráfico de frequência acumulada com a diferença de temperatura estimada para cada conjunto de dados selecionado e os dados horários disponíveis. Também foram correlacionados valores estimados com os medidos, pela regressão linear, foram considerados os seguintes indicadores estatísticos: precisão - coeficiente de correlação "r"; exatidão - índice de Willmott "d"; e de confiança ou desempenho "c".

A precisão é dada pelo coeficiente de correlação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório. A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente essa aproximação é dada por um índice designado de concordância, representado pela letra "d" (Willmott e col., 1985). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para a concordância perfeita. O índice é dado pela seguinte expressão:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right] \quad [2]$$

onde: P_i é o valor estimado, O_i é o valor observado e O a média dos valores observados.

Neste trabalho foi utilizado um novo índice "c", proposto por Camargo e Sentelhas (1997), para indicar o desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão "r" e de exatidão "d", sendo expresso da seguinte forma:

$$c = r * d \quad [3]$$

O critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos pelo valor do índice "c" é: > 0,85, ótimo; 0,76 a 0,85, muito bom; 0,66 a 0,75, bom; 0,61 a 0,65, mediano; 0,51 a 0,60, sofrível; 0,41 a 0,50, mau; ≤ 0,40, péssimo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Folegatti (1996), para o ajuste de variogramas a normalidade dos dados não é necessária, mas desejável. Caso a distribuição não seja normal, mas seja razoavelmente simétrica, podem-se admitir as hipóteses necessárias à construção do variograma. De acordo com Vieira e Lombardi Neto (1995), os cálculos utilizados em geoestatística não requerem o conhecimento da distribuição de frequências da variável analisada.

De acordo com as estatísticas dos dados de temperatura média horária do ar de Botucatu (Tabela 1), observa-se que os valores para os cinco anos de observação ficou próxima a temperatura média anual do local, que é de 21°C, de acordo com Cunha e col. (1999). Verifica-se uma distribuição simétrica e platicúrtica das medidas de temperatura do ar ao longo dos cinco anos de observação, fato que se repetiu em todos os horários de amostragem testados, exceto pelas observações realizadas as 6, 12, e 18 horas, quando houve uma leve tendência de assimetria negativa. Comparando os horários de medidas a cada seis horas com as medidas realizadas as 24 horas ao longo do dia (T24), constata-se que as medidas T2-8-14-20 e as medidas T4-10-18-22 tem valores estatísticos que mais aproximam aos das medidas T24, enquanto que as medidas T9-15-21 apresentaram valores estatísticos mais discrepantes.

TABELA 1. Estatística descritiva da temperatura do ar em Botucatu entre janeiro de 2001 a dezembro de 2005.

Atributos	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	s	CV	C _s	C _k
T 24	42941	20,72	20,57	5,4	34,7	4,42	21,34	0,01	-0,14
T0-6-12-18	7155	20,55	20,46	5,8	33,9	4,39	21,36	-0,06	-0,20
T2-8-14-20	7158	20,78	20,56	5,5	34,6	4,42	21,27	0,09	-0,06
T4-10-18-22	7163	20,84	20,69	5,8	34,2	4,45	21,33	0,00	-0,18
T6-12-18	5369	21,21	21,24	5,8	33,9	4,49	21,17	-0,18	-0,29
T9-15-21	5389	21,88	21,74	7,3	34,7	4,30	19,65	-0,03	-0,14

T24: medida da temperatura do ar de hora em hora; T0-6-12-18: medida da temperatura do ar as 0, 6, 12 e 18 horas; T2-8-14-20: medida da temperatura do ar as 2, 8, 14 e 20 horas; T4-10-16-22; medida da temperatura do ar as 4, 10, 16 e 22 horas; T6-12-18: medida da temperatura as 6, 12 e 18 horas; T9-15-21: medida da temperatura as 9, 15 e 21 horas; n: número de medida; s: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação (%); C_s: Coeficiente de assimetria; C_k: coeficiente de curtose;

