

## ANÁLISE TEMPORAL DE FATORES CLIMÁTICOS EM PETROLINA – PE

Clóvis Manoel Carvalho Ramos<sup>1</sup>; Alessandra Fagioli da Silva<sup>1</sup>; Luís Henrique Bassoi<sup>2</sup>; Anderson Antonio da Conceição Sartori<sup>1</sup>; Célia Regina Lopes Zimback<sup>1</sup>

(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](mailto:clovisramos@fca.unesp.br)

**RESUMO:** A determinação prévia da variação de elementos climatológicos ao longo do ano é de interesse do planejamento e de previsão de cenários na agricultura e em outras atividades. Assim, este trabalho teve por objetivo estudar a variabilidade temporal dos fatores climáticos, precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, na cidade de Petrolina – PE, utilizando técnicas geoestatísticas. Os dados climáticos foram coletados na Estação Agrometeorológica Automática de Bebedouro, pertencente a Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE, referente a série histórica de 1975 a 2008. A estação está situada na latitude de 09° 09' S, e na longitude de 40° 22' W, com 365,5 m de altitude. O clima da região é do tipo BSwH, segundo a classificação de Köppen, que corresponde a uma região climaticamente árida, com período chuvoso de janeiro a abril. Todas as variáveis climáticas apresentaram dependência temporal. A precipitação se concentrou no período de novembro a abril, com os demais meses com baixa incidência de chuva. Os maiores volumes de chuva ocorreram entre os meses de janeiro e março. Os meses do ano de maior temperatura do ar, velocidade do vento são os meses do segundo semestre. A umidade relativa do ar chega a valores abaixo de 50% no segundo semestre. A confecção de mapa temporal de fatores climático mostrou-se uma ferramenta para a análise da variação ao longo do tempo.

**Palavras chave:** geoestatística, krigagem

## TEMPORAL ANALYSIS OF WEATHER FACTORS IN PETROLINA, BRAZIL

**ABSTRACT:** The prior determination of the variation of climatic elements over the years is of interest to the planning and forecasting of scenarios in agriculture and other activities. This work aimed to study the temporal variability of climatic factors, precipitation, air temperature, relative humidity and wind speed in the city of Petrolina - PE, using geostatistical techniques. The climatic data were collected at the agrometeorological Automatic Bebedouro, which belongs to Embrapa Semi-Arid, Petrolina-PE, would be historic for 1975 to 2008. The station is situated at latitude 09 ° 09 'S, and longitude 40 ° 22' W, with 365.5 m of altitude. The climate is type BSwH, according to the classification of Koeppen, which is a climatically arid region, with the rainy season from January to April. All climatic variables showed temporal dependence. The precipitation is concentrated in the period November to April, with the other months with low incidence of rain. The largest amounts of rain occurred between January and March. The months of highest air temperature, wind speed are the months of the second half. The relative humidity reaches values below 50% in the second half. The preparation of temporal map of climate factors shown to be a tool for analysis of changes over time.

**Keywords:** geostatistics, kriging

## INTRODUÇÃO

A determinação prévia da variação dos elementos meteorológicos ao longo do ano possibilita um planejamento melhor das mais diversas atividades. A temperatura e a precipitação pluvial são elementos meteorológicos de grande importância, pois está diretamente relacionados aos mais diversos setores da sociedade, de forma que o regime pluviométrico afeta a economia, o meio ambiente e a sociedade, como um todo. Na agricultura, o conhecimento antecipado das condições locais de solo, temperatura e precipitação pluvial, e sua variação ao longo de um ciclo de cultivo, são significativos para a obtenção de rendimentos satisfatórios, visto que esses fatores são determinantes para o sucesso nos cultivos. Ribeiro e Lunardi (1997) salientaram a importância da caracterização da precipitação em um local para o planejamento de atividades agrícolas, sendo imprescindível,

também, no dimensionamento de reservatórios de água, na elaboração de projetos de proteção e conservação de solos e em atividades de lazer e esportivas.

