

## VARIABILIDADE ESPACIAL DOS PERCENTIS 75 DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL ANUAL PARA O ESTADO DO PIAUÍ

**Francisco Edinaldo Pinto Mousinho<sup>1</sup>; Aderson Soares de Andrade Júnior<sup>2</sup>; Antônio Carlos Andrade Gonçalves<sup>3</sup>; José Antonio Frizzone<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Federal do Piauí, Campus Amílcar Ferreira Sobral, Florian, -PI, edinaldomousinho@bol.com.br*

<sup>2</sup>*EMBRAPA Meio-Norte, Teresina, -PI*

<sup>3</sup>*Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia, Maringá, PR*

<sup>4</sup>*Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP*

### 1 RESUMO

No presente trabalho foi avaliada a variabilidade espacial dos percentis 75 da precipitação pluvial anual para o Estado do Piauí, empregando-se técnicas estatísticas descritivas e geoestatísticas. A estatística descritiva descartou a presença de valores extremos e confirmou o ajuste dos dados à distribuição normal, sendo realizada então a análise geoestatística. O semivariograma experimental foi melhor ajustado ao modelo Gaussiano, mostrando nítida continuidade espacial do atributo estudado. Utilizando-se a krigagem ordinária, os valores dos percentis 75 foram estimados para locais não amostrados e a seguir gerado o mapa temático para o Estado do Piauí. Os percentis 75 apresentaram uma grande variabilidade espacial sendo os maiores valores observados no noroeste do Estado e os menores no sudeste, região semi-árida. A variância dos dados se aproximou do patamar do modelo de semivariograma, o que contribui para se pressupor a condição de estacionaridade do processo. O efeito pepita de 9200mm<sup>2</sup> revelou a variabilidade não explicada ou a possibilidade de existir dependência espacial em uma escala menor que a amostrada. Os percentis 75 da precipitação anual apresentaram um alcance da dependência espacial da ordem de 240 km, com forte continuidade espacial, e a sua espacialização para o Estado do Piauí permitiu a visualização da sua distribuição.

**UNITERMOS:** Precipitação pluviométrica, espacialização, geoestatística

**MOUSINHO, F. E. P., ANDRADE JÚNIOR, A. S. , GONÇALVES, A. C. A.,  
FRIZZONE, J. A. SPATIAL VARIABILITY OF ANNUAL 75 PERCENTIL  
PRECIPITATION FOR PIAUI STATE**

### 2 ABSTRACT

In the present work the spatial variability of annual 75-percentile precipitation for Piauí State, using descriptive statistical and geostatistics techniques, was evaluated. Descriptive statistics discarded the presence of extreme values and confirmed the data adjustment to normal distribution, and then geostatistical analysis was carried out. The experimental semivariogram was better adjusted to the Gaussian model, showing the spatial continuity of the studied matter. Using ordinary kriging, the 75 percentile values were estimated for non-sampled points and then a map was generated for Piauí State. 75 percentile

values presented a great spatial variability with maximum values in the northwestern region and minimum values in the southeastern one, i.e., the semi-arid region. Data semi variance was close to the semivariogram model sill and that contributes to presuppose the stationary process condition. The nugget effect value of 9200mm<sup>2</sup> revealed the non-explained variability or the possibility of spatial dependence existence in a smaller scale than the sampled one. The annual 75-percentile precipitation presented a spatial dependence range of 240 km, with strong spatial continuity, and its spatialization for Piauí State can be used for agricultural zoning state programs.

**KEYWORDS:** pluviometric precipitation, spatialization, geostatistics

### 3 INTRODUÇÃO

A distribuição espacial da precipitação pluviual em uma determinada região é um dos fatores que refletem diretamente os diferentes níveis de desenvolvimento regional, principalmente o agrícola, pois dentre todas as atividades produtivas a agricultura é a que apresenta maior dependência da ocorrência das chuvas, sendo esta a principal responsável pela alternância das produções agrícolas anuais (Morais et al., 2001).

