

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA
BACHARELADO EM ESTATÍSTICA

Utilização de Métodos Geoestatísticos
na Análise Espacial de Dados
dos Municípios Paraibanos

ORIENTADOR: Ronei Marcos de Moraes

BOLSISTA: Izabel Cristina Alcantara de Souza

ORGÃO: PIBIC/CNPq/UFPB

PERÍODO: 08/2003 a 07/2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA
BACHARELADO EM ESTATÍSTICA

RELATÓRIO FINAL DO PROJETO DE PESQUISA:

Utilização de Métodos Geoestatísticos
na Análise Espacial de Dados
dos Municípios Paraibanos

ORIENTADOR:

Ronei Marcos de Moraes

BOLSISTA:

Izabel Cristina Alcantara de Souza

ORGÃO: PIBIC/CNPq/UFPB

PERÍODO: 08/2003 a 07/2004

Resumo

A representação computacional de fenômenos geográficos, tais como, a distribuição espacial de dados geofísicos, geoquímicos, meteorológicos, etc. pode ser realizada em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica – SIG. Os SIG's são tecnologias do Geoprocessamento que possibilitam integrar as operações convencionais de base de dados com a possibilidade de análise geográfica oferecidas pelos mapas. Em geral, estas análises podem ser realizadas através de modelos determinísticos ou modelos estocásticos, entre os quais se encontram os modelos geoestatísticos. Este estudo consiste na utilização de um modelo geoestatístico de Krigagem para estimar valores característicos da distribuição de dados pluviométricos (precipitação acumulada do mês, em mm) do estado da Paraíba, no período de janeiro de 1998 a dezembro de 2001. Estes dados foram fornecidos pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG. Verificou-se através de uma análise exploratória que os dados em questão são assimétricos e sem estacionaridade, não atendendo, portanto, as exigências do modelo de Krigagem linear. Sendo assim, aplicou-se o modelo de Krigagem não-linear por Indicação, uma vez que este é mais apropriada para este conjunto de dados. Realizou-se um estudo bibliográfico sobre Krigagem por Indicação e descreveu-se o processo de geração destes modelos no sistema SPRING (programa SIG utilizado neste projeto). Os resultados obtidos a partir dos modelos gerados estão descritos neste relatório, que está disponibilizado para acesso público, via Web, atingindo o objetivo de difusão de uma cultura e uso de SIG, dentro e fora da UFPB.

Sumário

1	Introdução	4
2	Objetivos	6
3	Referencial Teórico	7
3.1	Sistemas de Informação Geográfica	7
3.1.1	Amostragem	9
3.1.2	Modelagem	10
3.1.3	Aplicações	12
3.1.4	Distância entre as amostras	13
3.2	Geoestatística	14
3.2.1	Dados espaciais e não-espaciais	14
3.2.2	Fundamentação Teórica da Krigagem	15
3.2.3	Krigagem não-linear por Indicação	16
3.2.4	Variograma Indicador	26
3.3	Características Climáticas da Paraíba	31
3.4	Sistema SPRING	33
4	Processo de modelagem das amostras	35
4.1	Geoprocessamento das amostras	35
4.1.1	Nomenclatura das variáveis	35
4.1.2	Criação do banco de dados geográfico no SPRING	36
4.2	Análise Exploratória das amostras	40
4.3	Codificação por Indicação	43
4.4	Geração do Semivariograma	44
4.5	Modelagem do Semivariograma	45
4.6	Krigagem por Indicação	45
5	Resultados	48
6	Discussão	76
7	Conclusão	78
	Referências	79
Apêndice A	Parâmetros dos modelos de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada, referentes aos meses do período (1998 a 2001)	81

1 Introdução

Sistemas de Informação Geográfica – SIG – são tecnologias do Geoprocessamento que permitem representar em ambientes computacionais fenômenos geográficos, tais como, a distribuição espacial de dados geofísicos, geoquímicos, meteorológicos, etc (CARVALHO; PINA; SANTOS, 2000). Esta representação pode ser realizada através de várias técnicas de modelagem. Em geral, estas técnicas podem ser vistas de duas formas (FELGUEIRAS, 1999): modelagem determinística, que desconsidera a aleatoriedade dos fenômenos geográficos, como os interpoladores de Tendência e os de Média Móvel; modelagem estocástica, que considera a aleatoriedade dos fenômenos espaciais, como os interpoladores geoestatísticos.

A utilização de métodos Geoestatísticos na análise espacial de dados pluviométricos das estações meteorológicas do estado da Paraíba é o escopo deste estudo. Segundo Nimer (1979), a distribuição espacial da pluviometria paraibana apresenta uma alta variabilidade, caracterizada por áreas semi-áridas (com precipitação média anual de 500mm) e áreas bastante chuvosas (com precipitação média anual de 1.800mm). Devido a esta alta variabilidade, a metodologia geoestatística estudada foi a Krigagem por Indicação, que por ser uma metodologia não-paramétrica de interpolação espacial, não é necessário fazer nenhuma suposição a priori a respeito das distribuições probabilísticas da precipitação no estado da Paraíba. Segundo Felgueiras (1999), a Krigagem por Indicação pode ser usada para modelar atributos com alta variabilidade espacial, sem perda de informações que estejam muito distantes de uma tendência (valores discrepante), como os dados em questão.

Os dados pluviométricos referem-se as amostras de precipitação, obtidas de 228 a 230 estações meteorológicas espalhadas pelo estado da Paraíba, em períodos mensais de

janeiro de 1998 a dezembro de 2001. Estes dados foram cedidos pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG. Utilizou-se também, uma base cartográfica contendo o mapa político do estado da Paraíba, que foi obtida no Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil - DATASUS (DATASUS, 2003).

2 Objetivos

Este estudo tem como principal objetivo difundir uma cultura do uso de Sistemas de Informação Geográfica. Futuramente, um sistema desse tipo, bem estruturado, poderá auxiliar pesquisas sobre o estado da Paraíba por pesquisadores da própria Paraíba, como de outros estados e até mesmo outros países, com aplicações em diversas áreas do conhecimento.

Para atingir esse objetivo, realizou-se um estudo bibliográfico sobre SIG's, descrevendo o processo teórico de representação computacional de fenômenos naturais. As fases deste processo vão desde as formas de obtenção dos dados (amostragem), geoprocessamento das amostras em um SIG, seguido pelo processo de modelagem (através da metodologia geoestatística de Krigagem por Indicação) e finalizando com uma explanação dos principais tipos de aplicações que podem ser realizados com estes modelos em um SIG. Para geo-processar as amostras de precipitação do estado, estudou-se também as formas de implementação das amostras no sistema SPRING (SPRING, 1996), que é o programa SIG que está sendo utilizado neste projeto. Em seguida, construiu-se o banco de dados geográficos contendo as amostras de precipitação das estações meteorológicas do estado da Paraíba, para os períodos mensais, desde janeiro de 1998 a dezembro de 2001. Estes dados foram modelados pelo método de Krigagem por Indicação, gerando as superfícies mediana e intervalo interquartil para cada um dos meses deste período. Visando atingir o objetivo de difusão dessa cultura, essas informações foram disponibilizadas para acesso público via Web, no endereço <<http://www.de.ufpb.br/~ronei/monica/index.html>>.

3 Referencial Teórico

3.1 Sistemas de Informação Geográfica

Os SIGs possibilitam integrar dois tipos de operações realizadas com base de dados. As operações convencionais como captura, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados, conjuntamente, com as operações que possibilitam a visualização e análise geográfica oferecidas pelos mapas (CARVALHO; PINA; SANTOS, 2000). Permite ainda representar em ambientes computacionais fenômenos geográficos de uma localidade, tais como: a distribuição da altimetria, precipitação, tipos de solo, cobertura vegetal, etc. Assim, ele serve como suporte para análise espacial de fenômenos naturais (CÂMARA et al., 2001). Para se ter uma visão das possibilidades de representação em um SIG é necessário compreender os seus conceitos básicos.

O primeiro destes conceitos é o de **espaço geográfico**, que consiste em uma coleção de localizações na superfície da terra, onde ocorrem os fenômenos geográficos. Caracteriza-se por ser um espaço localizável, que pode ser determinado em função de suas coordenadas, sua altitude e sua posição relativa (DOLFUS, 1991). Ao se realizar um estudo pode-se delimitar uma ou mais regiões do espaço geográfico para serem representadas no SIG. Cada região, denominada de **região geográfica**, é uma área qualquer do espaço geográfico, que possa ser representada em um plano, segundo uma projeção cartográfica.

O espaço geográfico pode ser modelado segundo duas visões distintas e complementares (WORBOYS, 1995): geo-campos e geo-objetos.

✱ **Geo-objetos (ou objetos geográficos):** são entidades distintas e localizáveis que compõem uma determinada região geográfica. Como exemplo, considere uma região

geográfica delimitada pelo estado da Paraíba. Podemos imaginar cada um dos 223 municípios paraibanos como sendo um geo-objeto, que ocupa uma área específica deste estado e associar a cada geo-objeto um conjunto de informações, tais como: população, área, número de habitantes, etc (SOUZA; MORAES, 2003).

✠ **Geo-campo:** representa a distribuição espacial de fenômenos que se distribuem continuamente no espaço, através da associação de valores representativos deste fenômeno a todos os pontos de uma região geográfica. Por exemplo, se a cada ponto, com coordenadas (x, y) , de uma região geográfica for associado o valor da sua altimetria $Z \in \mathfrak{R}$ (variável de estudo), o mapa obtido representará o geo-campo altimétrico desta região. Os modelos de geo-campos são utilizados para modelar fenômenos naturais em um SIG.

Segundo o nível de mensuração da variável Z , um geo-campo pode ser classificado em dois tipos (CÂMARA et al., 2001):

✠ **Geo-campo temático:** quando os valores de Z se diferenciam segundo classes (temas) distintas, quer tenham estas classes ordenação ou não. Desta forma, os geo-campos temáticos representam a distribuição espacial de variáveis qualitativas. Exemplos: mapas de classes de solo, de cobertura vegetal, etc.

✠ **Geo-campo numérico:** quando os valores de Z se baseiam em uma escala de números reais e desta forma, o geo-campo numérico representa a distribuição espacial de variáveis quantitativas. Exemplo: mapas de altimetria, de dados geofísicos e geoquímicos, de dados meteorológicos.

Este estudo restringe-se aos tipos de fenômenos que se distribuem continuamente no espaço e que são representados por variáveis quantitativas (geo-campos numéricos),

ou seja $Z \in \Re$. No SIG, a representação matemática computacional de um geo-campo numérico é denominada de **Modelo Numérico de Terreno - MNT**.

O processo de geração de um MNT pode ser dividido em três fases: amostragem, modelagem e aplicações (CÂMARA et al., 2001).

3.1.1 Amostragem

Para representar fielmente um geo-campo altimétrico, por exemplo, teríamos que obter o valor da altimetria em todos os pontos pertencentes a região geográfica de estudo. Sabe-se que isto seria impossível, devido a infinidade de pontos pertencentes a esta região. Mas é possível obter um grande número de medidas da altimetria (amostras) nesta área e através de técnicas de modelagem, obter uma aproximação contínua do geo-campo altimétrico desta região.

Neste contexto, a amostragem compreende a fase de aquisição dos dados (amostras). Diferentemente do que ocorre na Estatística Clássica, a amostragem em um MNT não é necessariamente aleatória. As amostras devem ser representativas do comportamento do fenômeno que se pretende modelar. Deve-se evitar portanto que haja áreas sub-amostradas, pois a falta de informação em uma área com alta variabilidade, pode levar a geração de modelos pobres (muito distantes do real). A super-amostragem em áreas com pouca variabilidade, também não é desejada, pois pode sobrecarregar o sistema computacional desnecessariamente (CÂMARA et al., 2001).

Para se obter uma amostragem representativa deve-se considerar a quantidade e o posicionamento das amostras em relação ao comportamento do fenômeno a ser modelado. Desta forma, a amostragem pode ser classificada, segundo a posição relativa das amostras, em: regular ou irregular (CÂMARA et al., 2001). A amostragem é regular quando há

uma regularidade na posição das amostras, nas direções das coordenadas x e y , formando uma grade regular de amostras. A amostragem é irregular quando não há uma regularidade na posição das amostras, formando uma grade irregular de amostras. A Figura 1 mostra uma ilustração dos dois tipos de grades, onde os símbolos em forma de cruz (+) representam a posição das amostras.

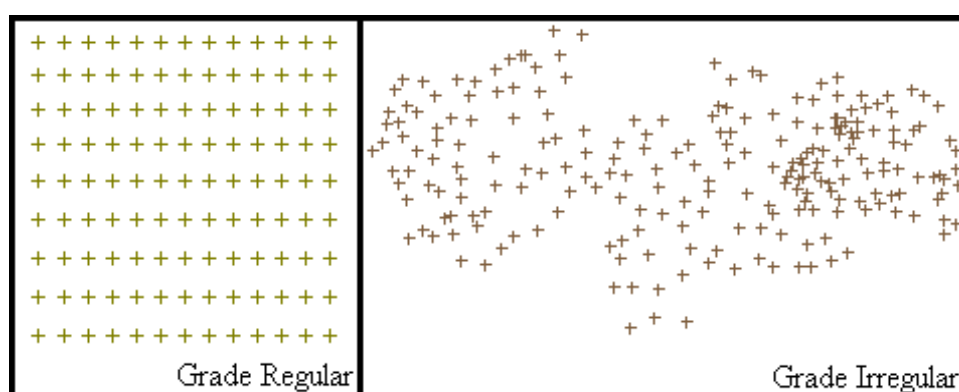


Figura 1 - Tipos de grades de amostras num MNT

O ideal na amostragem em MNT é obter uma grade regular de amostras, e nas áreas onde houver maior variabilidade do fenômeno em questão, refinar a grade, obtendo mais amostras regulares destas áreas.

3.1.2 Modelagem

Em um ambiente SIG, os procedimentos de análise espacial permitem a criação de modelos ambientais (geo-campos), que representem adequadamente o fenômeno natural em estudo. A modelagem ambiental consiste na criação de modelos matemáticos (determinísticos) ou estocásticos, que relacione variáveis ambientais, na tentativa de representar o comportamento de um processo ocorrendo na natureza. Os modelos ambientais são, então, transformados em modelos computacionais para serem executados no SIG (FELGUEIRAS, 1999).

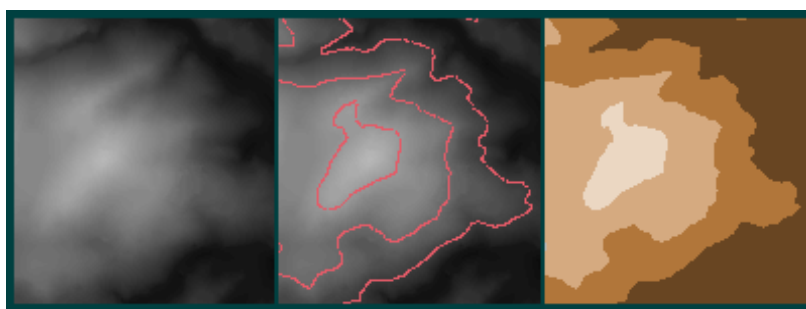
No caso da distribuição espacial da precipitação, a geração destes modelos computacionais permitem não só a visualização da superfície pluviométrica, como também, determinar áreas de seca, isto é, áreas onde a precipitação foi inferior a um certo valor mínimo esperado nesta área e período. Da mesma forma, pode-se obter áreas alagadas, onde foram observados precipitações superiores a um certo valor máximo esperado nesta área e período.