A temperatura 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). O excesso de calor afeta negativamente processos metabólicos nas plantas e, como consequência, há redução da produtividade. Para cada fase de desenvolvimento da planta existe uma faixa de temperatura ótima.

Segundo Molion (1987), a produção agrícola é controlada principalmente pela quantidade e distribuição de chuva. As características do regime de chuva também afetam as variações na temperatura e umidade do ar, nebulosidade e quantidade de radiação incidente à superfície. Para a prática da agricultura familiar dependente basicamente do regime de precipitação, seria muito importante o conhecimento, não apenas da quantidade do total de chuva, mas também da sua variabilidade e das probabilidades de ocorrência de precipitação para fins de planejamento das atividades agrícolas.

Diversos estudos visando ao mapeamento da precipitação têm sido desenvolvidos com aplicação de várias técnicas, uma vez que a disponibilidade de dados climáticos e hidrológicos é pequena se comparada com grandes extensões territoriais, em especial em países em desenvolvimento (Marquinez *et al.*, 2003; Martinez-Cob, 1996; Mello *et al.*, 2007). Sabe-se que o fenômeno da precipitação apresenta alta variabilidade espaço-temporal, razão por que é considerado probabilístico e aleatório pela hidrologia estocástica, passível de ajuste de modelos estocásticos multivariados (Wu *et al.*, 2006; Goodale *et al.* 1998; Daly *et al.*, 1994).

Para caracterizar a variabilidade da temperatura e precipitação pluvial é necessário analisar a distribuição dessas variáveis. Sendo assim, a variabilidade temporal pode ser estudada por meio das ferramentas da geoestatística, que se fundamenta na teoria das variáveis regionalizadas, segundo a qual os valores de uma variável estão, de alguma maneira, relacionados à sua disposição temporal e, portanto, as observações tomadas um curto tempo se assemelham mais do que aquelas tomadas a tempos maiores (Vieira *et al.*, 1981; Vauclin *et al.*, 1983).

Este trabalho teve por objetivo estudar a variabilidade temporal dos dados climáticos (precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento) na cidade de Petrolina – PE, utilizando técnicas geoestatísticas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados climáticos foram coletados na Estação Agrometeorológica Automática de Bebedouro, pertencente a Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE, referente a série histórica de janeiro de 1975 a dezembro de 2008. A estação está situada na latitude de 09° 09' S, e na longitude de 40° 22' W, com 365,5 m de altitude. O clima da região é do tipo BSw<sup>h</sup>, segundo a classificação de Köppen, que corresponde a uma região climaticamente árida, com período chuvoso de janeiro a abril (Teixeira *et al.*, 2002). Os dados de precipitação mensal, temperatura média mensal do ar, umidade relativa média mensal do ar e velocidade média mensal do vento foram analisados, utilizando a técnica de geoestatística. Para os pontos não coletados, por falha do equipamento, foram mantidas as coordenadas do eixo horizontal e vertical sem do parâmetro. Inicialmente, verificou-se a presença de pontos discrepantes (outliers), na sequência, 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.*

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

*et al.*, (1983). As variâncias foram calculadas pela equação (1):

em que:  $\gamma^*(h)$  é a variância para um vetor  $h$  (dias);  $Z(x)$  e  $Z(x+h)$  são os pares de observação [1] : temperatura, separados pelo vetor  $h$  (dias);  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos,  $Z(x)$  e  $Z(x+h)$ , 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. Comprovada a dependência temporal realizou-se interpolação para estimar valores de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento para os doze meses do ano entre 1975 e 2008, utilizando o método da krigagem ordinária, para construção do mapa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva dos dados climáticos estudados é apresentada na Tabela 1. Os fatores climáticos analisados apresentaram diferentes comportamentos quanto à distribuição de freqüência. A precipitação e a velocidade do vento foram os dados com maior variabilidade na distribuição dos dados. Porém, apenas a precipitação registrou a média e mediana muito afastadas, mostrando a concentração de ocorrência de volumes de chuva muito acima da média e alguns meses sem ocorrência de chuva. A velocidade do vento apesar de uma amplitude larga teve sua média e mediana com valores próximos, assim com os demais fatores climáticos observados. Verifica-se que o coeficiente de assimetria demonstra que a precipitação tem uma distribuição assimétrica positiva (desvio à esquerda), já a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento apresentaram distribuição simétrica, com coeficiente de assimetria próximo a zero. Quanto ao coeficiente de curtose, com exceção da precipitação que apresentou uma distribuição leptocúrtica, os fatores climáticos analisados mostraram distribuição platicúrtica, de acordo com a classificação proposta por Robertson (2004) utilizado para análise descritiva, que adota como padrão o valor zero para distribuição mesocúrtica.