No Estado do Piauí, onde predomina a agricultura de “sequeiro”, é de capital importância a realização de estudos sobre a distribuição espacial destas no seu território, tornando possível um planejamento regional criterioso quanto às culturas a serem exploradas e locais e épocas de cultivo, de modo a se obter, com um dado nível de probabilidade, um determinado nível de rendimento.

De acordo com Gomes & Cruz (2002), vários trabalhos têm sido feitos visando caracterizar a distribuição das precipitações pluviuais, utilizando-se para tal as médias, sazonais ou anuais. Todavia, estas informações não são suficientemente confiáveis para fins de planejamento agrícola, constituindo um risco para o produtor, já a probabilidade de ocorrência das médias é de apenas 50%, justificando o uso de probabilidades não inferiores a 75% com vistas a minimizar estes riscos (Gondim & Fernández Medina, 1980).

A análise estatística clássica considera que os valores medidos de uma determinada variável são independentes, variando aleatoriamente no espaço, o que nem sempre é verdade. Contrariamente, a geoestatística considera a continuidade espacial da variável, tendo, assim, um amplo campo de utilização pois muitas variáveis têm nítida continuidade espacial e devem ser analisadas segundo a teoria das variáveis regionalizadas (Hamlett et al, 1986).

De acordo com Gonçalves et al. (2001), a hipótese do ajuste dos valores de determinado atributo à distribuição normal geralmente não é testada, embora a realização de qualquer estudo estatístico ou geoestatístico assumam a condição de normalidade dos dados. Segundo Hamlett et al. (1986), a análise exploratória dos valores de uma determinada variável distribuída no espaço, é um procedimento indispensável em estudos geoestatísticos, pois, por meio deste se verifica o ajuste dos mesmos à distribuição normal. Gonçalves et al. (2001), também, ressaltaram a importância de uma cuidadosa análise de variáveis espacialmente distribuídas como etapa prévia de uma análise geoestatística.