Em relação à variabilidade dos dados, medida pelo CV (%), os valores observados foram classificado como média ($12\% < CV < 60\%$), com base nos limites do CV propostos por Warrick e Nielsen (1980), para todos os horários de medida.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros dos variogramas médios e os modelos ajustados. A análise variográfica indicou que todos os horários amostrados apresentaram dependência temporal, com os modelos matemáticos dos variogramas experimentais ajustados pelo modelo esférico. O índice de dependência temporal (IDT) para todos os diferentes horários de medida apresentou alta dependência temporal ($IDE \geq 75\%$), conforme classificação proposta por Zimback (2001). Observa-se que os valores do IDT se concentram em dois grupos, as medidas T24, T6-12-18 e T9-15-21 com valores entre 95 e 97%, enquanto as medidas T0-6-12-18, T2-8-14-20 e T4-10-16-22 com valores entre 87 e 89%. Isso foi feito considerando os parâmetros dos variogramas gerados pelas medidas de temperatura do ar realizadas a cada hora ao longo do dia (T24) como o modelo mais ajustado à realidade. Os pontos localizados num tempo menor ou igual ao alcance são mais similares e são dependentes entre si, em relação tempo. Assim observa-se que medidas de temperatura do ar tomadas com intervalo acima de 12 horas não têm dependência temporal entre elas, fato constatado com nos modelos gerados a partir de T24, T2-8-14-20, T4-10-16-22 e T6-12-18. O alcance dos modelos gerados a partir das observações T0-6-12-18 e T9-15-21 apresentaram maior distorção em relação às observações horárias (T24). Com relação ao coeficiente de determinação R^2 o modelo gerado pelas mediadas T9-15-21 obteve o menor valor e inferior a todos os demais, o que ocorreu também com o coeficiente de correlação da validação cruzada com menor valor para este mesmo horário de medida de temperatura do ar testado. Dentre os valores do coeficiente de correlação da validação cruzada, os modelos gerados a partir das medias T24 e T6-12-18 apresentaram os maiores valores.

TABELA 2. Modelos e parâmetros dos variogramas escalonados da temperatura do ar em Botucatu, entre janeiro de 2001 a dezembro de 2005.

Atributos	Modelo	Ao	C ₀	C ₀ +C	R ²	IDT	RCV
T24	Esférico	11,6	0,0296	0,8557	99	97	0,91
T0-6-12-18	Esférico	14,0	0,1110	0,8457	95	87	0,78
T2-8-14-20	Esférico	12,5	0,0984	0,9076	93	89	0,77
T4-10-18-22	Esférico	12,6	0,0950	0,8689	90	89	0,77
T6-12-18	Esférico	12,9	0,0445	0,9327	91	95	0,80
T9-15-21	Esférico	8,7	0,0440	0,8426	77	95	0,73

T24: medidas da temperatura do ar de hora em hora; T0-6-12-18: medidas da temperatura do ar as 0, 6, 12 e 18 horas; T2-8-14-20: medidas da temperatura do ar as 2, 8, 14 e 20 horas; T4-10-16-22;

medidas da temperatura do ar as 4, 10, 16 e 22 horas; T6-12-18: medidas da temperatura do ar as 6, 12 e 18 horas; T9-15-21: medidas da temperatura do ar as 9, 15 e 21 horas; Ao: alcance da dependência temporal (horas); C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; IDT: índice de dependência temporal e R^2 : coeficiente de determinação múltipla do ajuste; RVC: coeficiente de correlação da validação cruzada.

A adoção do R^2 na definição da qualidade de um método não é adequada, pois o mesmo não estabelece o tipo e a magnitude das diferenças entre um valor padrão e um valor previsto por modelos de estimativa ou outros mecanismos de medida diferentes do padrão. Assim foi realizado um estudo do desempenho dos modelos em função das amostras de temperatura do ar (Tabela 3), conforme o índice de Willmot e a proposta de Camargo e Sentelhas (1997).

