

VARIABILIDADE TEMPORAL E MAPEAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS DE BOTUCATU-SP

Anderson Antonio da Conceição Sartori; Alessandra Fagioli da Silva; Clovis Manoel Carvalho Ramos; Célia Regina Lopes Zimback

Departamento de Recursos Naturais-Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, sartori80@gmail.com.

1 RESUMO

O trabalho teve objetivo estudar a variabilidade temporal da temperatura do ar, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar na cidade de Botucatu-SP, Brasil, utilizando técnicas geoestatísticas. Os dados de precipitação pluviométrica, temperatura do ar e umidade relativa do ar utilizados no presente estudo são provenientes da Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP. As observações foram realizadas no período de 1988 a 2007, referem-se ao total mensal de precipitação pluvial expressa em altura de lâmina d'água (mm), médias mensais de temperatura em °C e umidade relativa em %. Os dados foram avaliados por meio da estatística clássica e geoestatística. As variáveis climáticas tiveram sua dependência verificada por variogramas, apresentando dependência temporal maior que 76%. A série temporal de umidade relativa do ar foi a que apresentou maior alcance (8,67 meses) e, conseqüentemente, maior estabilidade climática. O conhecimento da distribuição temporal das variáveis climáticas é importante para o estudo e realização do zoneamento agroclimático, bem como para o dimensionamento do sistema de irrigação das culturas.

UNITERMOS: geoestatística, mapeamento e krigagem

**SARTORI, A. A. C.; SILVA, A. F.; RAMOS, C. M. C; ZIMBACK, C. R. L.
TEMPORAL VARIABILITY AND CLIMATE DATA MAPS OF BOTUCATU-SP**

2 ABSTRACT

The objective of this research to study the temporal variability of air temperature, rainfall and relative humidity at Botucatu-SP, Brazil, using geostatistics techniques. The data of rainfall, air temperature and relative humidity used in this study were obtained from the Meteorological Station of the Agricultural Sciences College. The observations were made in the period from 1988 to 2007 and refer to the total monthly rainfall expressed in water depth (mm), average monthly of temperature in °C and relative humidity in %. The data were evaluated by means of classical statistics and geostatistics. The climatic variables were their dependence verified by variogramas, presenting temporal dependence greater than 76%. The temporal series of relative humidity presented the greatest value (8.67 months) and, consequently, more stability climate. Knowledge of the temporal distribution of climate variables is important for the study and realization of agroclimatic zoning and for design measurement of irrigation systems.

KEYWORDS: geostatistics, mapping and kriging

3 INTRODUÇÃO

Pesquisas nas áreas de climatologia, meteorologia e hidrologia têm verificado a existência de mudanças climáticas em diversas regiões do planeta, no qual os elementos, precipitação pluvial e temperatura aparecem como sendo aqueles em que mais se observam essas mudanças. Séries temporais possibilitam estudar possíveis mudanças que possam estar ocorrendo em uma determinada variável. Assim, a avaliação de séries temporais é importante instrumento para, através do comportamento passado, avaliar tendências futuras, especialmente no momento em que se fala em mudanças climáticas (Cargnelutti Filho et al., 2008).

O conhecimento do comportamento da precipitação pluvial, da temperatura do ar, da umidade relativa do ar, da evaporação, da direção e velocidade do vento, da radiação solar global, de ocorrência de orvalho, de nevoeiro, de granizo, de geada e de neve, entre outros fenômenos, é um importante instrumento na tomada de decisões relacionadas às atividades agropecuárias, turísticas e esportivas (Cargnelutti Filho et al., 2006). Análises dos comportamentos das séries climáticas de alguns, ou até mesmo de todos esses elementos, visando destacar possíveis periodicidades existentes, são fundamentais para o planejamento de inúmeras atividades agrícolas, econômicas, sociais, entre outras (Silva et al., 2005). 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, sendo expressiva quando se considera a precipitação (Gurgel, 2003).