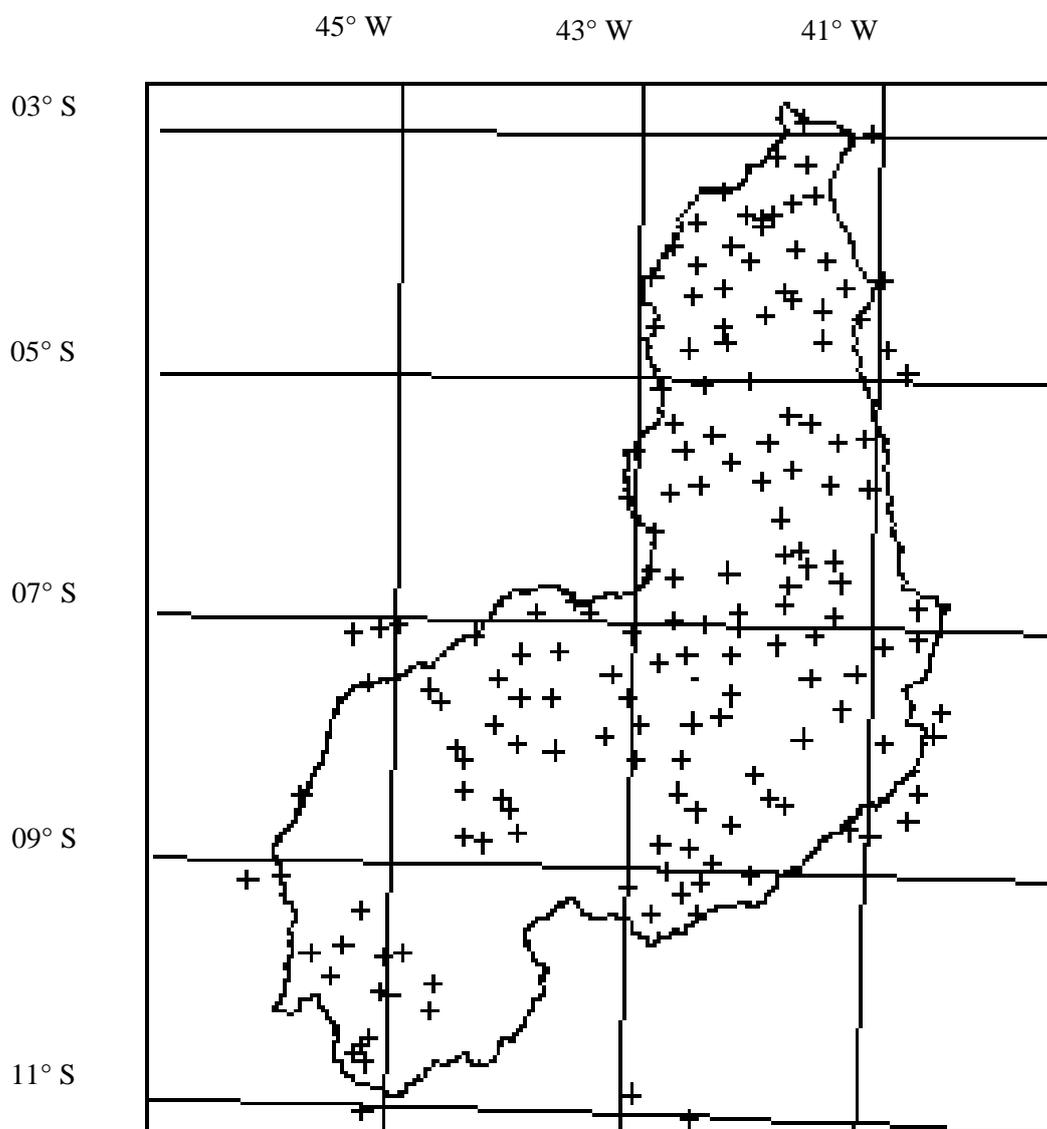
Com o conhecimento do padrão de variabilidade espacial de um atributo pode-se estimar valores em locais não amostrados, sendo a krigagem o interpolador utilizado nos estudos geoestatísticos por ser não tendencioso e de variância mínima, assegurando a melhor estimativa. Utilizando-se uma grade regular de valores estimados através da krigagem pode-se elaborar mapas que representem a distribuição da variável em uma determinada região, os

quais constituem uma das maneiras mais ilustrativas para representar a espacialização de uma variável em uma determinada área.

Face ao exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade espacial dos percentis 75 da precipitação pluviométrica anual e realizar a sua espacialização para o Estado do Piauí, empregando-se técnicas estatísticas descritivas e geoestatísticas.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado utilizando-se dados dos percentis 75 da precipitação pluvial anual com séries históricas entre 15 e 20 anos, obtidos em 165 postos pluviométricos distribuídos irregularmente no Estado do Piauí e Estados circunvizinhos. A Figura 1 ilustra a distribuição espacial dos postos utilizados no estudo.



**Figura 1** – Distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados no estudo

A estatística descritiva consistiu na determinação de medidas de posição, dispersão e de forma, quais sejam: média, mediana, valor máximo, valor mínimo, amplitude total, quartil superior (QS(75%)), quartil inferior (QI(25%)), amplitude interquartílica (AI), limite inferior(LI) e superior(LS), variância, desvio-padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose. A amplitude interquartílica (AI) e os limites superior(LS) e inferior(LI) foram obtidos utilizando as equações:

$$AI = QS - QI \quad (1)$$

$$LI = QI - 1,5AI$$

(2)

$$LS = QS + 1,5AI \quad (3)$$

A análise das medidas de posição, dispersão e de forma, juntamente com o histograma e o gráfico de probabilidade normal permitiu verificar o quanto a distribuição empírica se aproxima da normal, sendo esta hipótese comprovada estatisticamente pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Tendo em vista que as medidas estatísticas descritivas são bastante influenciadas pela presença de valores extremos, os quais segundo Libardi et al. (1996), são candidatos a “outliers”, realizou-se uma análise exploratória dos dados utilizando-se os limites inferior e superior para detectar a presença de tais valores, bem como a análise dos gráficos “box-plot” e de probabilidade normal.