Os modelos ambientais são teoricamente contínuos, mas no entanto, os computadores digitais trabalham com um número fixo de campos ou bytes, isto é, são discretos e finitos (GOODCHILD; GUOGING, 1992 apud FELGUEIRAS; FELGUEIRAS, 1999). Desta maneira, nos modelos computacionais são estimados um número finito de valores do fenômeno considerado, em pontos posicionados de forma regular, formando uma grade regular de valores estimados. Os espaçamentos entre os pontos desta grade são denominados de resolução. Quanto menor a resolução, mais pontos serão estimados para formar esta grade, obtendo-se mais informação do fenômeno, porém necessitando-se de maior tempo para sua geração.

Na maioria dos SIG's a modelagem numérica de terreno é realizada por modelos determinísticos, porém esses modelos não consideram a aleatoriedade do fenômeno. Atualmente, os modelos Geoestatísticos estão sendo implementados nos SIG's, pois consideram não só a aleatoriedade, mas também outras características. Dentre essas está a anisotropia (qualidade de um fenômeno se propagar no espaço de uma forma diferenciada em várias direções a partir de um ponto), além de possuírem métodos para estimação dos erros (incertezas) associados aos valores estimados (MORAES; SOUZA; TELES, 2003; FELGUEIRAS, 1999). Neste estudo serão considerados apenas os métodos geoestatísticos de modelagem ambiental.

3.1.3 Aplicações

Após a geração do modelo computacional, que é armazenado no SIG, na forma de uma grade regular (por vez, mais refinada que a da amostra, dependendo do parâmetro resolução especificado), pode-se visualizar os dados de diversos modos. Dentre estes, destacam-se a geração de imagens em níveis de cinza, geração de linhas de contorno, o fatiamento do modelo. Segue-se a descrição destas aplicações (CÂMARA et al., 2001):



Fonte: Baseado no banco de dados de Brasília do SPRING (SPRING, 1996).

Figura 2 - Mapas altimétricos de Brasília: imagem em níveis de cinza (à esquerda), linhas de contorno (no centro) e fatiamento (à direita)

✧ **Imagens em níveis de cinza:** a geração de imagens em níveis de cinza consiste em transformar os dados estimados da variável Z , em um conjunto de valores discretos, por exemplo, entre 0 e 255. Neste caso, cada valor representa um nível de cinza, que varia de 0 (preto), até 255 (branco). Um exemplo de imagem em níveis de cinza pode ser observado na Figura 2 (imagem à esquerda).

✧ **Geração de linhas de contorno:** as linhas de contorno são curvas que conectam pontos da imagem com mesmo valor de elevação (nível de cinza). Para gerar as linhas de contorno, basta informar ao sistema quais os níveis de cinza devem ser contornados (cotas). Na Figura 2 (no centro), têm-se uma exemplificação de linhas de contorno (linhas em vermelho) sobreposta a uma imagem em níveis de cinza.

✠ **Fatiamento do modelo:** é obtido ao estabelecer intervalos de cota (classes ou fatias) ao modelo e em seguida realizar uma transformação denominada de fatiamento. Esta transformação, por sua vez, consiste em associar a cada ponto da imagem, a classe (ou fatia) que o valor estimado da variável Z pertence. Como exemplo, considere o mapa da Figura 2 (mapa à direita), que representa o fatiamento em quatro classes do modelo altimétrico de Brasília.

3.1.4 Distâncias entre amostras

Considere uma região geográfica G , representada em um plano segundo uma projeção cartográfica, onde cada posição u é definida pelas coordenadas (x, y) , ou seja, $u = (x, y) \in G$. A distância entre duas posições de amostras, por exemplo, $u_j = (x_j, y_j)$ e $u_k = (x_k, y_k)$, pode ser determinada pelo comprimento do vetor de distância h_{jk} que as separa (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Considerando como referência um ponto qualquer $u \in G$, o vetor de distância entre o ponto de referência u e a posição da amostra u_j será denotado por h_j , como está ilustrado na Figura 3. Da mesma maneira, o vetor de distância entre o ponto de referência u e a posição da amostra u_k , será denotado por h_k . Portanto, tendo como referência um ponto u , o vetor de distância entre duas posições de amostras quaisquer, u_j e u_k , pode ser determinada por: $h_{jk} = h_k - h_j$, como mostra a Figura 3. Com isto, o comprimento do vetor de distância que separa estas amostras será denotado por $\|h_{jk}\|$ ($\|h\|$ lê-se norma do vetor h). Está será a notação para as amostras e distância utilizada neste texto.

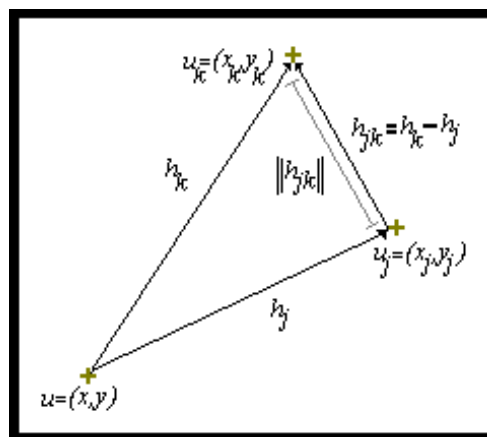


Figura 3 - Representação da distância entre duas amostras

3.2 Geoestatística

3.2.1 Dados espaciais e não-espaciais

Ao obter amostras do pH do solo, por exemplo, um pesquisador pode informar alguns parâmetros dimensionais relacionados a estas amostras. Um destes pode ser a referência temporal (quando estas amostras foram coletadas?). Outro parâmetro dimensional importante é a localização espacial das amostras (onde cada amostra foi coletada?). Além destes parâmetros dimensionais, outros como “a que profundidade cada amostra foi coletada?”, também pode ser informado.

Sendo assim, se as amostras dependem da posição onde elas foram coletadas, então estas são denominadas de dados espaciais, caso contrário, são denominadas de dados não-espaciais. Da mesma forma, se a análise de dados espaciais leva em consideração a posição onde as amostras foram coletadas, esta é denominada de análise espacial, por exemplo, a geoestatística (MORAES; SOUZA; TELES, 2003). Considerando o exemplo anterior, se o pesquisador estiver interessado em realizar uma análise de um conjunto de amostras de pH

do solo, levando em consideração na modelagem, onde as amostras foram coletadas, estas amostras de pH são ditas ser dados espaciais e a modelagem será uma análise espacial.

3.2.2 Fundamentação Teórica da Krigagem

A análise espacial é um estudo quantitativo de fenômenos que são localizáveis no espaço, permitindo identificar padrões espaciais na distribuição dos fenômenos. O principal padrão espacial de um fenômeno é a sua dependência espacial, ou seja, a característica que um fenômeno espacial tende a ser mais semelhante quanto menor for a distância entre as suas observações. Outro padrão espacial importante é a continuidade espacial, que é a característica que alguns fenômenos têm de se propagarem continuamente no espaço (fenômenos naturais). Há ainda alguns fenômenos naturais que apresentam variações graduais em uma direção e bruscas ou irregulares em outra, ou seja, se propagam no espaço de forma diferenciada nas variadas direções a partir de um ponto. Estes tipos de fenômenos apresentam um padrão espacial denominado de anisotropia (MORAES; SOUZA; TELES, 2003; CAMARGO; FUCKS; CÂMARA, 2001). Neste contexto, a geoestatística estuda os fenômenos naturais, através da adaptação de técnicas da Estatística Clássica para levar em consideração a continuidade, anisotropia e dependência espacial destes fenômenos (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Em 1951 Daniel G. Krige, desenvolveu um método para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, levando em consideração a localização geográfica e a dependência espacial das observações (SPRING, 1996; CAMARGO; FUCKS; CÂMARA, 2001; MORAES; SOUZA; TELES, 2003). Este método foi denominado de Krigagem (ou Krigagem) e rapidamente se expandiu para outros campos da ciência. A Krigagem é portanto, um processo de interpolação Geoestatístico, no qual estimam-se valores da distribuição de um fenômeno a partir dos dados amostrados, levando em consideração na

análise a localização, continuidade, anisotropia e dependência espacial do fenômeno. Os estimadores de Krigagem podem ser visto de duas maneiras (FELGUEIRAS, 1999):

✱ **Um estimador de Krigagem linear**, que é definido como uma “coleção de técnicas de regressão linear generalizada para minimizar a variância do erro de estimação a partir de um modelo de covariância definido a priori” (DEUTSCH; JOURNAL, 1998 apud FELGUEIRAS; FELGUEIRAS, 1999).

✱ **Um estimador de Krigagem não-linear**, que é um estimador de krigagem linear aplicado aos dados transformados através de uma função não-linear, do tipo gaussiana, lognormal, codificação por indicação, etc. (FELGUEIRAS, 1999).

Neste estudo, o método abordado será apenas a Krigagem não-linear, codificada por indicação, ou simplesmente Krigagem por Indicação.

3.2.3 Krigagem não-linear por Indicação

3.2.3.1 Função Aleatória

Considere uma região geográfica G , na qual, cada posição $u \in G$, seja associada uma variável $Z(u)$. O objetivo da Krigagem é estimar valores da variável $Z(u)$, a partir de um conjunto de n amostras $z(u_1), z(u_2), \dots, z(u_n)$, obtidas nas posições $u_j \in G$, $\forall j = 1, 2, \dots, n$. Podemos considerar a distribuição espacial de $z(u_j)$, nos pontos amostrados $u_j, \forall j = 1, 2, \dots, n$, como sendo uma variável aleatória VA, cujo valor medido é admitido sem erros. Nas posições não amostrados, a distribuição espacial de $Z(u)$ pode ser vista como Função Aleatória (ou Processo Estocástico), isto é, uma família $\{Z(u) : u \in G\}$, tal que, para cada posição $u \in G$, $Z(u)$ é uma variável aleatória

VA, com uma probabilidade de ocorrência associada (DIGGLE; RIBEIRO JR, 2000; FELGUEIRAS, 1999; CLARKE; DISNEY, 1979). O conjunto de valores $\{Z(u) : u \in G\}$ é denominado de espaço de estados do processo estocástico e os valores $Z(u)$ são chamados de estados (CLARKE; DISNEY, 1979).

A incerteza da variável aleatória $Z(u)$, na posição u (incerteza local), é caracterizada pela sua função de distribuição acumulada, *fda*, dada por (1). A distribuição espacial de $F(u, z)$, na região geográfica G , pode determina áreas, onde a probabilidade de ocorrência de valores menores ou iguais a um certo valor crítico z é alta, isto é, áreas de risco (FELGUEIRAS; DRUCK; MONTEIRO, 2001).

$$F(u, z) = P[Z(u) \leq z] \quad (1)$$

Para estimar a incerteza local da variável aleatória $Z(u)$, a partir do conhecimento das n amostras, pode-se utilizar a função de distribuição acumulada condicionada, *fdac*, da variável $Z(u)$, dada por (2):

$$F(u; z \mid n) = P[Z(u) \leq z \mid n] \quad (2)$$

Dada qualquer coleção finita de posições não amostradas u_1, u_2, \dots, u_k , com $u_i \in G, \forall i = 1, 2, \dots, k$, então $Z(u_1), Z(u_2), \dots, Z(u_k)$ é um conjunto de k VA. A Função Aleatória, *FA*, que modela a incerteza global destas k VA é caracterizada pela função de distribuição acumulada multivariada, definida em (3):

$$F(u_1, u_2, \dots, u_k; z_1, z_2, \dots, z_k) = P[Z(u_1) \leq z_1, Z(u_2) \leq z_2, \dots, Z(u_k) \leq z_k] \quad (3)$$

3.2.3.2 Codificação por Indicação

Como foi visto anteriormente, a Krigagem por Indicação é um método de Krigagem não-linear, no qual os dados são codificados por indicação e utilizados para estimar a VA $Z(u)$, através do estimador de Krigagem linear. A codificação por Indicação consiste em transformar os dados da VA $Z(u)$, em uma variável por indicação $I(u, z_c)$, através da função não-linear definida por (4). Nesta expressão z_c representa um valor qualquer, pertencente ao espaço de estados $\{Z(u) : u \in G\}$, denominado de valor de corte (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

$$I(u, z_c) = \begin{cases} 1 & , se \quad Z(u) \leq z_c \\ 0 & , se \quad Z(u) > z_c \end{cases} \quad (4)$$

Para exemplificar está operação, considere o exemplo hipotético apresentado na Figura 4, no qual 30 amostras, distribuidas segundo a Grade de $z(u)$, foram codificadas por indicação, para um valor de corte 54. Neste exemplo, a variável $i(u, 54)$ é 1, para os valores de $z(u)$ entre 43 e 54 e é 0, para valores de $z(u)$ maiores de 54, como mostra o gráfico da Figura 4. A Grade de $i(u, 54)$ é portanto, formada apenas pelos valores 0 e 1.

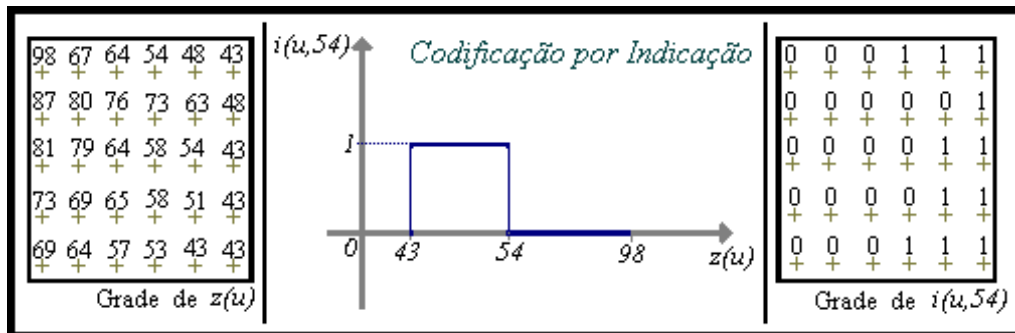


Figura 4 - Exemplo hipotético de uma codificação por indicação

A distribuição espacial da variável por indicação $I(u, z_c)$, para um determinado valor de corte z_c , também pode ser vista como um processo estocástico $\{I(u, z_c) : u \in G\}$,

tal que, para cada posição $u \in G$, $I(u, z_c)$ é uma variável aleatória com distribuição de Bernoulli (FELGUEIRAS; DRUCK; MONTEIRO, 2001). O valor esperado da VA $I(u, z_c)$ é a função de distribuição acumulada da VA $Z(u)$, isto é, $F(u, z_c)$, como mostra a expressão (5).

$$\begin{aligned}
 E[I(u, z_c)] &= 0 \cdot P[I(u, z_c) = 0] + 1 \cdot P[I(u, z_c) = 1] \\
 &= 0 + P[Z(u) \leq z_c] \\
 &= F(u, z_c)
 \end{aligned} \tag{5}$$

O valor esperado $E[I(u, z_c)]$ é uma função Estatística, que expressa o comportamento central da distribuição da VA $I(u, z_c)$. A variância da VA $I(u, z_c)$, denotada por $V[I(u, z_c)]$, também é uma função Estatística, que determina a média quadrática dos afastamentos contados em relação a média. Para um valor de corte z_c , na posição u , a variância da VA $I(u, z_c)$ é dada por (6). A variância da VA $I(u, z_c)$, varia entre 0 e 0,25, atingindo o valor máximo (0,25), quando $F(u, z_c) = 0,5$ (FELGUEIRAS; DRUCK; MONTEIRO, 2001).

$$V[I(u, z_c)] = E[I(u, z_c) - E[I(u, z_c)]]^2 = F(u, z_c) \{1 - F(u, z_c)\} \tag{6}$$