TABELA 3. Desempenho dos modelos em função das amostras de temperatura do ar em Botucatu, entre janeiro de 2001 a dezembro de 2005.

Atributos	d	R	c	Classificação
T24	0.99	0.98	0.97	Ótimo
T0-6-12-18	0.92	0.87	0.80	Muito Bom
T2-8-14-20	0.95	0.91	0.86	Ótimo
T4-10-16-22	0.95	0.91	0.86	Ótimo
T6-12-18	0.92	0.86	0.79	Muito Bom
T9-15-21	0.88	0.85	0.75	Bom

T24: medidas da temperatura do ar de hora em hora; T0-6-12-18: medidas da temperatura do ar as 0, 6, 12 e 18 horas; T2-8-14-20: medidas da temperatura do ar as 2, 8, 14 e 20 horas; T4-10-16-22: medidas da temperatura do ar as 4, 10, 16 e 22 horas; T6-12-18: observações da temperatura do ar as 6, 12 e 18 horas; T9-15-21: observações da temperatura do ar as 9, 15 e 21 horas; d: índice de Willmot; R: coeficiente de correlação; c: índice de desempenho proposto por Camargo & Sentelhas (1997).

Observa-se que o modelo gerado a partir das medidas T24 apresentou o melhor desempenho, segundo os índices de Camargo e Sentelhas (1997) e os modelos T2-8-14-20 e T4-10-16-22 apresentaram desempenho semelhante ao modelo T24. No entanto, o modelo gerado pelas medidas T9-15-21 obteve o pior desempenho, apesar do valor próximo ao limite de classificação, de acordo com Camargo e Sentelhas (1997).

A Figura 1 mostra os gráficos de frequência do erro absoluto entre a temperatura do ar estimada pelos diversos modelos gerados e temperatura do ar observada no período. Para o modelo gerado a partir das medidas horárias (T24), verifica-se (gráfico a) o erro absoluto entre -1 e 1°C repetiram-se em mais de 85% dos dados estimados. Os modelos gerados a partir das medidas T2-8-14-20 e T4-10-16-22 estimaram dados de temperatura do ar com erro -1 e 1°C em 48 e 49% dos dados, respectivamente. Para os modelos gerados a partir das medidas T0-6-12-18 e T6-12-18, para o mesmo intervalo de erro, foram estimados 43% dos dados. O pior resultado foi do modelo gerado a partir das medidas T9-15-21, com 40% das estimativas com erro entre -1 e 1°C.