Uma vez confirmada a normalidade dos dados, a inexistência de valores discrepantes ou extremos e as condições de estacionaridade, o semivariograma experimental foi gerado através do software GS+ (Geostatistics for the Environmental Sciences) V.5 (Robertson, 1998), utilizando-se o estimador apresentado por Journel (1989):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_1^{N(h)} [Z(s) - Z(s+h)]^2 \dots\dots\dots(4)$$

em que:

 $\hat{\gamma}(h)$  - semivariância

Z(s) - valor da variável na posição s

Z(s+h) - valor da variável em uma posição s+h

N(h) - número de pares de dados separados por uma distância h.

Após a geração do semivariograma experimental foram testados os modelos matemáticos teóricos linear com patamar, esférico, exponencial e gaussiano, conforme as equações 5 a 8, respectivamente, que de acordo com McBratney & Webster (1986) estão entre os ditos autorizados.

$$\gamma(h) = C_0 + \frac{C_1}{a} h \quad \text{para } 0 \leq h \leq a \quad \text{e} \quad \gamma(h) = C_0 + C_1 \quad \text{para } h > a \dots\dots\dots(5)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad \text{para } 0 \leq h \leq a \quad \text{e} \quad \gamma(h) = C_0 + C_1 \quad \text{para } h > a \dots\dots(6)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3 \frac{h}{a})] \quad \text{para } h \geq 0 \dots\dots\dots(7)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-\frac{h}{a})^2] \quad \text{para } h \geq 0 \dots\dots\dots(8)$$

O modelo matemático do semivariograma foi ajustado utilizando-se o software GS+ (Robertson, 1998). A partir da análise do modelo de semivariograma ajustado, bem como dos seus coeficientes efeito pepita, alcance e patamar, foi realizado o estudo da variabilidade espacial dos percentis 75 da precipitação pluvial anual para o Estado do Piauí.

A krigagem ordinária, de acordo com Felgueiras (2000), é um estimador que utiliza médias locais ou tendências locais estimadas a partir das amostras vizinhas ao invés de uma única média estacionária, como o faz um algoritmo de krigagem simples. Os valores da variável em cada posição  $s$ , não amostrada, são estimados sem a necessidade de se conhecer a média estacionária segundo uma combinação linear dos valores de um subconjunto amostral local. A condição para isso é que o somatório dos ponderadores da krigagem ordinária seja igual a 1.

O estimador de krigagem ordinária é dado por:

$$Z_{X_0}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_{X_i}$$

(9)

com

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (10)$$

em que:

$Z_{X_0}^*$  - valor estimado da variável no local  $X_0$ ;

$Z_{X_i}^*$  - valor da variável na posição vizinha  $i$ , conhecida;

$\lambda_i$  - ponderador

A partir da grade resultante da interpolação por krigagem ordinária os valores dos percentis 75 foram geoespacializados através do software SPRING 4.1 (Câmara et al, 1996), realizando-se o fatiamento em cinco classes temáticas, recortando-se o plano de informação para os limites do Estado do Piauí, obtendo-se assim o mapa temático dos percentis 75 da precipitação anual.