Quando se observa a variabilidade dos dados apenas a temperatura do ar tem coeficiente de variação baixo ( $CV < 12\%$ ), enquanto a umidade relativa do ar e a velocidade dos ventos o valor do coeficiente de variação é médio ( $12\% < CV < 60\%$ ). A precipitação apresentou alta variabilidade dos dados com coeficiente de variação acima de 60%. Esta classificação está de acordo com os limites propostos por Warrick e Nielsen (1980). Silva et al. (2003), trabalhando com dados de precipitação em Uberaba - MG, observaram uma variação de média a alta, ocasionada por ausência total de chuvas em alguns meses da série de anos analisada, nos meses de seca. O que pode também explicar a grande variabilidade dos dados de Petrolina uma vez que são vários os meses sem chuva ao longo do ano. A variabilidade temporal dos dados de precipitação também foi observada por Cardim (2001) e Camago et al. (2005) ambos no estado de São Paulo.

**TABELA 1. Estatística descritiva da precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.**

Atributos	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	s	CV	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>
Precipitação	408	43,77	16,35	0,00	451,30	64,62	147,65	2,55	8,32
Temperatura do ar	408	26,05	26,00	22,10	30,50	1,70	6,51	0,07	-0,45
Umidade relativa do ar	408	66,05	66,00	46,00	90,00	9,45	14,30	0,04	-0,65
Velocidade do vento	376	194,92	196,60	45,60	302,80	54,27	27,84	-0,07	-0,91

Precipitação pluvial, mm; temperatura do ar, °C; umidade relativa do ar, %; velocidade do vento, km dia<sup>-1</sup>; 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.

Na Tabela 2 são mostrados os modelos e os parâmetros dos variogramas médios dos fatores climáticos analisados. Observa-se que os fatores climáticos analisados apresentaram dependência temporal. O modelo teórico que se ajustou ao variograma experimental dos dados foi o modelo esférico para todos os fatores climáticos analisados (Figura 1). Diferente dos resultados encontrados por Silva et al. (2003), que encontrou efeito pepita puro na análise variográfica da precipitação em Uberaba-MG, vale ressaltar que este autor analisou a variação da precipitação de cada mês ao longo de vários anos e o que se observa que a dependência temporal ocorre entre os meses ao longo do ano. O alcance observado para a precipitação pluvial, que foi de nove meses, é o maior valor entre os fatores analisados e sugere um período homogêneo de nove meses. Enquanto Moura et al. (2006), analisando a variação da precipitação e da temperatura na Região do Sub-médio São Francisco observaram a existência de um quadrimestre mais chuvoso, que concentra a maior parte da precipitação, com o restante do ano praticamente sem chuva. Para a temperatura do ar o alcance foi de praticamente cinco meses e de seis e sete meses para a umidade relativa do ar e velocidade do vento, respectivamente.

**TABELA 2. Modelos e parâmetros dos variogramas escalonados da precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.**

Atributos	Modelo	A <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	R <sup>2</sup>	IDT
Precipitação	Esférico	9,07	2198	4397,00	93	50
Temperatura do ar	Esférico	4,88	0,001	2,87	83	99
Umidade relativa do ar	Esférico	5,99	18,8	91,90	88	80
Velocidade do vento	Esférico	7,27	245	3024,00	98	92

Precipitação pluvial, mm; temperatura do ar, °C; umidade relativa do ar, %; velocidade do vento, km dia<sup>-1</sup>; Ao: alcance da dependência temporal; C<sub>0</sub>: efeito pepita; C<sub>0</sub>+C: patamar; IDT: índice de dependência temporal e R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação múltipla do ajuste.