3.2.3.3 Krigeagem por Indicação

O resultado obtido em (5), determina uma relação entre a VA $I(u, z_c)$ e a *fda* da VA $Z(u)$, isto é, estimar o valor médio da VA $I(u, z_c)$, equivale a estimar a *fda* da VA $Z(u)$. Sabe-se que para medir a incerteza local da VA $Z(u)$, a partir do conhecimento do conjunto de amostras, é necessário conhecer o comportamento da sua *fdac*, isto é, o comportamento de

$\hat{F}(u, z_c | n)$. Este valor é obtido ao estimar o valor esperado da VA $I(u, z_c)$, condicionado as n amostras, como mostra a expressão (7). Os resultados abordados nesta subseção podem ser vistos em Isaaks e Srivastava (1989), Felgueiras (1999), Deutsch e Schnetzler (2000) e Felgueiras et al. (1999).

$$\begin{aligned}
 E[I(u, z_c) | n] &= 0 \cdot P[I(u, z_c) = 0 | n] + 1 \cdot P[I(u, z_c) = 1 | n] \\
 &= 0 + P[Z(u) \leq z_c | n] \\
 &= \hat{F}(u, z_c | n)
 \end{aligned} \tag{7}$$

Na Krigagem por Indicação as amostras $z(u_1), z(u_2), \dots, z(u_n)$ são transformados nas $i(u_1, z_c), i(u_2, z_c), \dots, i(u_n, z_c)$ e utilizada para estimar $\hat{F}(u, z_c | n)$. Desta forma, pode-se definir o processo de estimação da VA $Z(u)$, pelo método de Krigagem por Indicação, através dos seguintes passos:

1. Obtenção do conjunto de amostras $z(u_1), z(u_2), \dots, z(u_n)$, com $u_j \in G, \forall j = 1, 2, \dots, n$;
2. Transformação não-linear das amostras da VA $Z(u)$, para obter as amostras por indicação $i(u_1, z_c), i(u_2, z_c), \dots, i(u_n, z_c)$;
3. Obtenção da $\hat{F}(u, z_c | n)$ (que representa o valor esperado da VA $I(u, z_c)$, condicionado as n amostras), através do método de estimação por regressão linear generalizada;
4. Estimação da VA $Z(u)$, a partir das estimativas da sua *fdac*, dada por $\hat{F}(u, z_c | n)$, para vários valores de corte z_c ;

O modelo de regressão linear generalizada é dado pela fórmula (8), onde: $\hat{m}_z(u)$ é uma estimativa do valor médio da variável $Z(u)$, na posição $u \in G$; $m_z(u)$ é o valor médio verdadeiro da variável $Z(u)$; $n(u)$ é o número de amostras vizinhas a u ; $w_j(u)$,

$\forall j = 1, 2, \dots, n(u)$ são os pesos de ponderação a serem estimados na posição u ; $z(u_j)$, $\forall j = 1, 2, \dots, n(u)$ são os valores amostrais vizinhos a posição u e $m_z(u_j)$, $\forall j = 1, 2, \dots, n(u)$ são os valores médios verdadeiros nas posições u_j .

$$\hat{m}_z(u) - m_z(u) = \sum_{j=1}^{n(u)} w_j(u) \{z(u_j) - m_z(u_j)\} \quad (8)$$

Portanto, o modelo de Krigagem por Indicação, para estimar o valor médio da variável por indicação $I(u, z_c)$, isto é, $\hat{F}(u, z_c | n)$, em uma posição espacial u , a partir de uma quantidade $n(u)$ de amostras vizinhas a u , $i(u_1, z_c), i(u_2, z_c), \dots, i(u_{n(u)}, z_c)$, para um valor de corte z_c , é definido por (9):

$$\hat{F}(u, z_c | n) - F(u, z_c) = \sum_{j=1}^{n(u)} w_j(u, z_c) \{i(u_j, z_c) - F(u_j, z_c)\} \quad (9)$$

onde $w_j(u, z_c)$ é o peso de ponderação atribuído a amostra j , em uma posição u e para um valor de corte z_c .

O Modelo de Krigagem por Indicação propôsto na equação (9), apresenta algumas dificuldades para a sua estimação, pois necessita do conhecimento a priori das medidas $F(u, z_c), \forall u \in G$, para um valor de corte z_c . Desta forma, para aplicação desta técnica, algumas hipóteses devem ser consideradas a priori. Segundo Felgueiras (1999), para cada valor de corte z_c , deve-se considerar a hipótese de estacionaridade de 2ª ordem do processo estocástico $\{I(u, z_c) : u \in G\}$, isto é, considerar que:

1. O valor médio da VA $I(u, z_c)$ é constante em toda posição u pertencente a região geográfica G , ou seja, $E[I(u, z_c)] = F(u, z_c) = F(z_c), \forall u \in G$ (hipótese de estacionaridade de 1ª ordem);
2. A covariância entre $I(u, z_c)$ e $I(u + h, z_c)$ existe e depende somente de h (vetor de distância), ou seja, $C[I(u, z_c), I(u + h, z_c)] = C(h, z_c), \forall h \in \mathbb{R}^2$ (hipótese de

estacionaridade de 2ª ordem).

Sob a hipótese de estacionaridade de 1ª ordem, o modelo (9) pode ser simplificado, como mostra expressão (10), obtendo-se assim o modelo de Krigagem por Indicação Simples. Para aplicação deste modelo é necessário o conhecimento a priori apenas do valor médio estacionário da VA $I(u, z_c)$, $F(z_c)$.

$$\hat{F}(u, z_c | n) = \sum_{j=1}^{n(u)} w_j(u, z_c) \{i(u_j, z_c) - F(z_c)\} + \{1 - \sum_{j=1}^{n(u)} w_j(u, z_c)\} F(z_c) \quad (10)$$

Os pesos de ponderação $w_j(u, z_c)$, $\forall j = 1, 2, \dots, n(u)$ são obtidos de forma a minimizar variância do erro de estimação, isto é, minimizar $\sigma_R^2 = V [\hat{F}(u, z_c | n) - F(u, z_c)]$. Sendo assim, na Krigagem por Indicação Simples os pesos são obtidos através da solução do sistema de $n(u)$ equações, dada por (11):

$$\sum_{j=1}^{n(u)} w_j(u, z_c) \hat{C}(h_{jq}, z_c) = \hat{C}(h_q, z_c) \quad \forall q = 1, 2, \dots, n(u) \quad (11)$$

onde $\hat{C}(h_{jq}, z_c) = \hat{C}[i(u_j, z_c), i(u_q, z_c)]$, $\forall j, q = 1, 2, \dots, n(u)$ são as autocovariâncias definidas pelo vetor de distância h_{jq} e $\hat{C}(h_q, z_c) = \hat{C}[i(u, z_c), i(u_q, z_c)]$, $\forall q = 1, 2, \dots, n(u)$ são as autocovariâncias definidas pelo vetor de distância h_q , com referência a posição u . Estas autocovariâncias são obtidas a partir das amostras $i(u_j, z_c)$, $\forall j = 1, 2, \dots, n$, através do modelo de variografia teórico, que será abordado na seção (3.2.4).

Se não for do conhecimento do pesquisador o valor médio estacionário da VA $I(u, z_c)$, $F(z_c)$, então pode-se considerar a soma dos pesos atribuídos as amostras igual a 1, isto é, $\sum_{j=1}^{n(u)} w_j(u, z_c) = 1$. Com isto, obtém-se o modelo de Krigagem por Indicação Ordinária, dado pela equação (12):

$$\hat{F}(u, z_c | n) = \sum_{j=1}^{n(u)} w_j(u, z_c) i(u_j, z_c) \quad (12)$$

No Modelo de Krigagem por Indicação Ordinário, para estimar $\hat{F}(u, z_c | n)$ a partir das $n(u)$ amostras vizinhas, basta determinar os pesos de ponderação $w_j(u, z_c), \forall j = 1, 2, \dots, n(u)$, na posição u , para cada valor de corte z_c . Estes pesos são obtidos com o intuito de minimizar a variância do erro de estimação, σ_R^2 , sujeito a restrição da soma dos pesos ser igual a 1. Com isto, os pesos de ponderação da Krigagem por Indicação Ordinária são obtidos através da solução do sistema de $n(u) + 1$ equações dadas em (13). A variável $\phi(u, z_c)$ representa o parâmetro de Langrange, para uma posição u e valor de corte z_c . As autocovariâncias dadas neste sistema de equações são obtidas através do modelo de variografia teórico (ver seção 3.2.4).

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n(u)} w_j(u, z_c) \hat{C}(h_{jq}, z_c) + \phi(u, z_c) = \hat{C}(h_q, z_c) & \forall q = 1, 2, \dots, n(u) \\ \sum_{j=1}^{n(u)} w_j = 1 \end{cases} \quad (13)$$

3.2.2.4 Correção dos Desvio de Ordem

A Krigagem por Indicação tem como principal característica não ser necessário considerar nenhum tipo de distribuição a priori para variável aleatória de estudo. Por esta razão, pode-se defini-lá como um método geoestatístico de interpolação espacial não-paramétrico. Segundo Felgueiras (1999), a Krigagem por Indicação “possibilita a construção de uma aproximação discretizada da *fda* de $Z(u)$ ”, que são utilizados diretamente para se estimar valores estatísticos característicos da distribuição de $Z(u)$, tais como: valor médio, variância, mediana e quantis. Além destes valores característicos, a Krigagem por Indicação permite estimar a incerteza de valores da distribuição de $Z(u)$.

No entanto, as funções de distribuição acumulada condicionada, para cada valor de corte, são estimadas separadamente provocando alguns erros de aproximação, conhecidos

como desvios de relação de ordem. Para que as funções de distribuição acumulada constituam uma distribuição legítima (em conjunto), elas devem ser corrigidas para verificarem as seguintes relações de ordem (FELGUEIRA; DRUCK; MONTEIRO, 2001):

1ª O valor inferido de $\hat{F}(u, z_c | n)$ deve satisfazer a seguinte relação:

$$0 \leq \hat{F}(u, z_c | n) \leq 1, \text{ para todo valor de corte } z_c;$$

2ª O valor estimado de $\hat{F}(u, z_c | n)$ não deve ser maior do que o da $\hat{F}(u, z_{c+1} | n)$, quando $z_c \leq z_{c+1}$.

O estimador de Krigeagem por Indicação não garante que a 1ª relação seja verificada.

Para corrigir este desvio pode-se ajustar os valores estimados para as bordas, ou seja, sempre que $\hat{F}(u, z_c | n) \leq 0$, deve-se fazer $\hat{F}(u, z_c | n) = 0$ e se $\hat{F}(u, z_c | n) \geq 1$, então deve-se fazer $\hat{F}(u, z_c | n) = 1$.

A 2ª relação também pode não ser verificada, e portanto, deve-se corrigida da seguinte forma: verificar as estimativas de todos os pares de *fdac* consecutivos $(\hat{F}(u, z_c | n), \hat{F}(u, z_{c+1} | n))$ e sempre que a 2ª relação não for satisfeita, deve-se fazer (14):

$$\hat{F}(u, z_c | n) = \hat{F}(u, z_{c+1} | n) = \frac{1}{2} \left\{ \hat{F}(u, z_c | n) + \hat{F}(u, z_{c+1} | n) \right\} \quad (14)$$

3.2.3.5 Estimação de valores característicos da VA $Z(u)$

Determinada as estimativas das distribuições acumuladas da VA $Z(u)$, condicionadas as n amostras, para um conjunto de valores de corte ordenados $\{z_0, z_1, z_2, \dots, z_K, z_{K+1}\}$, isto é, determinada os valores $\hat{F}(u, z_0 | n), \hat{F}(u, z_1 | n), \dots, \hat{F}(u, z_{K+1} | n)$. As estimativas dos valores estatísticos característicos da distribuição de $Z(u)$ são dados a seguir (FELGUEIRAS, 1999):

- ✠ Uma estimativa do valor médio da VA $Z(u)$, denotado por $\hat{\mu}(u)$, pode ser aproximada por (15). O valor médio expressa a tendência central da distribuição da VA $Z(u)$.

$$\begin{aligned}
 \hat{\mu}(u) &= E[Z(u)] \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(u, z | n) \partial z \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot \partial F(u, z | n) \\
 &\approx \sum_{k=1}^{K+1} z_k \left[\hat{F}(u, z_k | n) - \hat{F}(u, z_{k-1} | n) \right]
 \end{aligned} \tag{15}$$

- ✠ Uma estimativa da variância de $Z(u)$, denotada por $\hat{\sigma}^2(u)$, pode ser aproximada por (16). Este valor indica qual será o “erro quadrático” (quadrado do desvio) cometido ao substituir $Z(u)$ pela média $\hat{\mu}(u)$.

$$\begin{aligned}
 \hat{\sigma}^2(u) &= V[Z(u)] \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} [z - \mu(u)]^2 \cdot f(u, z | n) \partial z \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} [z - \mu(u)]^2 \cdot \partial F(u, z | n) \\
 &\approx \sum_{k=1}^{K+1} [z_k - \mu(u)]^2 \left[\hat{F}(u, z_k | n) - \hat{F}(u, z_{k-1} | n) \right]
 \end{aligned} \tag{16}$$

- ✠ Além destas estatísticas existem as estatísticas de ordem, denominadas de p-quantil.

Esta medida determina um valor $q_{(p)}$, pertencente ao espaço de estados do processo estocástico $\{Z(u) | u \in G\}$, tal que, $\hat{F}(u, q_{(p)} | n) = p$.

✠ Uma estatística de ordem bastante utilizada é a mediana, que é o p-quantil $q_{(0,5)}$.

Quando a distribuição da VA $Z(u)$ é assimétrica, a mediana é um estimador de tendência central mais robusto que a média.

✠ O intervalo interquartil $q_{(R)}$ ($q_{(R)} = q_{(0,75)} - q_{(0,25)}$), pode ser utilizado como medida de dispersão, quando a distribuição da VA $Z(u)$ é assimétrica.

3.2.4 Variograma Indicador

Como vimos anteriormente, o principal padrão espacial de um fenômeno é a sua dependência espacial, que é a característica que um fenômeno espacial têm de ser mais semelhante quanto menor for à distância entre as suas observações. O variograma é uma ferramenta geoestatística utilizada para analisar quantitativamente a variação de um fenômeno que possua dependência espacial (MORAES; SOUZA; TELES, 2003). É a partir do modelo de variografia que se obtêm as autocovariâncias necessárias para estimar os pesos de ponderação do modelo de Krigagem por Indicação Simples (ou Ordinária). Os resultados apresentados nesta seção podem ser encontrados em Isaaks e Srivastava (1989), Camargo (1997), Nunes (1998) e Deutsch e Schnetzler (2000).

O variograma indicador é definido como a variância da diferença entre as duas variáveis por indicação $I(u, z_c)$ e $I(u + h, z_c)$, separadas pelo vetor de distância h , para um valor de corte z_c e será denotado por $2\gamma(h, z_c)$.

$$2\gamma(h, z_c) = V[I(u, z_c) - I(u + h, z_c)] \quad (17)$$

Em algumas casos pode-se encontrar referências a uma outra entidade denominada semivariograma indicador, que nada mais é do que a metade do variograma, denotada por $\gamma(h, z_c) = \frac{1}{2} [2\gamma(h, z_c)]$. Em geral, costuma-se trabalhar com o semivariograma indicador.