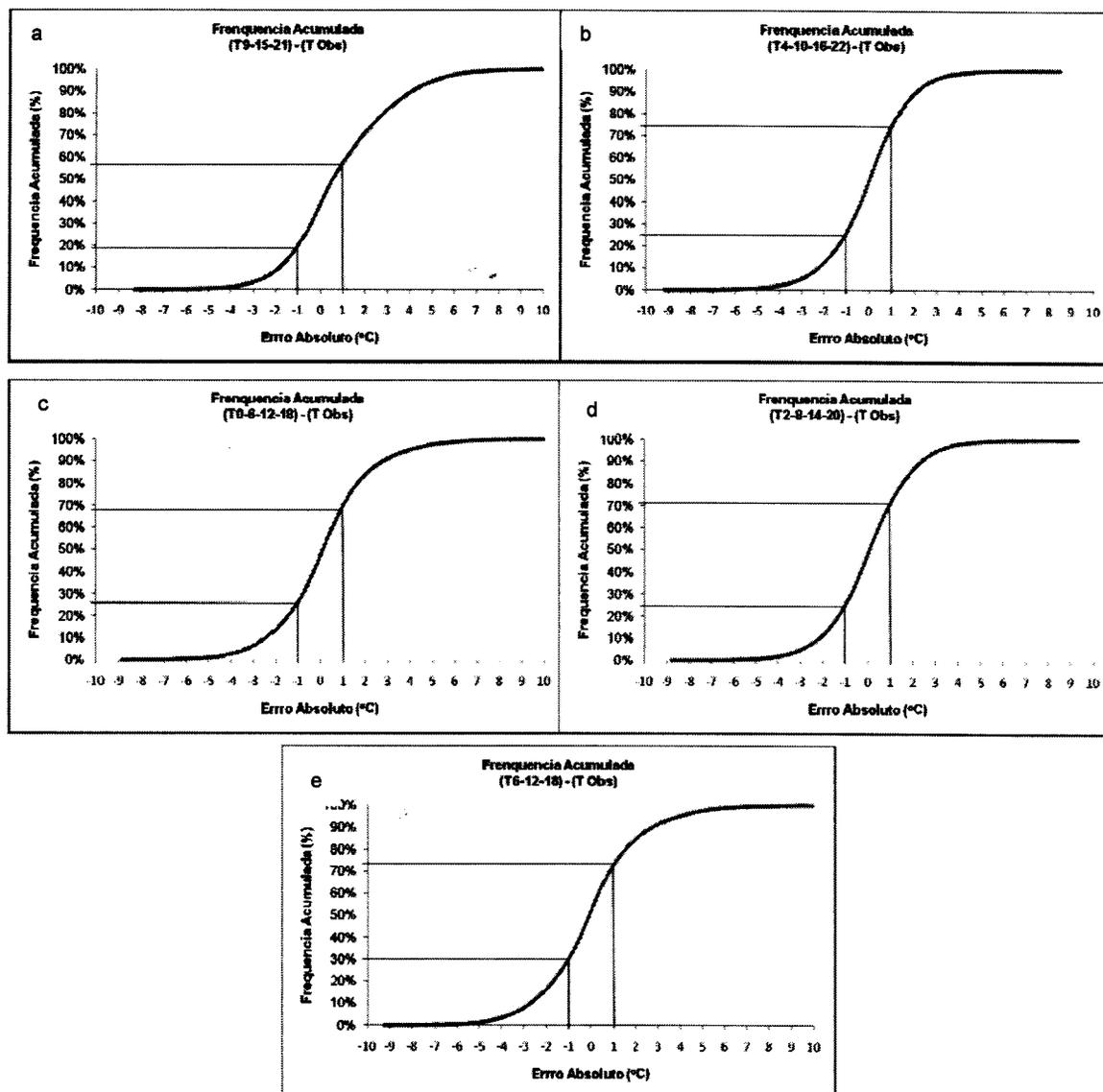


Figura 1. Gráficos da frequência acumulada do erro absoluto entre a temperatura do ar estimada pelos modelos T4-10-16-22(a), T9-15-21(b), T0-6-12-18(c), T2-8-14-20(d) e T6-12-18(e) e a temperatura do ar observada (T Obs), nos cinco anos de estudo.

Dentre os cinco horários de medida de temperatura do ar o que gerou um modelo que estimou a variação horária deste fator climático de forma mais precisa foram aqueles que registraram as temperaturas máximas e mínimas do dia. Desta forma os modelos gerados a partir de medidas com intervalo constante de seis horas foram os que mais se aproximaram da médias reais (T0-6-12-18, T2-8-14-20 e T4-10-16-22) com destaque para as medidas tomadas às 4, 10, 16 e 22 horas. O pior resultado foi para o modelo gerado a partir das medidas as 9, 15 e 21 horas. Observa-se que, apesar de registrar a temperatura máxima, este horário de medida não consegue registrar a temperatura mínima do dia, o que provavelmente prejudicou a estimativa dos parâmetros do modelo.

CONCLUSÕES

Há uma dependência temporal entre as medidas de temperatura do ar ao longo do dia, na estação meteorológica estudada, com alcance de 12 horas. Isso permite estudos da variação de temperatura utilizando geoestatística.

Apesar do alcance observado, o horário das medições é uma variável importante para o ajuste do modelo que interpola a variação de temperatura do ar ao longo do dia. Observou-se que medidas tomadas as T2-8-14-20 e T4-10-16-22, com intervalos de seis horas, são os melhores horários para estimar a variação deste fator climático ao longo do dia.