O estudo da variabilidade temporal da precipitação permite definir o grau de correlação temporal das amostras e tem mostrado ser uma importante ferramenta na aplicação prática, permitindo estimar precipitações com variância mínima (Silva et al., 2003). O conhecimento da variabilidade da precipitação dá suporte a qualquer atividade econômica e limita os impactos dos distúrbios no ambiente físico e dimensões humanas correlatas (Cano & Brandão, 2002). Trabalhos realizados por Miller et al. (1973), Frederick et al. (1977), Vieira & Souza (1983), Goulart et al. (1992) e Mello et al. (1994) foram desenvolvidos com o objetivo de ajustar uma determinada distribuição teórica aos dados observados de precipitação, com intuito de determinar valores para os diversos níveis de probabilidade ou, ainda, para se estabelecer a relação intensidade-duração-freqüência da precipitação. Porém, na maioria dos casos, os dados de chuva são avaliados como valores pontuais, enquanto deveriam sê-lo na forma de distribuição temporal para uma efetiva caracterização de sua variabilidade (Sivapalan & Blöschl, 1998).

Aplicações de modelos matemáticos e de modelos estatísticos têm explicado o comportamento dos fenômenos que ocorrem na natureza, em particular na agricultura. 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. Para caracterizar a variabilidade espacial e/ou temporal da precipitação pluvial e da temperatura, deve-se considerar a estrutura de correlação existente entre observações (Isaaks & Srivastava, 1989). Assim, pode-se entender que essa variabilidade não é aleatória e, portanto, apresenta-se com algum grau de dependência

espacial e/ou temporal, que pode ser descrita pelo variograma, base da metodologia de análise geoestatística (Mota et al., 2007).

Vieira et al., (1991) estudaram o mapeamento das chuvas máxima diária provável para o Estado de São Paulo e utilizaram a autocorrelação espacial, calculada pelo variograma, para verificar a dependência espacial e realizar estimativas para os locais onde não se têm valores medidos. 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 (índice térmico, índice pluviométrico e índice pluviotérmico). Silva et al., (2003) estudaram a variabilidade temporal da precipitação com médias mensais e anuais, em Uberaba – MG e verificou uma baixa dependência temporal e efeito pepita puro em alguns casos, o que pode sugerir uma amostragem com espaçamento temporal grande. Desta forma, a metodologia de coleta dos dados é de grande importância na melhor forma de estimar dados climáticos de determinada região.

Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade temporal da temperatura do ar, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, no município de Botucatu-SP, utilizando técnicas geoestatísticas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de precipitação pluviométrica, temperatura do ar e umidade relativa do ar utilizados no presente estudo são provenientes da Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônomicas-Unesp, campus de Botucatu, localizada no estado de São Paulo.

A Estação Climatológica de Botucatu 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).

As observações foram realizadas no período de 1988 a 2007 e referem-se ao total mensal de precipitação pluvial expressas em altura de lâmina d'água (mm), às médias mensais temperatura do ar em °C e umidade relativa do ar em %.

As análises iniciais tiveram por propósito verificar a variabilidade dos atributos, baseada na estatística descritiva dos dados da precipitação, temperatura do ar e umidade relativa do ar, sendo obtidos: a média, a mediana, o desvio-padrão, o valor mínimo e o máximo; e os coeficientes de variação, assimetria e curtose. As análises estatísticas das variáveis foram realizadas pelo programa Statistica 7.0 (Statsoft 2004).

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 (meses); $Z(x)$ e $Z(x+h)$ são os pares de observações de temperatura do ar, precipitação pluvial e umidade relativa do ar, separados pelo vetor h (meses); $N(h)$ 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 ($C_0 + C$) e o alcance (A_0) do modelo teórico para o variograma. Os modelos foram ajustados pelo programa GS⁺ 9.0 (Robertson, 2009), 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. Comprovada a dependência temporal realizou-se a interpolação para estimar valores não observados, utilizando o método da krigagem ordinária, com posterior construção dos mapas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise descritiva de temperatura do ar, precipitação pluvial e umidade relativa do ar estão apresentados na Tabela 1. Os dados climáticos apresentaram distribuição de frequência com média e mediana semelhantes, portanto, considerados como simétrica, com exceção da precipitação, que apresentou a média maior que a mediana. Os dados climáticos de temperatura do ar e umidade relativa do ar apresentaram distribuição de assimétrica negativa, o que é confirmado pela média menor que mediana, e as demais variáveis apresentaram assimetria positiva. A temperatura do ar apresentou distribuição platocúrtica, ou seja, com curtose menor que zero, mostrando uma tendência desses atributos apresentarem maior dispersão dos dados em torno da média, e os demais dados climáticos apresentou distribuição leptocúrtica. É importante ressaltar que o software GS⁺ (Robertson, 2009), utilizado para análise descritiva, adota como padrão o valor zero para distribuição mesocúrtica.