Dado o conjunto de amostras por indicação, $i(u_1, z_c), i(u_2, z_c), \dots, i(u_{n(u)}, z_c)$, para um determinado valor de corte z_c , o semivariograma indicador pode ser estimado pela equação (18), onde $N(h)$ é o número de amostras que estão separadas por um vetor de distância h . A expressão $\{(j, q) \mid h_{jq} = h\}$ significa o conjunto de todos os pares (j, q) tais que o vetor de distância h_{jq} , entre as amostras $i(u_j, z_c)$ e $i(u_q, z_c)$, é igual ao vetor de distância h .

$$\hat{\gamma}(h, z_c) = \frac{\sum_{\{(j,q) \mid h_{jq}=h\}} [i(u_j, z_c) - i(u_q, z_c)]^2}{2N(h)} \quad (18)$$

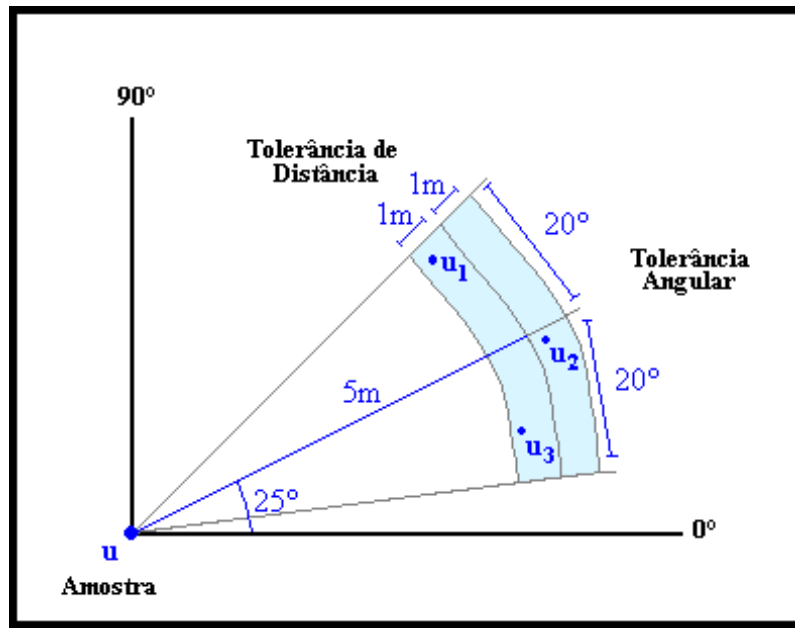
A hipótese de estacionariedade de 2ª ordem do processo estocástico $\{I(u, z_c) : u \in G\}$, abordada na subseção (3.6.4), implica também na estacionariedade do variograma (ou semivariograma). Porém, nas aplicações práticas usa-se a estacionariedade intrínseca (LANDIM, 1998; NUNES, 1998), na qual:

1. $E[I(u, z_c)] = F(z_c), \forall u \in G$ e
2. A variância das diferenças entre a realização do processo nas posições u e $u + h$, para qualquer u pode ser modelado pelo semivariograma, dado pela equação (18).

O cálculo do semivariograma indicador para um vetor de distância h e valor de corte z_c depende do tipo de grade das amostras. Se a grade de amostras é regular, então deve-se considerar apenas os parâmetros a respeito do vetor de distância, que são: o comprimento do vetor h e sua direção (dada em ângulo (α)). Desta forma, quando a grade de amostras é regular, serão pareadas todas as amostras que estiverem a uma distância exatamente h , na direção α .

Se a grade de amostras é irregular, então deve-se estabelecer uma tolerância para os parâmetros do vetor h , isto é, serão pareadas todas as amostras que estiverem a uma distância $h \pm d$, onde d é um parâmetro de tolerância de distância, e na direção $\alpha \pm t$,

onde t é um parâmetro de tolerância angular. Como exemplo considere a ilustração da Figura 5 de uma grade irregular. Suponha que seja determinado um vetor de distância h , com comprimento de $5m$ e uma direção de 25° . Considere também, que os parâmetro de tolerância sejam $1m$ de comprimento com um ângulo de tolerância de 20° . Neste caso, a amostra u apresentada na Figura 5 será pareada com todas as amostras que estão na região sombreada (u_1, u_2, u_3) .



Fonte: Adaptado de Isaaks e Srivastava (1989).

Figura 5 - Ilustração da operação de pareamento das amostras,
para estimar o semivariograma

Quando as amostras estão posicionadas de forma irregular é conveniente fazer uma adaptação do semivariograma, para levar em consideração que o vetor de distância não é exatamente h , mais sim, aproximadamente h , isto é, $(h_{jq} \approx h)$. Sendo assim, o semivariograma indicador passa a ser definido por (19) (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

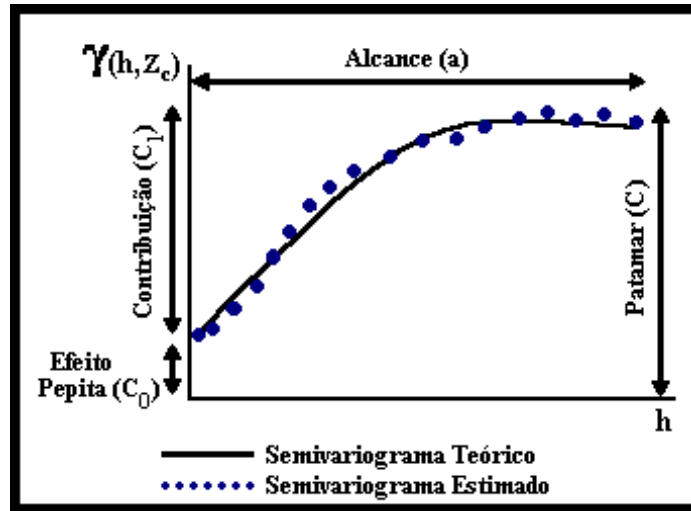
$$\hat{\gamma}(h, z_c) = \frac{\sum_{\{(j,q)|h_{jq} \approx h\}} [i(u_j, z_c) - i(u_q, z_c)]^2}{2N(h)} \quad (19)$$

Quando há uma dependência espacial do fenômeno em estudo, espera-se que quanto maior for o comprimento do vetor de distância (h_{jq}) que separa duas amostras quaisquer, $i(u_j, z_c)$ e $i(u_q, z_c)$, menor seja a covariância entre estas amostras $\hat{C}(h_{jq}, z_c)$. Neste mesmo contexto, espera-se que as diferenças $[i(u_j, z_c) - i(u_q, z_c)]$ cresçam à medida que o comprimento do vetor de distância que separa as amostras (h_{jq}) aumenta. Consequentemente, espera-se que o semivariograma indicador $\hat{\gamma}(h, z_c)$ aumente com o aumento da distância entre os pares de amostras (h_{jq}). Porém, é importante destacar que o semivariograma indicador pode aumentar com a distância até se estabilizar em um platô (Patamar), quando desaparece a dependência espacial (MORAES; SOUZA; TELES, 2003).

Ao calcular as estimativas do semivariograma indicador, $\hat{\gamma}(h, z_c)$, para uma determinado valor de corte z_c , pode-se contruir um gráfico cartesiano da função $\hat{\gamma}(h, z_c)$ pela distância h . Este gráfico revela características importantes a respeito da variografia da variável por indicação $I(u, z_c)$, que são determinadas por quatro parâmetros: Alcance (a), Patamar (C), Efeito pepita (C_0) e contribuição (C_1). Na Figura 6 tem-se uma ilustração de um gráfico do semivariograma indicador.

- ✠ **Alcance (a):** é a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente;
- ✠ **Patamar (C):** é o valor do semivariograma correspondente a seu Alcance (a), a partir do qual não espera-se que exista dependência espacial entre as amostras;
- ✠ **Efeito pepita (C_0):** teoricamente, espera-se que quando h for igual a 0, $\hat{C}(0, z_k) = \hat{C}[F(u, z_c), F(u + 0, z_c)] = V[F(u, z_c)] = 0$, mas na prática à medida que h tende a zero, $\hat{C}(0, z_k)$ se aproxima de um valor positivo chamado de Efeito pepita (C_0), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

✠ **Contribuição (C_1):** é a diferença entre o Patamar (C) e o Efeito pepita (C_0).



Fonte: Adaptado de Felgueiras (1999).

Figura 6 - Semivariograma Indicador teórico e estimado

Segundo Deutsch e Schnetzler (2000), a relação entre as autocovariâncias e o semivariograma indicador é dada pela equação $\hat{\gamma}(h, z_k) = \hat{C}(0, z_k) - \hat{C}(h, z_k)$. Para estimar as autocovariâncias não se utiliza as estimativas do semivariograma diretamente. Ao invés disso, ajusta-se um modelo teórico as estimativas do semivariograma e utiliza-o para calcular as autocovariâncias. O objetivo é que o modelo ajustado represente a tendência de $\gamma(h, z_k)$ em relação a h , obtendo-se assim, melhores estimativas para $\hat{C}(h, z_k)$.

Os modelos teóricos mais usuais na análise do semivariograma indicador são: o esférico e o exponencial. A seguir, têm-se a descrição de cada um destes modelos de semivariograma, onde a é o Alcance prático, definido como a distância na qual o valor do modelo $M(\|h\|)$ é 95% do Patamar (C) (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

✠ **Modelo Esférico de Semivariograma:** utilizado quando a variação da função $\gamma(h, z_k)$, antes de atingir o Patamar, apresenta-se com um comportamento seme-

lhante a uma semi-esfera. Este modelo de semivariograma é dado pela equação (20).

$$\hat{\gamma}(h, z_c) = \begin{cases} 0 & , \|h\| = 0 \\ C_0 + C_1 \left\{ \frac{3}{2} \left(\frac{\|h\|}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{\|h\|}{a} \right)^3 \right\} & , 0 < \|h\| \leq a \\ 1 & , \|h\| > a \end{cases} \quad (20)$$

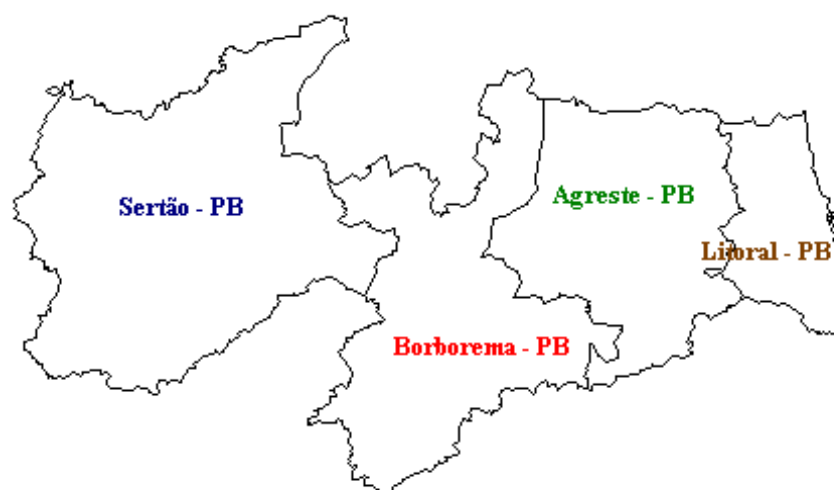
✂ **Modelo Exponencial de Semivariograma:** indicado para modelar semivariogramas, nos quais, a função $\gamma(h, z_k)$ cresce mais rápido com o aumento da distância, que o modelo esférico. O modelo exponencial de semivariograma é dado pela equação (21).

$$\hat{\gamma}(h, z_c) = \begin{cases} 0 & , \|h\| = 0 \\ C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{\|h\|}{a} \right) \right\} & , \|h\| \neq 0 \end{cases} \quad (21)$$

3.3 Características Climáticas da Paraíba

Na Paraíba, a principal característica do regime climático é a presença de apenas duas estações: a chuvosa e a seca. Estas estão fortemente relacionadas com a localização geográfica, ou seja, quanto mais próximo do Litoral, mais úmido será o clima e quanto mais longe, mais seco (o mapa com as mesorregiões paraibanas pode ser visualizado na Figura 7). Em particular, a distribuição espacial da precipitação no estado da Paraíba apresenta uma alta heterogeneidade. A altura média da precipitação anual se distribui decrescendo bruscamente do Litoral até a Borborema e desta até o extremo oeste, os valores voltam a crescer, porém lentamente. Nas áreas mais secas, que abrange grande parte do estado, além de poucas chuvas, estas ocorrem de forma irregular, provocando longos períodos de

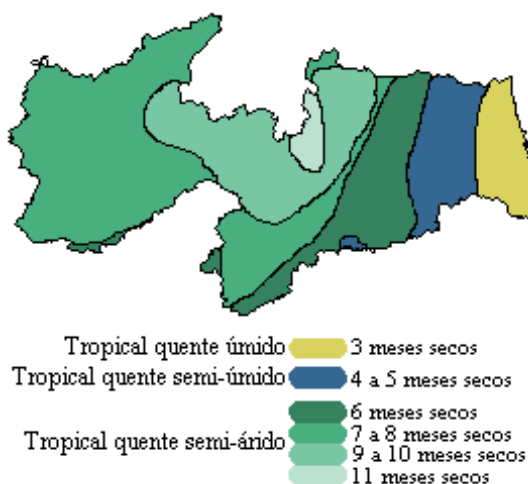
seca. Observa-se também neste estado, que as médias térmicas anuais são relativamente altas, apresentando como principal característica do regime térmico a sua homogeneidade no tempo e no espaço. Assim sendo, na Paraíba o conhecimento acurado da distribuição espacial e temporal das precipitações (fenômeno climático que apresenta maior variação no estado) é fundamental para a obtenção de padrões definidores de regiões climáticas e ecológicas, para a climatologia agrícola, engenharia, transporte, turismo, etc (NIMER, 1979).



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2000).

Figura 7. Mesorregiões Geográficas da Paraíba.

Na Paraíba estão presentes três zonas climáticas: tropical quente úmido, tropical quente semi-úmido e tropical quente semi-árido. A área de influência de cada zona climática, com suas subdivisões segundo os meses de seca, pode ser visualizada no mapa da Figura 8.



Fonte: Anuário Estatístico do Brasil (IBGE, 1997).

Figura 8 - Classes climáticas do estado da Paraíba

3.4 Sistema SPRING

O Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - SPRING é um programa de SIG desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, para ambientes UNIX e WINDOWS. Tem como principal característica ser uma tecnologia nacional, de domínio público (pode ser obtido gratuitamente pela Internet através do endereço: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>) em português. Suas principais características funcionais são (SPRING, 1996):

- ✘ opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras;
- ✘ suportar grande volume de dados;
- ✘ não apresenta limitação quanto a escala, projeção e fuso;
- ✘ manter a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco de dados.

No SPRING, as amostras de um modelo numérico de terreno são organizados em um bancos de dados geográficos, segundo uma arquitetura hierárquica denominada de modelagem orientada a objetos. Segundo esta arquitetura, a composição de uma estrutura de dados de MNT tem início com a criação de um Banco de Dados. Dentro deste Banco de Dados pode ser definido um ou mais projeto, no qual, cada um define uma área física de trabalho e é composto por Planos de Informação - PIs. A cada Plano de Informação é associado a uma grade regular (ou irregular) de amostras da mesma área do Projeto, mas com dados espaciais diferentes. Estes PIs podem ser superpostos, combinando na análise informações diferentes da mesma região de estudo. No SPRING os PIs são agrupados por Categorias, facilitando a organização das informações no MNT (CÂMARA et al., 2001).

4 Processo de modelagem das amostras

O processo para obtenção de modelos que represente valores característicos da distribuição espacial da precipitação acumulada do estado da Paraíba, no sistema SPRING, está descrito através das seguintes etapas: geoprocessamento das amostras, análise exploratória, codificação por indicação, geração do semivariograma, modelagem do semivariograma e Krigagem por Indicação. Nas subseções a seguir é descrita cada uma destas etapas, baseadas na versão 4.0 do sistema SPRING.