O modelo T9-15-21, que é o utilizado nas agrometeorológicas convencionais no Brasil, foi o que apresentou estimativas com maior erro.

BIBLIOGRAFÍA

- BORGES, E.E.L.; RENA, A.B. 1993. Germinação de sementes In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.M.C.; FIGLIOLIA, M.B. (Coord.). Sementes florestais tropicais. Brasília, DF: ABRATES. p.83-135.
- CAMARGO, A. P. DE; SENTELHAS, P. C. 1997. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da Evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97.
- CANO, W.; BRANDÃO, C. A. (Coords). 2002. A Região Metropolitana de Campinas: urbanização, finanças e meio ambiente. Campinas: Unicamp. 439 p.
- CARGNELUTTI FILHO, A. 2006. Estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.41, prelo, 2006.
- CUNHA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; MARTINS, D. 1999. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: Simpósio em Energia na Agricultura, 1. 1999. Botucatu – SP: Anais... Botucatu: FCA/UNESP, v.1, p. 487-490.
- FOLEGATTI, M.V. 1996. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso. Piracicaba, 84p. Tese (Livre - Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- KRIGE, D. G. 1951, 'A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand', Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa 52(6), 119–139.
- MATHERON, G. 1965, Les Variables Régionalisées et Leur Estimation. Masson, Paris.
- MATHERON, G. 1971, The Theory of Regionalized Variables and Its Application. Fontainebleau.
- MULLA, D.J. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield. In: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. Soil specific crop management. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1993. p.15-26.
- PAZ, A.; TABOADA, M.T.; GÓMEZ, M.J. 1996. Spatial variability in topsoil micronutrients contents in one-hectare cropland plot. Communication in Soil Science and Plant Analysis, v.27, n.3/4, p.479-503.
- PREVEDELLO, B.M.S. 1987. Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta. Piracicaba, 166p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- ROBERTSON, G. P. 2004. GS+: Geoestatistics for the environmental sciences – GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Design Software, 2004. 152 p.
- SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. 1995. Dependência espacial dos teores de macronutrientes da parte aérea da Crotalaria juncea em área de erosão acelerada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.115-122.
- SCOTT, H.D.; MAUROMOUSTAKOS, A.; HANDAYANI, I.P.; MILLER, D.M. 1994. Temporal variability of selected properties of loessial soil as affected by cropping. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1531-1538.
- SILVA, J. W.; GUIMARAES, E. C.; TAVARES, M. 2003. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. Ciência e Agrotecnologia, v. 27, n. 03, p. 665-674, maio/jun.
- SILVA, A.P. 1988. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo. Piracicaba, 105p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SILVA JÚNIOR, M.C.1984. Composição florística, estrutura e parâmetros fitossociológicos do cerrado e sua relação com o solo na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba, MG. Viçosa, 130p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- SOUZA, L.C. de. 1977. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano. Campina Grande. 77p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba.
- TABOR, J.A.; WARRICK, A.W.; PENNINGTON, D.A.; MYERS, D.E. 1984. Spatial variability of nitrate in irrigated cotton: I. Petioles. Soil Science Society of America Journal, v.48, p.602-607.
- VIEIRA, S.R. 1988. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial. Campinas: IAC,.
- VIEIRA, S.R. 1997. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). Bragantia, v.56, n.1, p.181-190.
- VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. 1995. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. Bragantia, v.54, n.2, p.405-412.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. 1983. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, v.51, n.3, p.1-75.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. 1990. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford: Oxford University Press, 316p.
- WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005.
- ZIMBACK, C.R.L. 2001. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 114 p. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e ftopedologia), FCA/UNESP, 2001.
- CAHN, M.D.; HUMMEL, J.W.; BROUER, B.H. 1994. Spatial analysis of fertility for site-specific crop management. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1240-1248.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1501-1511.