A dependência temporal apresentou valores classificados como forte para temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento ( $\geq 75\%$ ) e dependência moderada para a precipitação ( $25\% \leq \text{IDT} \leq 75\%$ ) segundo a proposta de Zimback (2001).

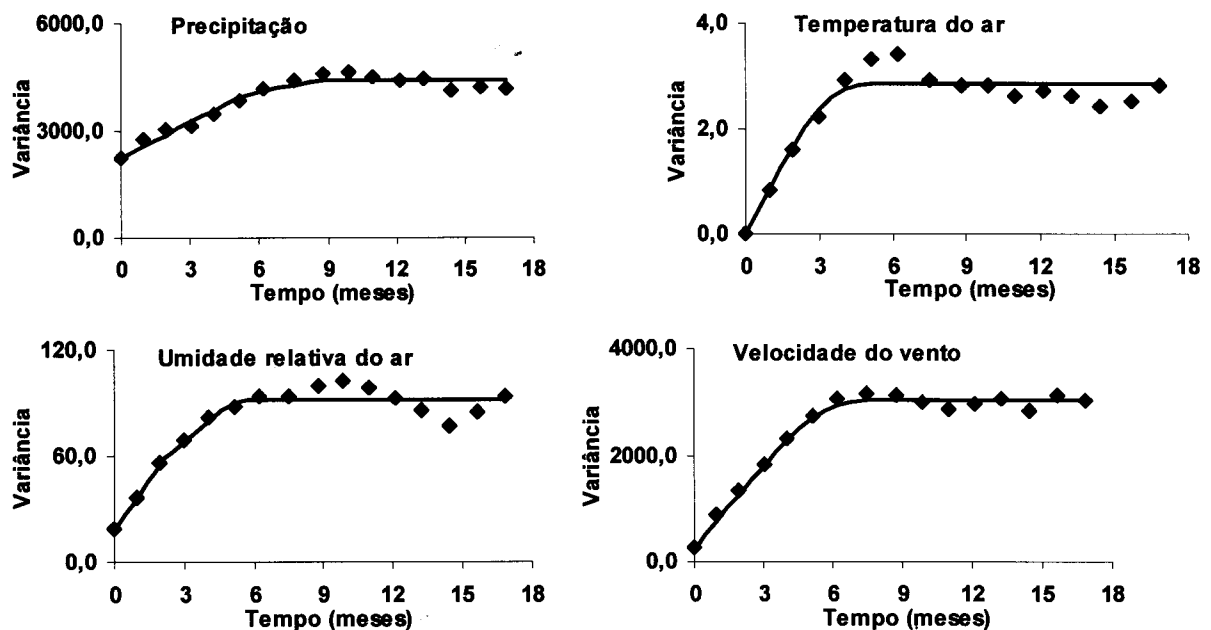


Figura 1 – Variogramas da precipitação pluvial, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento em Petrolina – PE, entre 1975 e 2008.

Na Figura 2 é possível observar a variação dos fatores climáticos ao longo dos 33 anos de observação e ao longo dos meses do ano, através do mapa confeccionado por interpolação utilizando a técnica da krigagem. Esta técnica estima os dados com mínima variância dos valores de um atributo no tempo a partir dos valores observados.

Observa-se que a concentração da precipitação é marcante ao longo do ano com um período chuvoso que se concentra entre os meses de novembro a abril (compreendida entre as duas barras do mapa temporal de precipitação), com os meses de janeiro a março os de maior volume de chuva, que pode explicar o alcance de nove meses calculado apresentado pelo modelo matemático gerado no variograma. Verifica-se também que no segundo semestre dos anos de 1985 e 2004 há uma concentração de chuvas acima de 120 mm, que coincide com os anos de maior volume de chuvas dentre os dados observados. O excesso de chuvas em 1985 também foi comentado por Uvo (1985), ocasionado pela permanência acima do normal Zona de Convergência Tropical atuando na região. No ano de 1993 verifica-se uma baixa precipitação total, ano em que a incidência de precipitações entre 20 e 60 mm se concentraram no período mais chuvoso para a região.