4.1 Geoprocessamento das amostras

A seguir, estão descritos os procedimentos utilizados para elaborar o banco de dados de precipitação do estado da Paraíba no sistema SPRING, versão 4.0.

4.1.1 Nomenclatura das variáveis

No SPRING, cada conjunto de amostras, que neste estudo corresponde a um mês de observação, representa um plano de informação e portanto, deve ser nomeada. Sendo assim, denotamos cada conjunto de amostras de precipitação pela nomenclatura apresentada na Quadro 1, onde Jan98 é o nome do PI que contém as amostras de precipitação acumulada do mês de janeiro de 1998, que está armazenada no SPRING, na categoria Chuva98.

Quadro 1. Nomenclatura das Categorias e Planos de Informação

Categorias			
Chuva98	Chuva99	Chuva00	Chuva01
Jan98	Jan99	Jan00	Jan01
Fev98	Fev99	Fev00	Fev01
⋮	⋮	⋮	⋮
Dez98	Dez99	Dez00	Dez01

4.1.2 Criação do banco de dados geográfico no SPRING

4.1.2.1 Criação do banco de dados no SPRING:

- (a) Iniciar o SPRING;
- (b) Selecionar os menus [Arquivos], [Banco de Dados...], [Diretório...];
- (c) Selecionar o diretório onde será criado o banco de Dados e [Ok];
- (d) Nomear o Banco de Dados:

Nome: BD_PB Gerenciador: [Dbase] [Criar] [Ativar] [Fechar]
--

4.1.2.2 Criação do projeto Paraíba:

- (a) Selecionar os menus [Arquivo], [Projeto...];
- (b) Nomear o Projeto:

Nome: Paraíba

(c) Determinar os parâmetros da Projeção Cartográfica:

[Projeção...]
 Sistemas: UTM
 Modelos da terra: SAD69
 Long: [o 39 0 0.00]
 [Executar]

(d) Delimitar Retângulo Envolvente (Região Geográfica de estudo):

Coordenadas: [Geográficas]
 Long1: [o 38 55 0.00] | Long2: [o 34 35 0.00]
 Lat1: [s 8 25 0.00] | Lat2: [s 5 55 0.00]
 [Criar]
 [Ativar]
 [Fechar]

4.1.2.3 Definir o Modelo de Dados:

Criação das Categorias de MNT Repetir os seguintes passos para cada categoria: Chuva98 Chuva99 Chuva00 Chuva01
[Arquivo] [Modelo de Dados...] Nome: Chuva98 Modelo: [MNT] [Criar] [Executar] [Fechar]
Criação da Categoria Temática
[Arquivo] [Modelos de Dados...] Nome: Limites Modelo: [Temático] [Criar] [Executar] [Fechar]

4.1.2.4 Elaborar os arquivos de dados:

Os dados de cada PI deve ser digitado em qualquer editor de texto (como mostra o Quadro 2) e salvo com um nome, que pode ser o nome do respectivo PI. Em seguida, fora do editor de texto, a extensão do arquivo deve ser alterada para (.spr).

Quadro 2 - Modelo de arquivo de amostras de precipitação.

```
SAMPLE
INFO
DATUM SAD69, 6378160.000000, 0.003353, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
PROJECTION UTM/SAD69, 1, 0.000000, -0.680678, 0.000000, 0.000000
BOX -38.916667, -8.416667, -34.583333, -5.916667
UNITS Geográficas
SCALE 100000.000000
INFO_END
POINT3D
-37.636670 -7.511940 131.400000
-38.173330 -7.093330 258.300000
:           :           :
-37.568330 -6.738610 201.800000
END
END
```

4.1.2.5 Importar os Arquivos de mapa para o SPRING:

Para finalizar a elaboração do Banco de Dados Geográfico basta importar os arquivos de mapa e amostras, segundo as instruções dos Quadros 3 e 4:

Quadro 3 - Instruções de importação do arquivo de mapa.

Importação o arquivo de linhas (Pb_L2D.spr):	
	[Arquivo]
	[Importar...]
	[Diretório...]
Selecionar o diretório onde está o arquivo Pb_L2D.spr	
	[Ok]
Formato:	[ASCII]
Selecionar o arquivo Pb_L2D.spr	
Entidade:	[Linhas s/ajuste]
Unid:	[graus]
Escala:	[1/100000]
[Projeção...]	UTM/SAD69
Projeto:	Paraíba
[Categoria...]	Categoria: Limites
	[Executar]
PI:	LimitesPB
	[Executar]
	[Fechar]

Quadro 4 - Instruções de importação dos arquivos de Dados.

	[Arquivo]
	[Importar...]
	[Diretório]
Selecionar o diretório onde estão os arquivos de dados	
	[Ok]
Formato:	[ASCII]
Selecionar um dos arquivos de dados (Ex: Jan98.spr)	
Entidade:	[Amostra (MNT)]
Unid:	[graus]
Escala:	[1/100000]
[Projeção...]	UTM/SAD69
Projeto:	Paraíba
[Categoria...]	Categoria: Chuva98
	[Executar]
PI:	Jan98
	[Executar]
	[Fechar]

4.2 Análise Exploratória das amostras

Realizou-se uma análise exploratória das amostras de precipitação acumulada para cada um dos meses de janeiro de 1998 a dezembro de 2001, através da análise de medidas descritivas e de gráficos, como o histograma e *qplot*. A aplicação da Análise Exploratória de Dados para descrever dados espaciais foi abordado por Souza e Moraes (2003), no Relatório PIBIC/CNPq.

Na Tabela 1, têm-se os resultados referentes aos meses do ano de 1998. Em todos estes meses, a precipitação acumulada mínima foi 0 mm (zero milímetros) e a máxima variou entre 22,8 mm (em novembro) e 339,2 mm (em junho). Nota-se, que nestes meses, o valor médio está sempre maior que o mediano, o que caracteriza a assimetria positiva destas distribuições. Verificou-se ainda que nos meses de setembro, outubro e novembro a mediana foi 0 mm, indicando que em pelo menos 50% das estações meteorológicas consideradas, não foi observado chuva neste período.

Tabela 1 – Medidas descritivas da variável precipitação acumulada referente aos meses do ano de 1998

Mês	Nº de amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio padrão
Janeiro	204	0,0	298,5	54,25	72,44	69,95
Fevereiro	206	0,0	172,6	19,65	30,34	35,09
Março	206	0,0	233,0	56,70	63,22	41,10
Abril	206	0,0	173,7	32,30	47,60	43,80
Mai	208	0,0	223,9	13,15	34,98	49,68
Junho	208	0,0	339,2	8,80	35,92	61,49
Julho	209	0,0	290,1	22,40	58,29	70,34
Agosto	210	0,0	313,5	21,20	53,14	62,30
Setembro	214	0,0	43,9	0,00	4,02	8,59
Outubro	215	0,0	42,4	0,00	6,34	10,00
Novembro	214	0,0	22,8	0,00	1,85	4,37
Dezembro	213	0,0	76,5	2,50	7,04	10,75

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

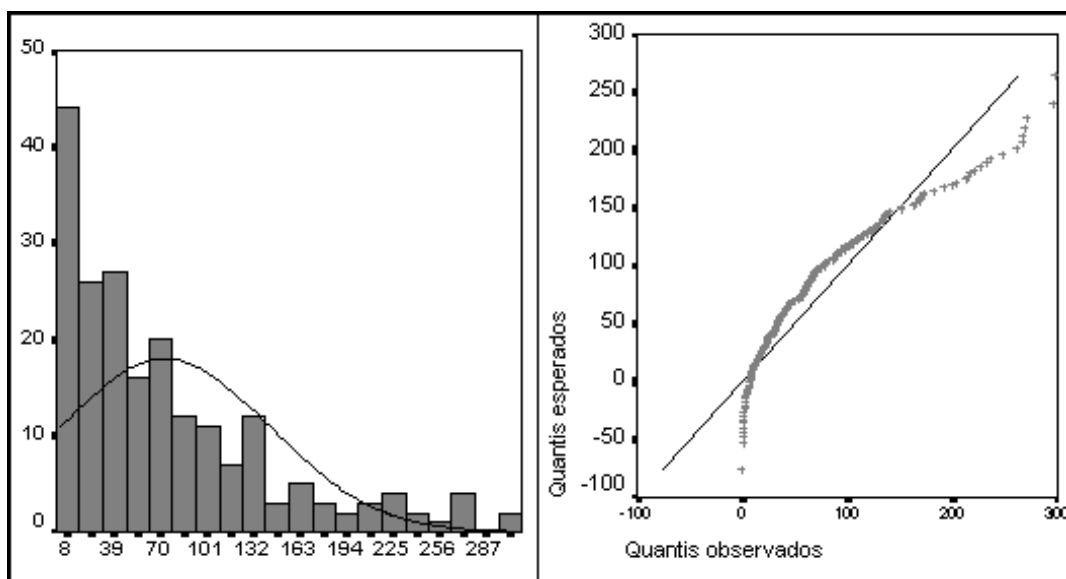


Figura 9 - Histograma e qqplot da variável precipitação acumulada (em mm) referente ao mês de janeiro de 1998

Como exemplo de distribuição assimétrica, pode-se visualizar a distribuição da precipitação acumulada referente ao mês de janeiro de 1998, através dos gráficos histograma (à direita) e qqplot (à esquerda) da Figura 9. O qqplot está comparando a distribuição observada com a que seria esperada, se estes dados tivessem distribuição Normal. Para verificar a hipótese de normalidade destes dados, os pontos no gráfico qqplot deveriam estar sobre a reta, o que não se verifica.

Nas Tabelas 2 à 4 têm-se os resultados para os meses do ano de 1999 (Tabela 2), 2000 (Tabela 3) e 2001 (Tabela 4). Pode-se observar que em todos os meses deste período, as amostras apresentam distribuição assimétrica, devido a alta variabilidade da distribuição espacial desta variável no estado da Paraíba. A partir destes resultados, pode-se verificar que as hipóteses de normalidade e estacionaridade, impostas por métodos paramétricos de Krigagem, não são satisfeitas. O que nos leva a realizar uma transformação nos dados, através da codificação por indicação, utilizando desta forma, o método não-paramétrico de Krigagem (Krigagem por Indicação).

Tabela 2 – Medidas descritivas da variável precipitação acumulada referente aos meses do ano de 1999

Mês	Nº de amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio padrão
Janeiro	216	0,0	229,1	35,05	43,18	40,24
Fevereiro	216	0,0	170,2	53,35	59,69	43,01
Março	217	3,4	406,1	127,80	143,80	86,04
Abril	216	0,0	147,4	27,80	33,85	30,50
Maiο	216	2,3	380,5	120,00	129,11	71,95
Junho	219	0,0	155,0	15,10	33,02	37,26
Julho	218	0,0	192,1	30,70	40,74	41,20
Agosto	218	0,0	131,8	1,80	18,33	27,48
Setembro	217	0,0	61,7	0,00	8,53	12,28
Outubro	216	0,0	122,4	17,10	21,98	19,98
Novembro	218	0,0	208,0	9,00	18,71	25,52
Dezembro	217	3,8	225,0	55,40	63,96	43,81

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 3 – Medidas descritivas da variável precipitação acumulada referente aos meses do ano de 2000

Mês	Nº de amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio padrão
Janeiro	218	6,6	330,2	95,35	105,07	53,94
Fevereiro	219	17,7	357,5	144,40	150,45	72,67
Março	220	0,7	383,2	105,00	119,00	83,65
Abril	226	43,4	390,4	160,65	170,93	69,68
Maiο	226	0,0	461,9	51,80	75,47	80,09
Junho	225	0,0	669,6	63,50	141,56	147,31
Julho	228	0,0	521,0	63,30	121,77	124,87
Agosto	226	0,0	308,1	57,15	86,78	69,84
Setembro	222	0,0	329,4	44,20	86,34	92,78
Outubro	219	0,0	76,0	0,80	5,07	8,94
Novembro	217	0,0	85,7	0,00	9,04	14,53
Dezembro	218	0,0	273,3	58,70	65,03	36,55

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 4 – Medidas descritivas da variável precipitação acumulada referente aos meses do ano de 2001

Mês	Nº de amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio padrão
Janeiro	221	0,0	121,8	17,20	21,36	18,81
Fevereiro	221	0,0	220,7	7,70	28,72	44,19
Março	219	9,0	389,8	152,90	165,79	82,54
Abril	220	0,0	354,2	75,65	87,29	64,45
Maiο	214	0,0	93,5	5,55	11,75	16,48
Junho	218	0,0	344,1	81,70	97,26	72,70
Julho	214	0,0	270,4	32,30	54,90	58,42
Agosto	216	0,0	139,6	13,30	25,83	31,75
Setembro	215	0,0	90,2	10,50	17,04	19,17
Outubro	209	0,0	99,8	13,50	18,15	18,91
Novembro	205	0,0	75,4	1,60	6,19	11,42
Dezembro	203	0,0	286,8	28,60	42,85	44,95

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

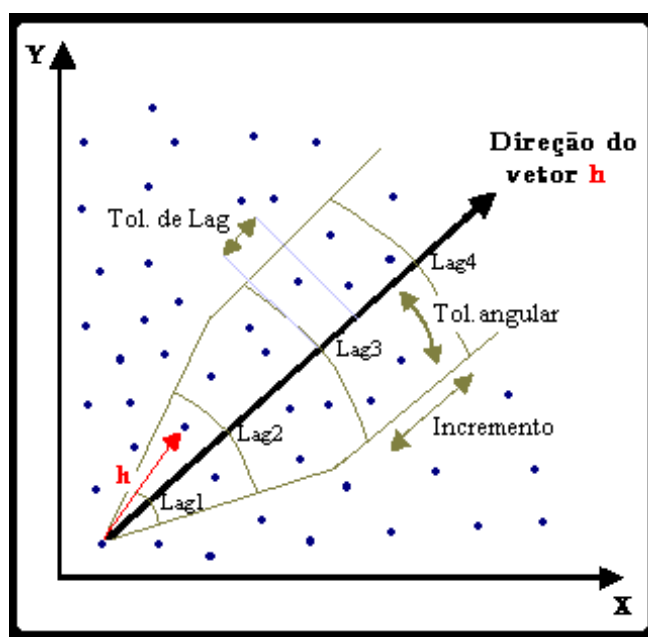
4.3 Codificação por Indicação

As amostras de precipitação acumulada de cada mês do período (1998 a 2001) foram codificadas por indicação para nove valores de corte (ou cotas). Estas cotas foram escolhidas com base nos decis da distribuição da variável precipitação acumulada (do referido mês), ou seja, a 1ª cota (z_1) foi o 1ª decil, a 2ª cota (z_2) foi o 2ª decil, ..., a 9ª cota (z_9) foi o 9ª decil. A partir destes valores de corte, foram geradas para cada mês do período considerado, nove variáveis por indicação, $i(u, z_1), i(u, z_2), \dots, i(u, z_9)$. Vale notar porém, que se algum decil for igual ao valor mínimo, a variável por indicação correspondente terá como valores apenas o número 0 e se algum decil for igual ao valor máximo, a variável por indicação correspondente terá como valores apenas o número 1. Em ambos os casos, nos quais os valores da variável por indicação forem todos iguais a um único número (0

ou 1), o valor do semivariograma será igual a zero (ver seção 3.2.4). Por esta razão, não foram utilizadas as cotas que eram iguais aos valores mínimos ou máximos da variável.