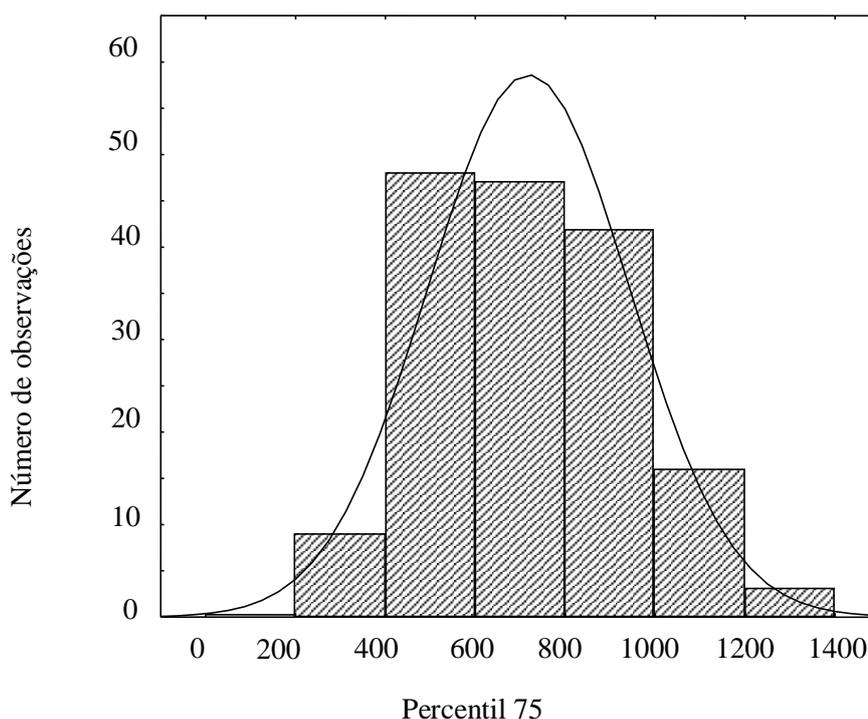
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentado o resumo da estatística descritiva dos valores dos percentis 75 da precipitação pluvial anual. Os valores da precipitação pluvial anual com probabilidade de ocorrência de 75% apresentam uma grande variabilidade espacial tendo um valor mínimo de 232,05 e máximo de 1316,08mm, tendo, portanto, uma amplitude de 1074,03mm e um coeficiente de variação que pode ser considerado alto (31,26%). Observa-se que o valor da média é um pouco superior à mediana indicando uma distribuição ligeiramente assimétrica à esquerda, fato também comprovado pelo valor da assimetria (0,183), ligeiramente superior a zero, e pela observação do histograma apresentado na Figura 2. O valor do coeficiente de

curtose (k) igual a 2,37 revela que, a forma da distribuição, embora platicúrtica, se aproxima da forma mesocúrtica (k=3), característica da distribuição normal.

**Tabela 1** - Estatística descritiva para os valores de percentil 75 da precipitação anual(mm) obtidos nos 165 postos pluviométricos

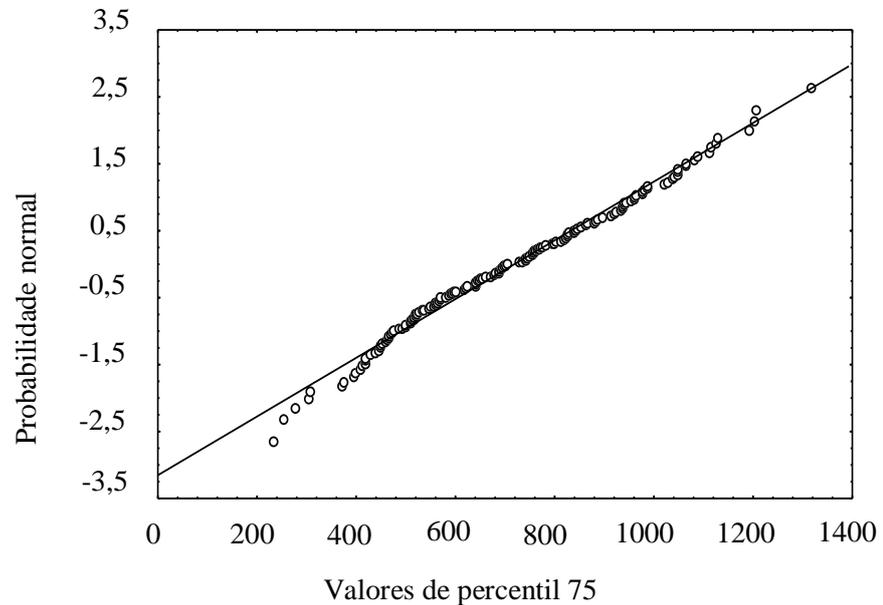
N	média	mediana	mínimo	máximo	Amplitude total	Variância	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
165	718,74	698,72	232,05	1316,08	1074,03	50478,74	224,67	31,26%
assimetria	Curtose (k)	Quartil inferior	Quartil superior	Amplitude interquartilica	Limite inferior	Limite superior		
0,183	2,37	535,25	884,11	348,86	11,95	1407,40		