As temperaturas mais elevadas são observadas no segundo semestre entre os meses de novembro e dezembro, chegando a se prolongar até março de alguns anos. Temperaturas mais amenas, próximas a 22°C, são observadas nos meses de junho e julho, esta observação do mapa (Figura 2), coincide com a análise realizada por Moura et al. (2006). Entre os anos de 1980 e 1985 observa-se o período de altas temperaturas foi mais prolongado com o primeiro e segundo trimestre destes anos com temperatura média mensal acima dos 28°C.

O mapa temporal da umidade relativa do ar (Figura 2), como era de se esperar, apresentou um comportamento inverso ao da temperatura, com queda acentuada da umidade nos períodos de alta temperatura e umidade mais elevada nos períodos de menor temperatura, ao longo do ano. No segundo semestre do ano a média mensal da umidade relativa do ar atinge valores menores que 50%. Observa-se que no ano de 1993 houve um grande período do ano com umidade relativa do ar abaixo de 60%, que coincide com a baixa disponibilidade de chuva do período.

Quanto à velocidade dos ventos observa-se uma maior intensidade deste fator climático no segundo semestre, considerado o período analisado. A baixa intensidade deste fator climático próximo ao ano de 2005, observado no mapa temporal, deve-se a falha nos dados que durou todo o ano de 2006 e 2007.

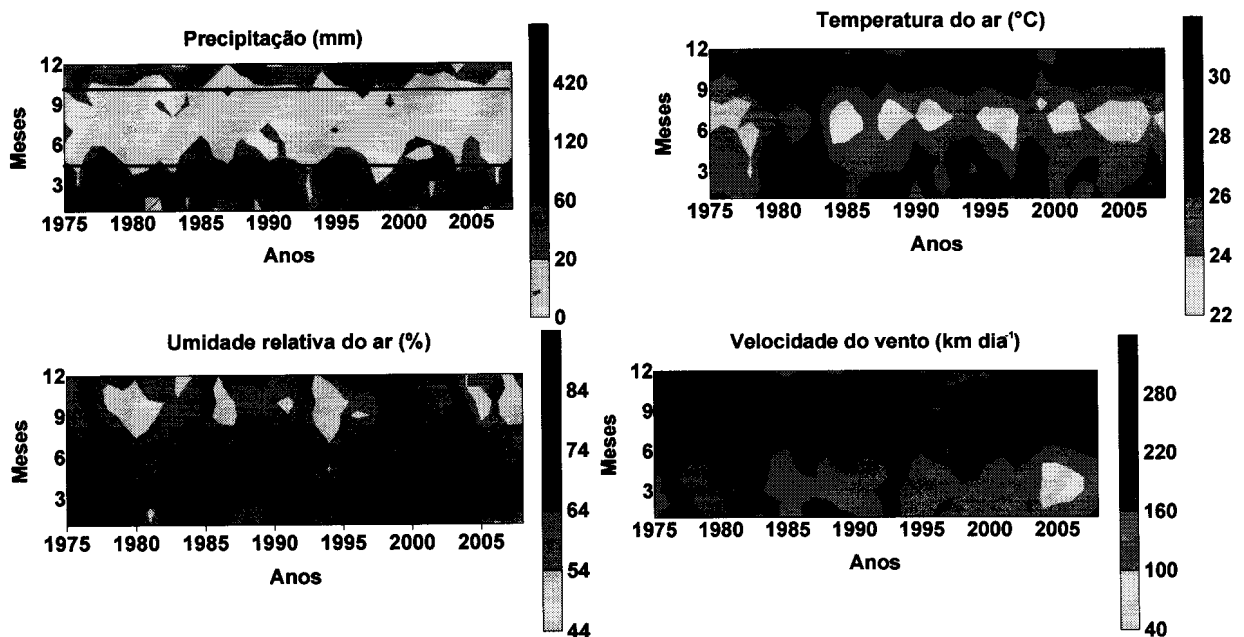


Figura 2– Mapa temporal da precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento em Petrolina – PE, entre 1975 e 2008.