4.4 Geração do Semivariograma

A partir das nove variáveis por indicação, de cada mês do período (1998 a 2001), foram gerados os semivariogramas indicador. Foram estabelecidos os seguintes parâmetros: N° de Lag. (número de distância utilizadas), Incremento (denotado por: $\|h\|$, distância de cada Lag.), Tol. do Lag. (denotado por: d , tolerância do Lag.), Dir. (denotado por: (α) , direção (ou ângulo) de busca), Tol. angular (denotada por: t , tolerância angular). Estes parâmetros podem ser visualizados no gráfico da Figura 10.



Fonte: Adaptado de Deutsch e Schnetzler (2000).

Figura 10 - Ilustração dos parâmetros do Semivariograma Indicador.

Utilizou-se como padrão a direção de $(\alpha = 0^\circ)$, com uma tolerância de $(t = 90^\circ)$, isto equivale a escolher todas as direções. Sendo assim, foram pareadas todas as amostras que

estavam a um intervalo de distância pré definido ($\| h \| \pm d$), sem levar em consideração a direção. Além disto, o parâmetro Tol. do Lag, d , foi estabelecido como sendo a metade do Incremento, em todos os Lag's ($d = \frac{\|h\|}{2}$). Já os parâmetros número de Lag e Incremento foram escolhidos de forma a obter um gráfico do semivariograma que melhor representa-se a variação da precipitação acumulada.

4.5 Modelagem do Semivariograma

Os semivariogramas indicador, gerados anteriormente, foram ajustados utilizando como modelos teóricos o Exponencial ou o Esférico. Os parâmetros relativos a geração do semivariograma indicador, como também os obtidos após a modelagem do semivariograma indicador, para cada uma das variáveis por indicação estão descritos nas Tabelas 5 a 52, que se encontram no Apêndice A. Estas tabelas estão organizadas da seguinte forma: na Tabela 5 estão os parâmetros relativos ao mês de janeiro de 1998, na Tabela 6 estão os parâmetros relativos ao mês de fevereiro de 1998 e assim sucessivamente até a Tabela 52, na qual estão presentes os parâmetros relativos ao mês de dezembro de 2001.

4.6 Krigagem por Indicação

Por fim, utilizou-se os modelos obtidos na subseção 4.5, para realizar a Krigagem por Indicação e obter os modelos para mediana e intervalo interquartil da precipitação acumulada de cada mês do período (1998 a 2001). Como foi verificado na análise exploratória dos dados de precipitação acumulada do estado da Paraíba, estes apresentam distribuição assimétrica positiva. Devido a essa assimetria, a mediana é uma medida mais robusta

para determinar a tendência central deste fenômeno, que a média. Para se ter uma idéia da variabilidade da precipitação acumulada, utilizou-se o intervalo interquartil. O resultado da Krigagem por Indicação é uma grade com os valores estimados, que pode ser mais refinada que a grade das amostras, dependendo do parâmetro resolução adotado. Adotou-se para todas as grades geradas a resolução 1.000 x 1.000 m (Res. X = 1.000 e Res. Y = 1.000). Além disto, os parâmetros de raio e orientação do elipsóide de busca da Krigagem por Indicação, também foram estabelecidos a priori, para o caso isotrópico, com os seguintes valores: raio mínimo e raio máximo igual, em metros, a diagonal do retângulo envolvente do Projeto ($R_{\max} = 111.080,14$ e $R_{\min} = 111.080,14$) e ângulo igual a 0° .

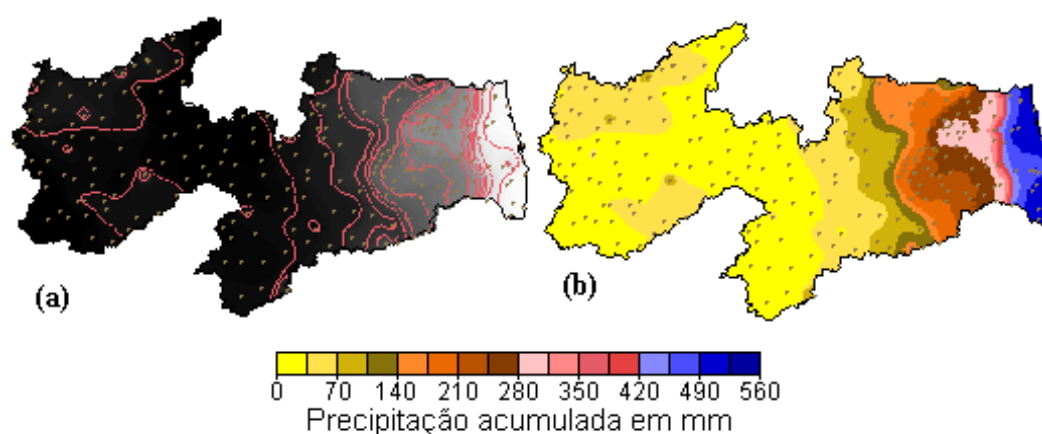


Figura 11 - Distribuição espacial da precipitação acumulada
(mês de junho de 2000), (a) imagem em níveis de cinza
com curvas de níveis e (b) fatiamento deste modelo.

Entre as formas de apresentação destes modelos, assunto abordado na seção 3.1.3, têm-se os mapas apresentados na Figura 11. Estes mapas foram obtidos na geração da superfície mediana da precipitação acumulada referente ao mês de junho de 2000, onde (a) é a imagem em níveis de cinza do modelo gerado, com as curvas de níveis sobreposta e (b)

é o mapa do fatiamento do modelo. Os intervalos das curvas de níveis são os mesmos do fatiamento do modelo. Optou-se por apresentar os modelos gerados utilizando o método de fatiamento, com uma escala de intervalos de precipitação acumulada (em mm) fixa para todos os meses. Permitindo assim, confrontar meses deste período.

5 Resultados

Apresentam-se a seguir, os mapas do fatiamento das superfícies (a) mediana e (b) intervalo interquartil da variável precipitação acumulada, para cada um dos meses do período (1998 a 2001). Alguns meses apresentaram uma variação de 0 a 35 mm de precipitação para estes parâmetros (mediana e intervalo interquartil), em todo o estado da Paraíba. Os mapas destes meses não foram apresentados, uma vez que estes mapas só possuem uma classe. Estes meses são: setembro de 1998, outubro de 1998, novembro de 1998, dezembro de 1998, setembro de 1999, outubro de 2000, novembro de 2001.

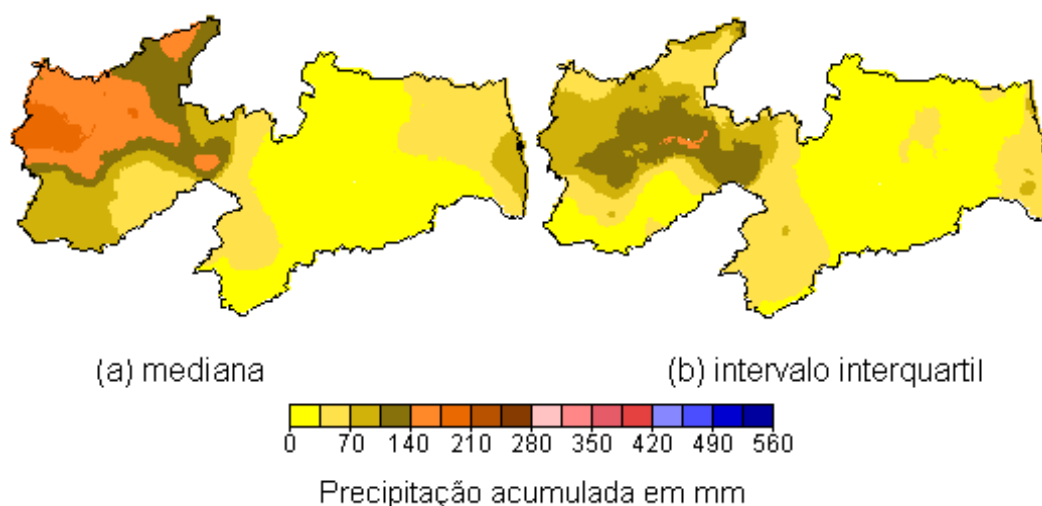


Figura 12 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de janeiro de 1998

No mapa (a) da Figura 12, tem-se a distribuição espacial da precipitação mediana (mês de janeiro de 1998), onde se verifica, que o Sertão foi a mesorregião que apresentou maiores níveis de precipitação (entre 0 e 210 mm), neste mês. Na Borborema e na parte sul do Agreste os níveis de precipitação foram inferiores a 35 mm. O mapa (b) mostra o intervalo interquartil da precipitação desta variável, onde se verifica, que a maior dispersão

destes dados encontra-se na região central do Sertão (área onde ocorreu maiores níveis de precipitação mediana neste mês).

Na Figura 13, têm-se os mapas da mediana (a) e do intervalo interquartil (b) da precipitação referente ao mês de fevereiro de 1998. Em todo o estado da Paraíba, a precipitação mediana variou entre 0 e 105 mm. Na maior parte do Estado (Borborema e sul do Sertão, Agreste e Litoral) os níveis de precipitação foram inferiores a 35 mm. A distribuição espacial do intervalo interquartil da precipitação mostra que a dispersão foi maior na mesorregião do Sertão.

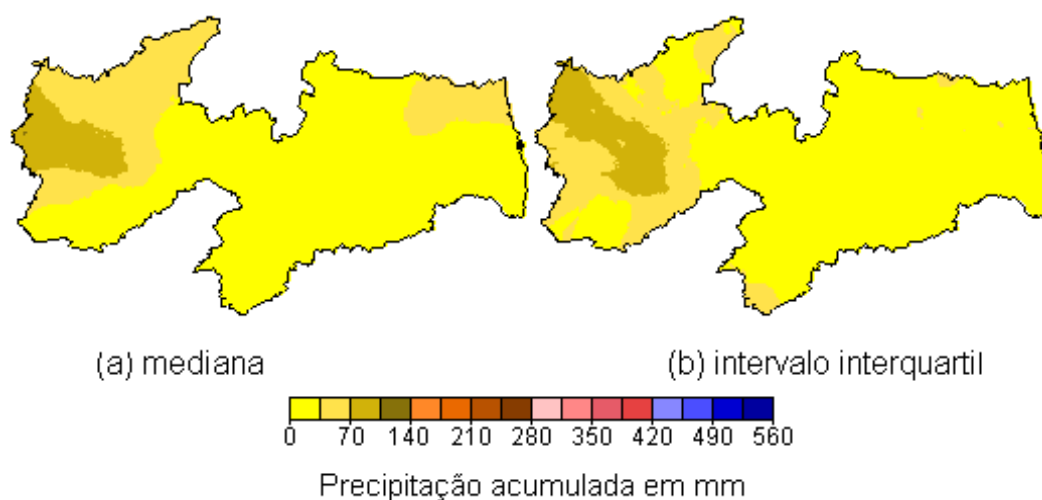


Figura 13 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de fevereiro de 1998

A distribuição espacial da precipitação mediana (mês de março de 1998) variou entre 0 e 140 mm e pode ser visualizada no mapa (a) da Figura 14. Observa-se que a precipitação mediana apresenta uma tendência decrescente do Sertão até a Borborema, voltando a crescer do Agreste até o extremo sul do Litoral. Pode-se visualizar no mapa (b), que o intervalo interquartil da precipitação foi maior nas áreas onde foram observados maiores níveis de precipitação neste mês.

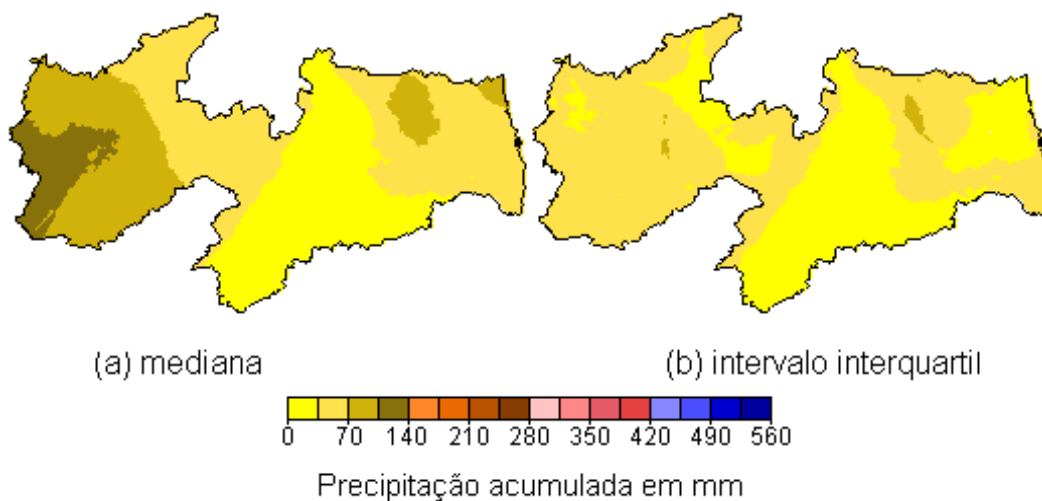


Figura 14 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de março de 1998

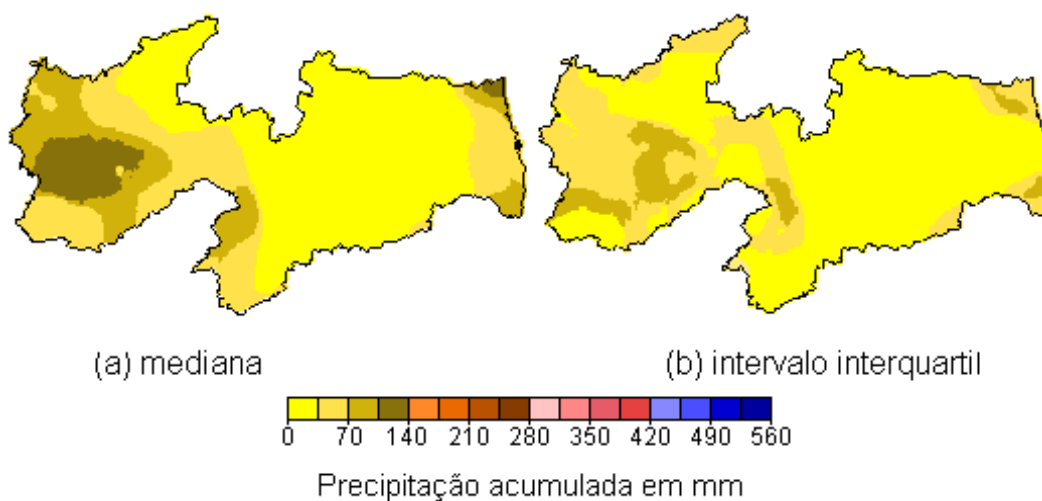


Figura 15 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de abril de 1998

No mês de abril de 1998, verificou-se que a distribuição espacial da precipitação mediana (mapa (a) da Figura 15) variou entre 0 e 140 mm. Os maiores níveis de precipitação mediana foram observados na parte central da mesorregião do Sertão, no extremo sul da Borborema e nos extremos norte e sul do Litoral. Estas áreas também apresentaram

maiores níveis de dispersão, o que pode ser visualizado no mapa (b) da Figura 15, da distribuição espacial do intervalo interquartil da precipitação.

No mapa (a) da Figura 16, pode-se visualizar que a precipitação mediana (no mês de maio de 1998) foi inferior a 35 mm, na região que corresponde a zona climática tropical quente semi-árido. Observa-se também, um aumento gradual dos níveis de precipitação mediana na direção do Litoral (precipitação máxima de 175 mm). No mapa (b) pode-se visualizar que o intervalo interquartil da precipitação foi maior no Agreste e Litoral, onde foram observados os maiores níveis de precipitação mediana.