Em relação à variabilidade dos dados, medida pelo CV (%), os menores valores de coeficientes foram encontrados para umidade relativa do ar e foi classificado como baixo ($CV < 12\%$), a temperatura do ar foi classificada como média ($12\% < CV < 60\%$), e a precipitação pluvial como alta ($CV > 60\%$), com base nos limites do CV propostos por Warrick e Nielsen (1980). A precipitação apresentou variação de média a alta, segundo Silva et al. (2003), trabalhando com dados de Uberaba - MG, a ausência total de chuvas em alguns anos da série, nos meses de seca, também pode ser a explicação dessa variabilidade. Segundo Landim (2003), o coeficiente de variação fornece uma medida relativa da precisão do experimento, sendo bastante útil na avaliação da dispersão dos dados.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis climáticas

Atributos	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	s	CV	Cs	Ck
Temperatura	240	20,28	20,67	14,50	24,81	2,47	12,18	-0,31	-0,93
Precipitação	240	123,09	96,35	0,00	485,00	101,79	82,70	1,098	0,919
UR	240	73,40	73,88	49,00	88,95	7,38	10,05	-0,42	0,259

Temperatura em °C; Precipitação em mm; UR: Umidade relativa em %; n: número de observações; s: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação (%); Cs: Coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose.

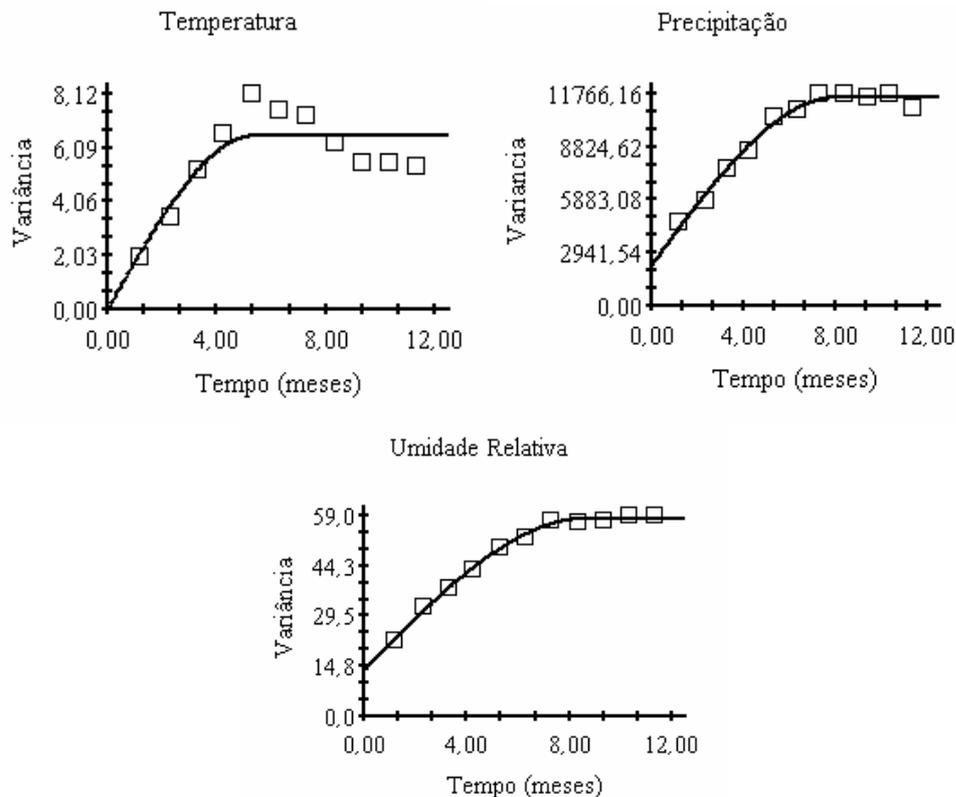
Na Tabela 2 estão apresentados os modelos e parâmetros dos variogramas das variáveis climáticas.

Tabela 2. Modelos e parâmetros dos variogramas das variáveis climáticas

Atributos	Modelo	Ao	C ₀	C ₀ +C	R ²	IDT	rcv
Temperatura	Esférico	5,41	0,01	6,541	76	99	0,74
Precipitação	Esférico	8,05	2280	11550	98	80	0,49
UR	Esférico	8,67	13,7	58,07	99	76	0,61

Temperatura em °C; Precipitação em mm; UR: Umidade relativa em %; Ao: alcance da dependência temporal (meses); C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; IDT: índice de dependência temporal e R²: coeficiente de determinação múltipla do ajuste; rcv: coeficiente de validação cruzada.