## CONCLUSÕES

Todas as variáveis climáticas apresentaram dependência temporal. A precipitação concentrou-se no período de novembro a abril, com os maiores volumes de chuva ocorrendo entre os meses de janeiro e março com os demais meses com baixa incidência de chuva. A análise temporal detectou uma heterogeneidade dos volumes de chuva ao longo dos anos. Durante todo o período analisado, os meses do ano de maior temperatura do ar, velocidade do vento são os meses do segundo semestre e a umidade relativa do ar chega a valores abaixo de 60% no último trimestre do ano. No caso de Petrolina, excetuando-se o período entre 1980-85, os fatores climáticos estudados mantiveram-se com variabilidade temporal constante não demonstrando mudanças climáticas.

A confecção de mapa temporal de fatores climático mostrou-se uma ferramenta útil na análise e visualização da variação ao longo do tempo.

## REFERENCIAS

- BORGES, E.E.L.; RENA, A.B. Germinação de sementes In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.M.C.; FIGLIOLIA, M.B. (Coord.). Sementes florestais tropicais. Brasília, DF: ABRATES, 1993. p.83-135.
- CAMARGO, Á. P. DE & SENTELHAS, P. C. 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, 1997.
- 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.
- DALY, C.; NEILSON, R. P.; PHILIPS, D. L. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. Journal of Applied Meteorology, v.33, n.2, p.140-158, 1994.
- GOODALE, C. L.; ALBER, J. D.; OLLINGER, S. V. Mapping monthly precipitation, temperature and solar radiation for Ireland with polynomial regression and digital elevation model. Climate Research, v.10, n.1, p.35-49, 1998.
- MARQUÍNEZ, J.; LASTRA, J.; GARCIA, P. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. Journal of Hydrology, v.270, n.1, p.1-11, 2003.
- MARTINEZ-COB, A. Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. Journal of Hydrology, v.174, n.1-2, p.19-35, 1996.
- MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, n.4, p.537-545, 2007.
- MOLION, L.C.B. 1987. On the dynamic climatology of the Amazon basin and associated rain-producing mechanisms. In: The Geophysiology of Amazonia Vegetation and Climate Interactions. New York, John Wiley and Sons.
- MOURA, M. S. B. ; GALVÍNCIO, J. D. ; SÁ, IVAN IGHOOR SILVA ; RIBEIRO, JANES GALVÍNCIO ; SILVA, THIERES GEORGE FREIRE DA . Variação Espacial da Precipitação e Temperatura o Ar no Submédio São Francisco. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis, SC. Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006. v. XIV
- RIBEIRO, A. M.; LUNARDI, D. M. C. A precipitação mensal provável para Londrina – PR, através da função

- gama. Energia na Agricultura, Botucatu, v.12, n.4, p.37-44, 1997.
- ROBERTSON, G. P. GS+: Geoestatics for the environmental sciences – GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Desing Software, 2004. 152 p.
- 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.
- TEIXEIRA, A. H. DE C.; BASSOI, L. H.; COSTA, W. P. L. B. DA; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G. DA. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 45-50, 2002.
- UVO, C.R.B. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região Norte do Nordeste brasileiro. São José dos Campos, 1985. 79 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, MCT.
- VAUCLIN, M.; VIEIRA, S.R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D.R. The use of cokriging with limited field soil observations. Soil Science Society of America Journal, v.47, p.175-184, 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.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. Soil Science Society of America Journal, v.45, n.6, p.1040-1048, 1981.
- WARRICK, A.W. E 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.
- WU, S. J.; TUNG, Y. K.; YANG, J. C. Stochastic generation of hourly rainstorm events. Stochastic Environmental Research Risk Assessment, v.21, p.195-212, 2006.
- 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.