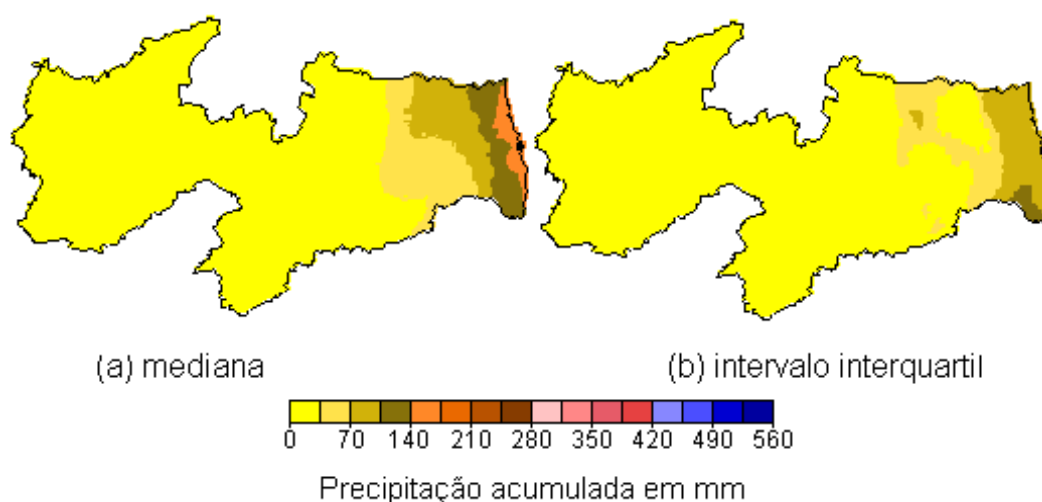


Figura 16 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de maio de 1998

A distribuição espacial da precipitação mediana referente ao mês de junho de 1998 pode ser visualizada no mapa (a) da Figura 17. Observa-se neste mapa, que a precipitação mediana foi inferior a 35 mm, na área correspondente a zona climática tropical quente semi-árido. Nas demais áreas, verifica-se que a precipitação mediana apresenta um crescimento gradual no sentido oeste - leste, com precipitação máxima de 280 mm. O intervalo interquartil da precipitação (mapa (b), Figura 17) mostra que a área com maior dispersão desta variável no Estado foi o Litoral.

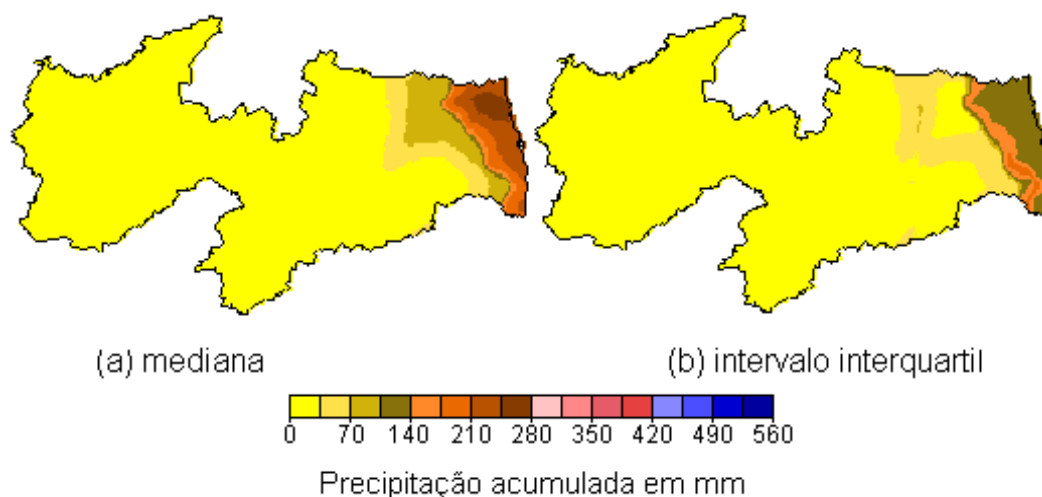


Figura 17 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de junho de 1998

Em julho de 1998, observou-se que no Sertão e na Borborema a precipitação mediana foi inferior a 35 mm (mapas (a) da Figura 18). Do Agreste ao Litoral a precipitação mediana apresenta um crescimento gradual de 0 a 175 mm (no Agreste) e de 105 a 245 mm (no Litoral). A concentração das chuvas foi portanto, nas mesorregiões do Agreste e Litoral, onde se observou intervalos interquartil da precipitação entre 0 e 105 mm.

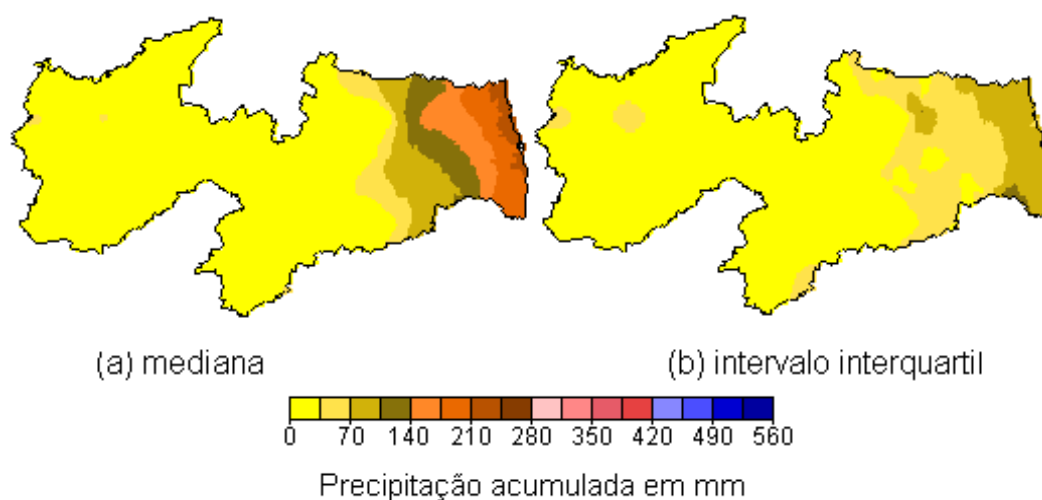


Figura 18 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de julho de 1998

No mês de agosto de 1998, a distribuição espacial da precipitação mediana foi inferior a 35 mm (no Sertão), variou entre 0 e 70 mm (na Borborema), de 0 e 140 mm (no Agreste) e de 70 a 210 mm (no Litoral). Com isto, pode-se observar que esta distribuição apresenta uma tendência crescente no sentido oeste - leste. O intervalo interquartil da precipitação também seguiu a mesma tendência da precipitação mediana, mas com menor intensidade (inferior a 140 mm).

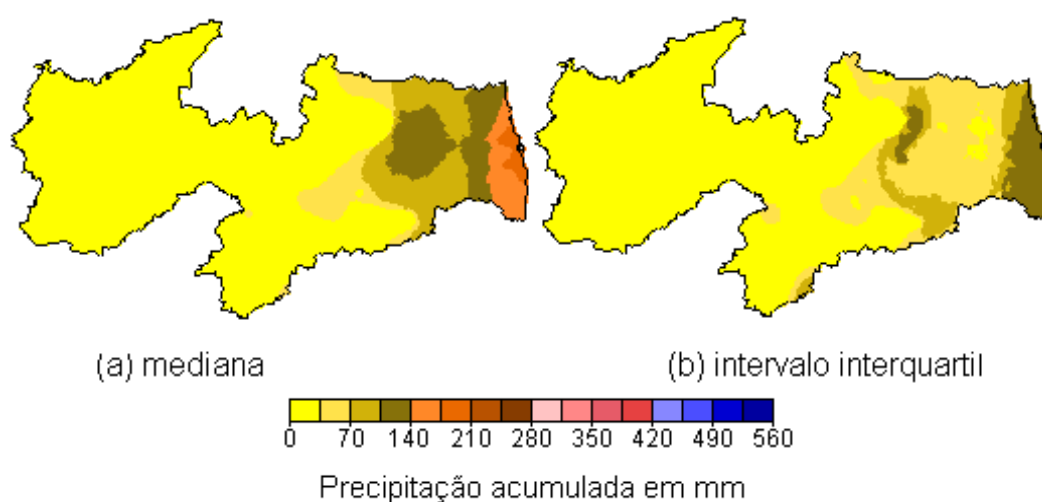


Figura 19 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de agosto de 1998

Nos meses de setembro a dezembro de 1998, a mediana e intervalo interquartil da precipitação apresentou níveis sempre inferiores a 35 mm, em todo o estado da Paraíba. Por apresentar apenas uma classe da escala de precipitação utilizada, os mapas correspondentes não foram mostrados.

Na Figura 20, têm-se os mapas da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação referente ao mês de janeiro de 2000. No mapa (a), pode-se visualizar que as áreas com menores níveis de precipitação neste mês, foram as compreendidas pelas mesorregiões da Borborema, Agreste e Litoral, com precipitação mediana inferior a 70 mm. Já

no Sertão, a precipitação mediana variou entre 70 e 175 mm, com maior concentração no extremo oeste desta mesorregião. Nesta mesorregião, também foi observado os maiores níveis de precipitação do intervalo interquartil, neste mês.

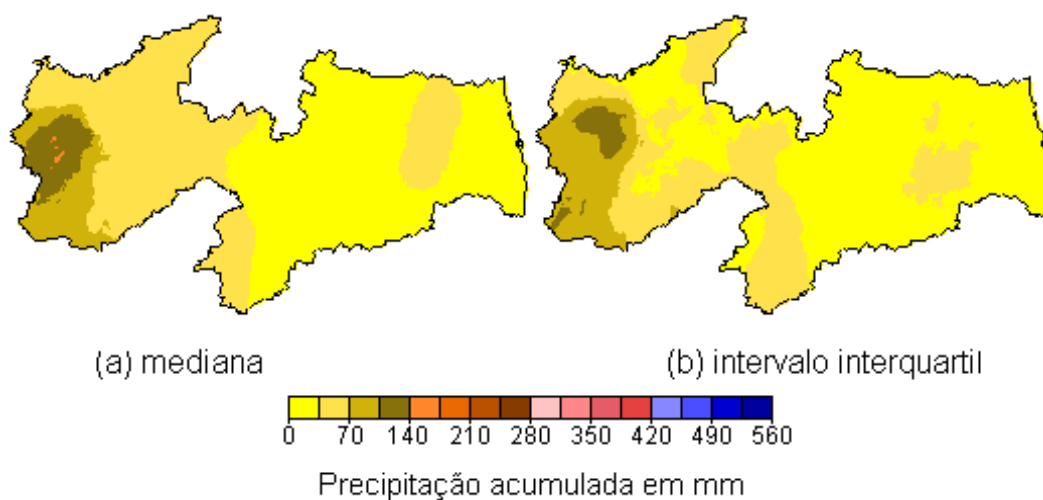


Figura 20 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de janeiro de 1999

Os mapas da distribuição espacial da mediana (a) e do intervalo interquartil (b) da precipitação (mês de fevereiro de 1999) pode ser visualizado na Figura 21. No mapa (a), pode-se notar que os maiores níveis de precipitação mediana, neste mês, foram observados na parte oeste da mesorregião do Sertão e no extremo sul do Agreste (com precipitação máxima de 140 mm). No Litoral, a precipitação mediana variou entre 35 e 105 mm. A distribuição espacial do intervalo interquartil da precipitação seguiu a mesma tendência que a distribuição da precipitação mediana, mas com menor intensidade (inferior a 105 mm).

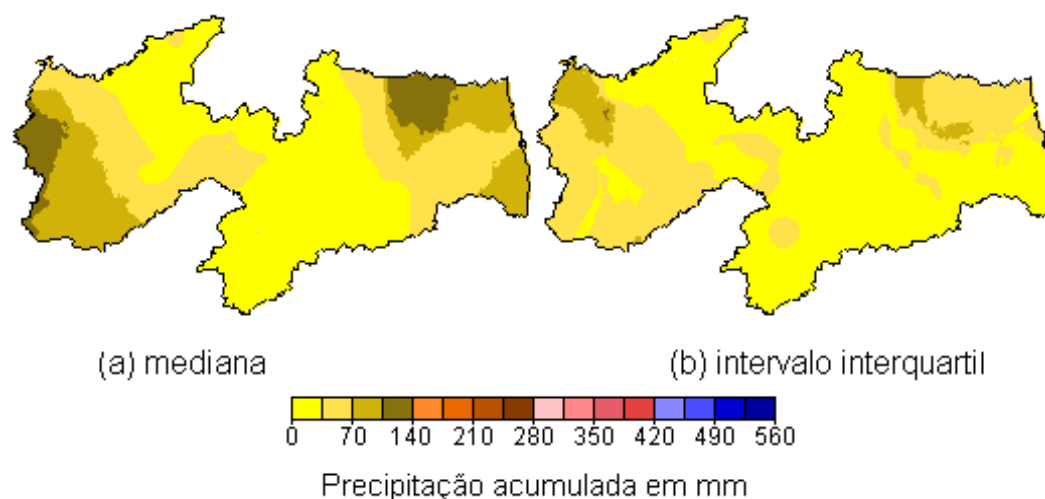


Figura 21 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de fevereiro de 1999

Na Figura 22, pode-se notar que a distribuição espacial da precipitação mediana variou entre 35 e 280 mm em todo o Estado, no mês de março de 1999. As áreas com maiores níveis de precipitação mediana foram o Sertão (de 105 a 280 mm) e o Agreste (de 35 a 175 mm). O intervalo interquartil da precipitação, no entanto, se concentrou mais na mesorregião do Sertão.

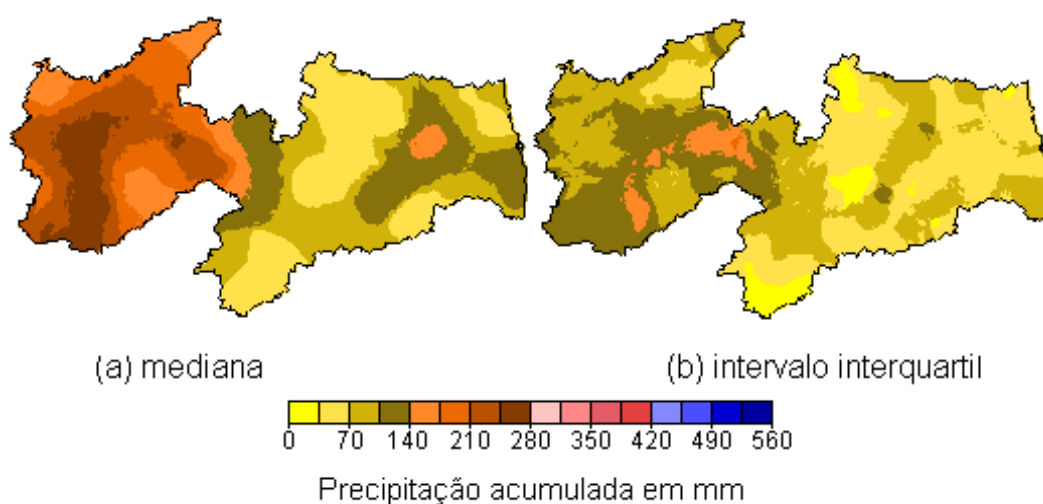


Figura 22 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de março de 1999

A distribuição espacial da precipitação mediana (mês de abril de 1999), pode ser visualizada no mapa (a) da Figura 23, onde se verifica, que esta variou entre 0 e 140 mm. As áreas com maiores níveis de precipitação mediana foram o extremo oeste e norte do Sertão (entre 35 e 140 mm) e os extremos norte e sul do Litoral (entre 35 e 105 mm). Já o intervalo interquartil da precipitação, apesar de ter mantido a tendência da distribuição da precipitação mediana, no Sertão foram observadas dispersões maiores que os níveis medianos em alguns pontos, como mostra o mapa (b) da Figura 23.