A análise variográfica indicou que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência temporal, com os modelos matemáticos dos variogramas experimentais simples ajustados pelo modelo esférico (Figura 1).

**Figura 1** – Variograma das variáveis climáticas na estação de inverno e de verão.

A dependência temporal apresentou alta para todas as variáveis climáticas, considerando os limites propostos por Zimback (2001), em que a dependência temporal para valores $\leq 25\%$ é considerada fraca; entre 25% e 75%, moderada e $\geq 75\%$ dependência forte.

A visualização da variabilidade temporal para as variáveis climáticas foi possível pela interpolação por krigagem ordinária, a qual estimou, sem tendenciosidade e com mínima variância, os valores de um atributo para o tempo não observados a partir dos valores observados (Figuras 2).

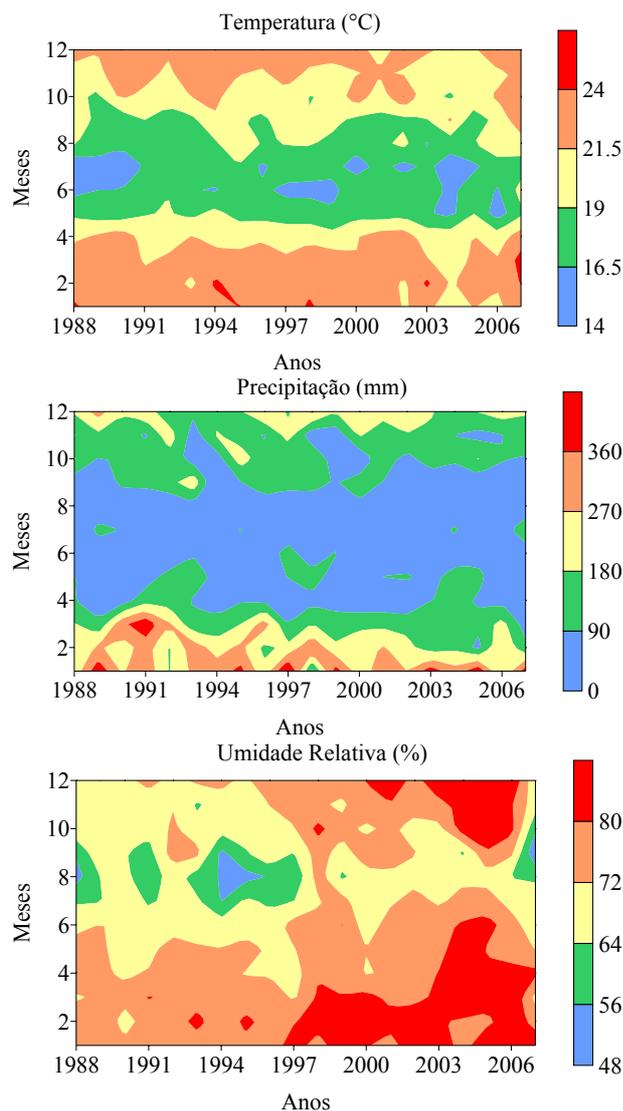


Figura 2– Mapas da distribuição temporal das variáveis climáticas

Os menores valores de temperatura do ar ocorreram nos meses de maio, junho e julho, sendo que nos anos de 2004 e 2005 ocorreram os maiores intervalos de baixa temperatura. Os maiores valores de temperatura do ar ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro nos anos de 1994 e 1995 e os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro, sendo que em março de 1991 ocorreu uma maior concentração de chuva. A partir do ano de 1997, ocorreram maiores valores de umidade relativa do ar ao longo do ano. Pode-se notar que a maior disponibilidade de água para as culturas é observada no mês de janeiro, propício para o plantio das culturas.

Assis & Vila Nova (1994), trabalhando com chuvas do ano de 1917 a 1989, em Piracicaba-SP, encontraram maiores precipitações no mês de janeiro, concordando com valores encontrados neste trabalho. Já Mello & Silva (2009), trabalhando no estado de Minas Gerais, encontraram maior precipitação no mês de dezembro.

Observa-se ao longo desses 20 anos que as variáveis climáticas apresentaram alta variabilidade temporal, de uma estação para outra, tendo grande variação dos valores de temperatura do ar, precipitação pluvial e umidade relativa do ar.