**Figura 2.** Histograma dos valores do percentil 75 da precipitação anual

A presença de poucos pontos afastados da reta do gráfico de probabilidade normal, Figura 3, também sugere que os percentis 75 nos 165 locais analisados parecem se ajustar à distribuição normal, fato comprovado estatisticamente pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%, considerando-se que para variáveis obtidas na natureza o ajuste à normalidade pode ser apenas aproximado (Warrick & Nielsen, 1980, Apud Gonçalves et al., 2001). Considerando-se os valores dos limites inferior (LI) e superior (LS)

como delimitadores de valores candidatos a outliers, conforme salientado por Libardi et al. (1996), não foi observado nenhum valor de percentil 75 da precipitação anual fora deste intervalo, afastando-se assim a hipótese da presença de valores extremos ou candidatos a outliers.

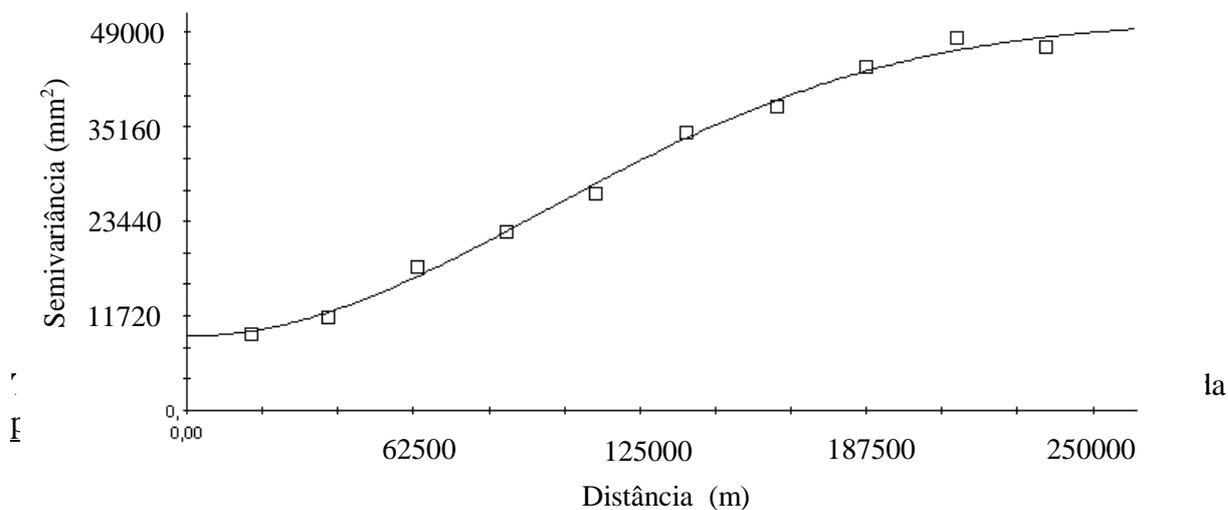


**Figura 3.** Gráfico de probabilidade normal para os percentis 75 da precipitação anual

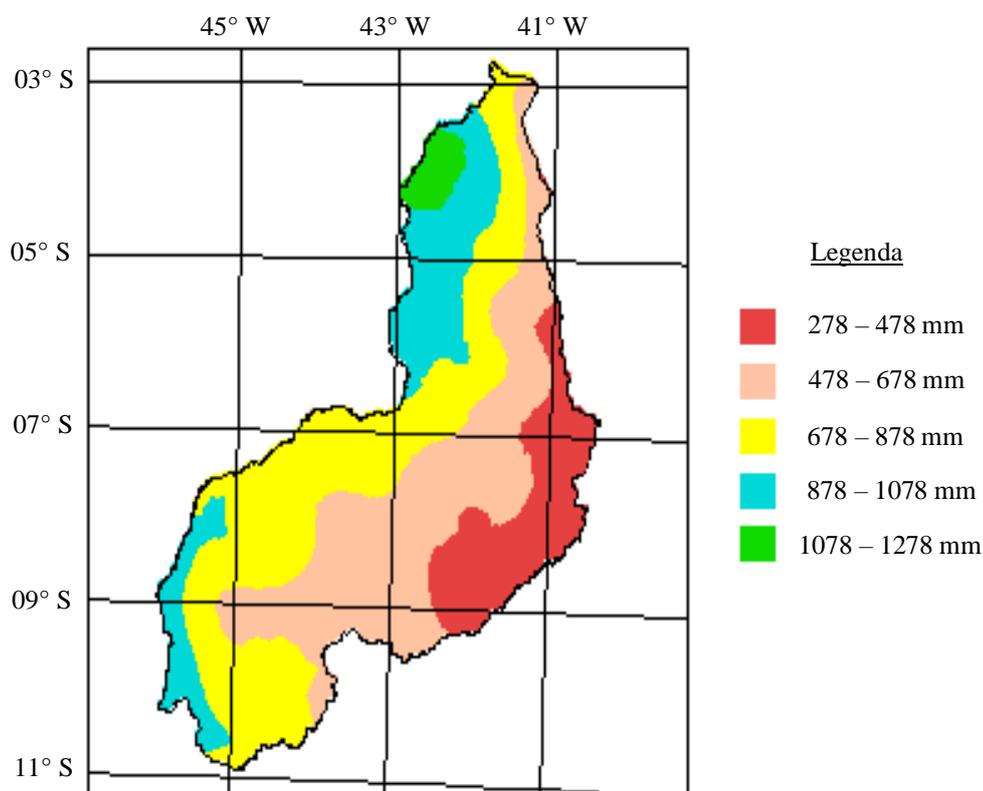
Na Figura 4 é apresentado o modelo teórico de semivariograma ajustado aos dados dos percentis 75 da precipitação pluvial anual e na Tabela 2 são apresentados os coeficientes deste modelo, bem como a relação entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o patamar ( $C_0+C$ ). O modelo Gaussiano foi o que melhor se ajustou ao semivariograma experimental, mostrando nítida continuidade espacial do atributo estudado, pois a semivariância cresce com a distância de separação entre os pares de dados,  $h$ , até um determinado valor. Este valor de semivariância ( $48420 \text{ mm}^2$ ) corresponde ao patamar do semivariograma, sendo que a presença deste garante a condição de estacionaridade (Vieira & Lombardi Neto, 1995). Trangmar et al (1985) ressaltam a importância da escolha correta do modelo de semivariograma ajustado aos dados pois cada modelo pode proporcionar diferentes valores dos coeficientes, que são parâmetros críticos para a estimativa de valores da variável em locais não amostrados através da interpolação por krigagem.