O conhecimento da distribuição temporal das variáveis climáticas é importante para o estudo e realização do zoneamento agroclimático, bem como para o dimensionamento do sistema de irrigação das culturas, com vistas à maximização da produção em cada época.

Para se ter sucesso na exploração agrícola deve prevalecer condições climáticas que permitam à planta, em seus diferentes estádios fenológicos, crescer e se desenvolver, principalmente com relação às condições térmicas e hídricas, assim com base na distribuição temporal das variáveis climáticas, agricultores, difusores de tecnologia e agentes financiadores terão subsídios para a realização de investimentos seguros na exploração das culturas no município de Botucatu – SP.

6 CONCLUSÕES

As variáveis climáticas apresentaram forte dependência e variabilidade temporal.

A série temporal de umidade relativa do ar foi a que apresentou maior alcance (8,67 meses) e, conseqüentemente, maior estabilidade climática.

O conhecimento da distribuição temporal das variáveis climáticas é importante para o estudo e realização do zoneamento agroclimático, bem como para o dimensionamento do sistema de irrigação das culturas.

7 AGRADECIMENTOS

Ao GEPAG–Grupo de Pesquisas Agrárias Georreferenciadas, pelo apoio infra-estrutural e aos dados fornecidos pela estação meteorológica do Departamento de Ciências Ambientais, FCA UNESP Botucatu.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS NETO, F. de; VILLA NOVA, N.A. Modelagem da ocorrência e da quantidade de chuva em piracicaba. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v51, n.3, p. 172-182, set./dez. 1994.

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.

CANO, W.; BRANDÃO, C. A. (Coords). **A região metropolitana de Campinas: urbanização, finanças e meio ambiente**. Campinas: Unicamp, 2002. 439 p.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Análise decadal da temperatura do ar no estado Rio Grande do Sul. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande v. 8, n. 1, p.258-263, 2008.

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, jul-ago, 2006.

- CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: Simpósio Em Energia Na Agricultura, 1., 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1999. v.1, p. 487-490.
- FREDERICK, R. H.; MYERS, V. A.; AUCIELLO, E. P. **Five to 60-minute precipitation frequency for eastern and central United States**. Massachusetts: National Weather Service, 1977.
- GOULART, J. P.; MAESTRINI, A. P.; NEIBEL, A. L. Relação intensidade duração-frequência de chuvas em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 7, n. 1, p. 543-552, 1992.
- 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, São José dos Campos.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.
- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo. UNESP, 2003. 253 p.
- MELLO, M. H. A.; ARRUDA, H. V.; ORTOLANI, A. A. Probabilidade de ocorrência de totais pluviais máximos horários, em Campinas, São Paulo. **Revista IG**, São Paulo, v. 15, n. 1/2, p. 59-67, 1994.
- MELLO, C. R. de & SILVA, A. M. da. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.1, p.68–74, 2009.
- MILLER, J. F.; FREDERICK, R. H.; TRACEY, R. J. **Precipitation-frequency Atlas of the conterminous western United States**. Massachusetts,: National Weather Service, 1973.
- MOTA, V. C. et al Modelagem geoestatística da variabilidade temporal da precipitação pluvial do município de Pontes e Lacerda–MT no período de 1982 a 2004. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 52., 2007, Santa Maria. **Anais...**, Santa Maria: Sociedade Internacional De Biometria 2007. 1 CD-ROOM.
- ROBERTSON, G. P. GS+: **Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User’s Guide**. Plainwell, Gamma Desing Software, 2009. 152 p.
- SILVA, J. B.; BASGALUPP, M. P.; PAZ, S. R. da. Comportamento das precipitações pluviais mensais em Pelotas, Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 155-159, 2005.

SILVA, J. W. da.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG . **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v.27, n.3, p.665-674, maio/jun., 2003.

SIVAPALAN, M.; BLOSCHL, G. Transformation of point rainfall to areal rainfall: intensity-duration-frequency curves. **Journal of Hydrology**, v. 204, p. 150–167, 1998.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA** (data analysis software system), version 7. 2004. (Software estatístico).

VIEIRA, D. B.; SOUZA, C. Z. Análise das relações intensidade e duração-freqüência das chuvas intensas para Ribeirão Preto. **Item**, Brasília, v. 14, n. 09, p. 20-29, 1983.

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.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 93-98, 1991.

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), Faculdade Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001.