O efeito pepita ( $9.200 \text{ mm}^2$ ) revela a variabilidade não explicada ou a possibilidade de existir dependência espacial em uma escala menor que a amostrada. O alcance ( $240600 \text{ m}$ ) representa o limite de distância da dependência espacial da variável, sendo que em pontos distanciados entre si de um valor superior a este a variável comporta-se como aleatória, o que também garante que todos os pontos vizinhos localizados dentro de um raio de distância igual a este, podem ser usados para estimar valores da variável para qualquer ponto dentro deste raio (Vieira & Lombardi Neto, 1995). Considerando a classificação do grau de continuidade espacial citada por Cambardella et al. (1994), verifica-se que os percentis 75 da precipitação pluvial anual para o estado do Piauí apresentam forte continuidade espacial, pois

a relação entre o efeito pepita e o patamar ( $C_0/C_0+C$ ) mostrou que o valor do efeito pepita representou menos de 25% do valor do patamar.



**Figura 4.** Semivariograma para os percentis 75 da precipitação pluvial anual para o Estado do Piauí com modelo Gaussiano ajustado ( $r^2=0,995$ )



**Figura 5.** Mapa temático da distribuição espacial dos percentis 75 da precipitação pluvial anual para o Estado do Piauí

Estado do Piauí. Os valores do percentil variam de 278 a 1278 mm por ano, existindo, portanto, uma grande variabilidade espacial, sendo que em geral o crescimento dos valores ocorre na direção

leste-oeste, com menores valores na região próxima aos estados da Bahia, Ceará e Pernambuco, onde o regime pluviométrico segue o padrão do semi-árido. A região noroeste do Estado é a que apresenta os maiores valores de percentil 75 da precipitação anual, sendo esta limítrofe com o estado do Maranhão, apresentando valores superiores a 878mm por ano.

Na Tabela 3 são apresentados os percentuais da área de cada classe de percentil 75 da precipitação anual em relação à área total do estado do Piauí. A classe de valores que ocupa a maior área é a de 678-878mm, a qual representa 34,37% da área do Estado, enquanto que a classe de 1078-1278mm é a que ocupa a menor área, apenas 2,50% da área do Estado.

**Tabela 3** – Percentual das áreas das classes de valores dos percentis 75 da precipitação anual em relação à área do estado do Piauí

Classe(mm)	278-478	478-678	678-878	878-1078	1078-1278
% área do Estado	14,47	31,85	34,37	16,81	2,50

## 6 CONCLUSÕES

1. Os percentis 75 da precipitação pluvial anual para o estado do Piauí apresentam grande variabilidade espacial (CV=31,26%), com forte estrutura de dependência espacial, sendo o alcance da ordem de 240,6 km.
2. A geoespacialização dos valores dos percentis 75 da precipitação pluvial anual para o estado do Piauí, utilizando-se procedimentos geoestatísticos, bem como a construção do seu mapa temático, permitiu a visualização da sua variabilidade espacial e a regionalização da sua distribuição, podendo servir de subsídio para programas de zoneamento agrícola do Estado.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M., FREITAS, U. M. & GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, Elmsford, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Seattle, v.58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

FELGUEIRAS, C. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/teses/carlos>. Acesso em: 12 nov. 2004.

GOMES, B. M.; CRUZ, R. L. Comportamento espacial dos percentis 75 da precipitação decenal para o Estado de São Paulo, na primavera. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 2, p.142-153, 2002.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. da. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.3, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

GONDIM, A. W. de A.; FERNÁNDEZ MEDINA, N. Probabilidade de chuva para o município de Areia/PB. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 1, n. 1, p. 55-67,1980.

HAMLETT, J. M.; HORTON, R.; CRESSIE, A. C. Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p. 868-875, 1986.

JOURNEL, A. G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons**. Washington: American Geophysical Union, 1989. 40 p.

LIBARDI, P. L. et al. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p. 1-12, 1996.

MORAIS, A. R. et al. Estimativa da precipitação provável em Lavras(MG) através da distribuição Gama. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 305-310. 2001.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.37, p. 617-639, 1986.

ROBERTSON, G.P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences**. Versão 5.03 Beta, Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.

TRANGMAR, B. B. et al. Application of Geostatistic to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 45-94. 1985.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n.2, p. 405-412, 1995.