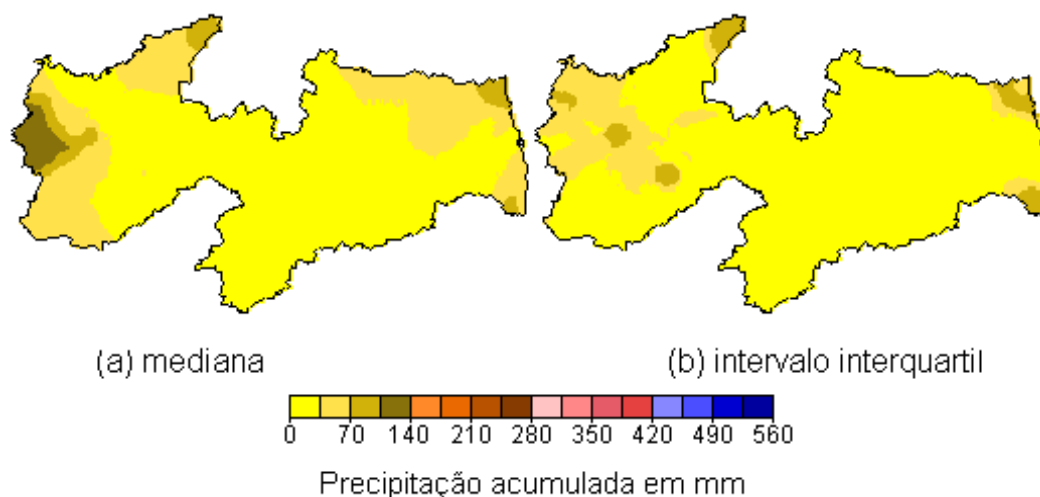


Figura 23 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de abril de 1999

No mapa (a) da Figura 24, vê-se a distribuição espacial da precipitação mediana (mês de maio de 1999), que apresentou variação de 0 a 315 mm, em todo o Estado. Observa-se um crescimento gradual da precipitação mediana da Borborema até o Litoral, onde o nível máximo de precipitação chegou a ser 315 mm. No Sertão, em particular, a distribuição da precipitação mediana apresentou uma tendência crescente no sentido sul - norte, com variação de 70 a 245 mm. Já o intervalo interquartil da precipitação foi maior entre as mesorregiões do Sertão e Borborema e no Litoral, com máxima de 245 mm.

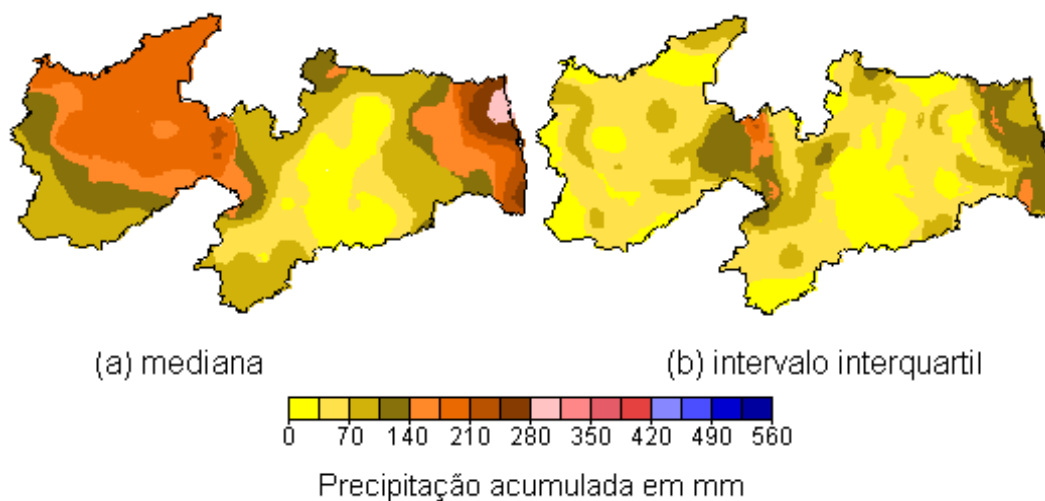


Figura 24 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de maio de 1999

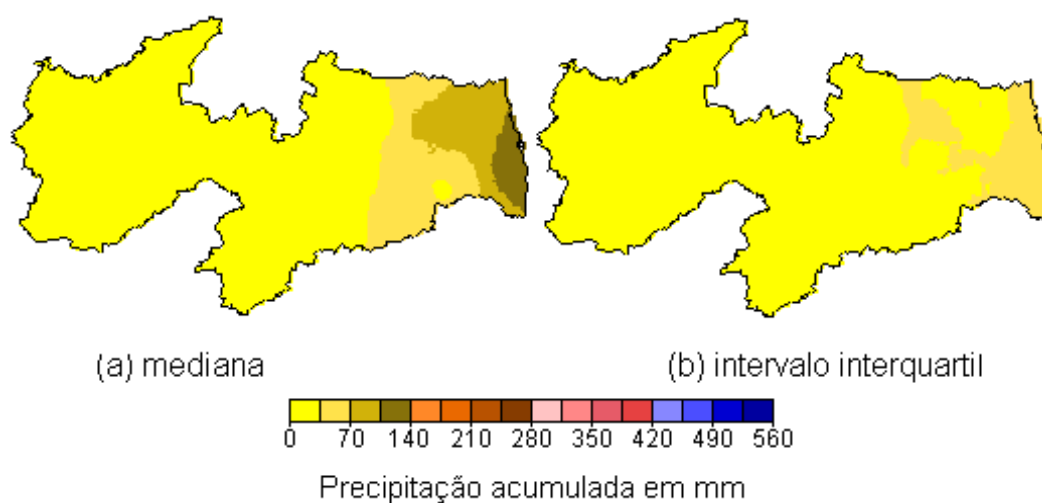


Figura 25 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de junho de 1999

No mês de junho de 1999, a distribuição espacial da precipitação mediana (mapa (a) Figura 25) apresentou uma tendência crescente do Agreste ao Litoral, com precipitação mediana máxima de 140 mm. Na maior parte do Estado, compreendida pelas mesorregiões do Sertão e Borborema, a precipitação mediana foi inferior a 35 mm. A distribuição

espacial do intervalo interquartil da precipitação (mapa (b)) também apresentou a mesma tendência da precipitação mediana, mas com menor intensidade (inferior a 70 mm).

No mapa (a) da Figura 26, vê-se a distribuição espacial da precipitação mediana (mês de julho de 1999), onde se verifica, que a maior área do Estado, compreendida pelas mesorregiões do Sertão, Borborema e os extremos norte e sul do Agreste, apresentou níveis de precipitação inferiores a 70 mm. Nas demais áreas a precipitação mediana variou entre 70 e 140 mm. O intervalo interquartil da precipitação apresentou também, a mesma tendência da precipitação mediana, mas com menor intensidade (intervalos inferiores a 105 mm).

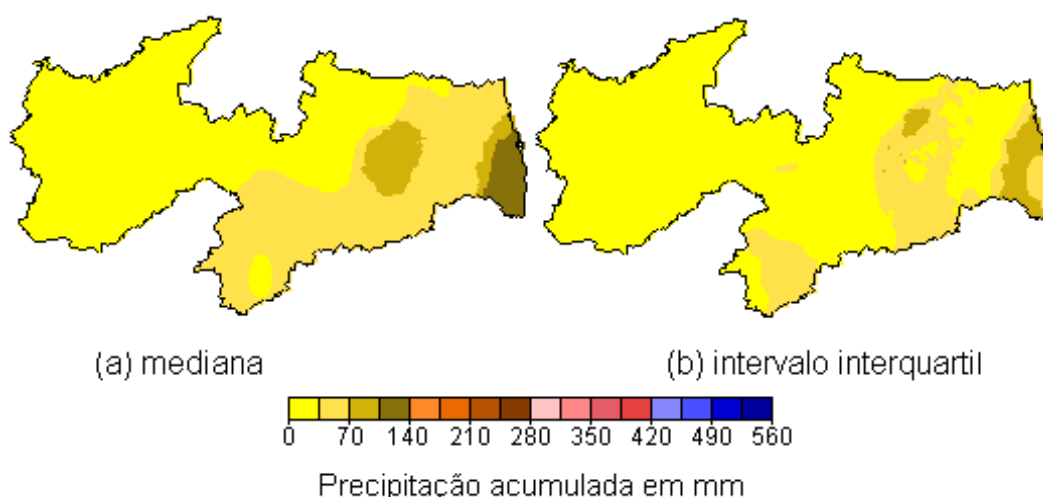


Figura 26 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de julho de 1999

A distribuição da precipitação mediana (a) e intervalo interquartil (b) apresentaram níveis inferiores a 105 mm em todo o Estado, no mês de agosto de 1999. Na parte sul do Litoral, a precipitação mediana e o intervalo interquartil chegou a ser 105 mm.

No mês de setembro de 1999, a distribuição da precipitação mediana e intervalo interquartil foi inferior a 35 mm (apenas uma classe dos intervalos de precipitação acu-

mulada), em todo o estado da Paraíba. Por esta razão, os mapas referentes a este mês não foram mostrados.

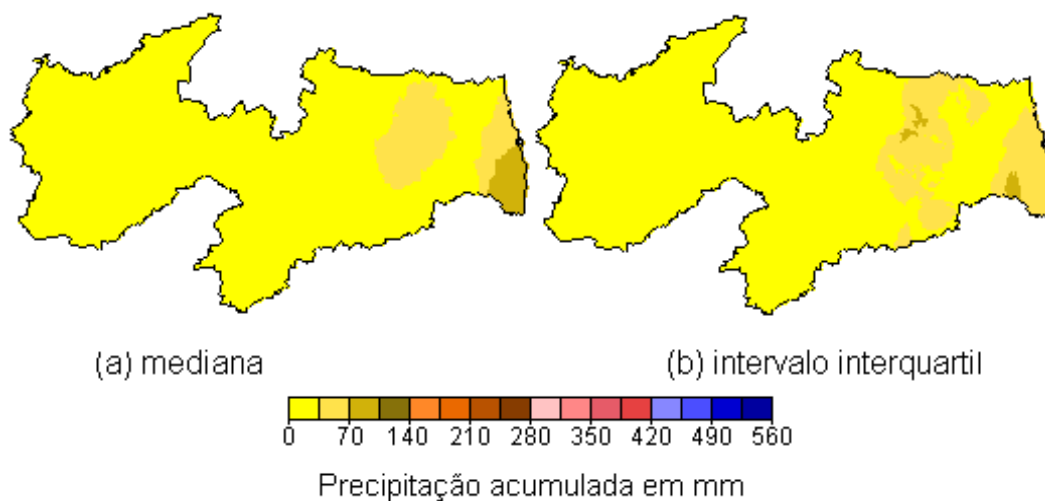


Figura 27 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de agosto de 1999

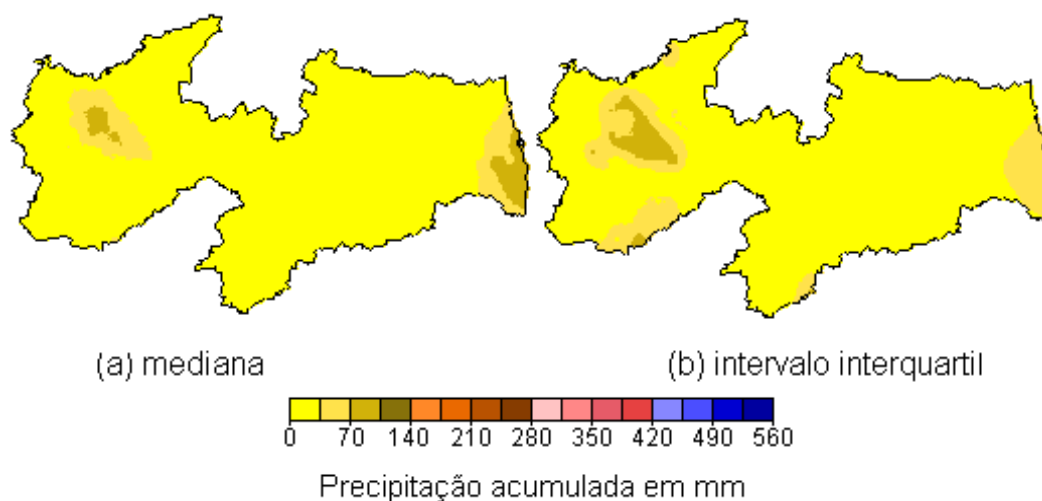


Figura 28 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de outubro de 1999

Em outubro de 1999, a distribuição espacial da mediana e do intervalo interquartil da precipitação (mapas (a) e (b) da Figura 28, respectivamente) foi inferior a 35 mm na

maior parte de Estado. Apenas, na parte sul do Litoral e na região central da mesorregião do Sertão, a precipitação mediana e intervalo interquartil chegou a ser 105 mm.

Na Figura 29, pode-se visualizar os mapas da precipitação mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação, referente ao mês de novembro de 1999. Nestes mapas, vê-se que a precipitação mediana e intervalo interquartil variaram entre 0 e 105 mm, no Sertão paraibano e nas demais áreas, a precipitação foi inferior a 35 mm.

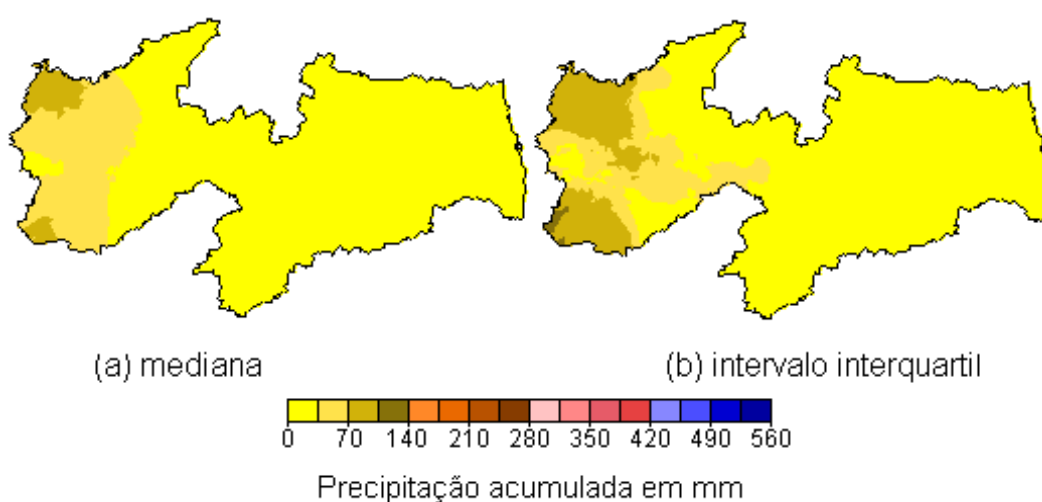


Figura 29 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de novembro de 1999

No mês de dezembro de 1999, observou-se um aumento nos níveis de precipitação, em relação aos meses anteriores. No Sertão, a precipitação mediana variou entre 35 e 175 mm e o intervalo interquartil da precipitação foi inferior a 105 mm. Nas demais mesorregiões, a precipitação mediana e intervalo interquartil foi inferior a 70 mm.

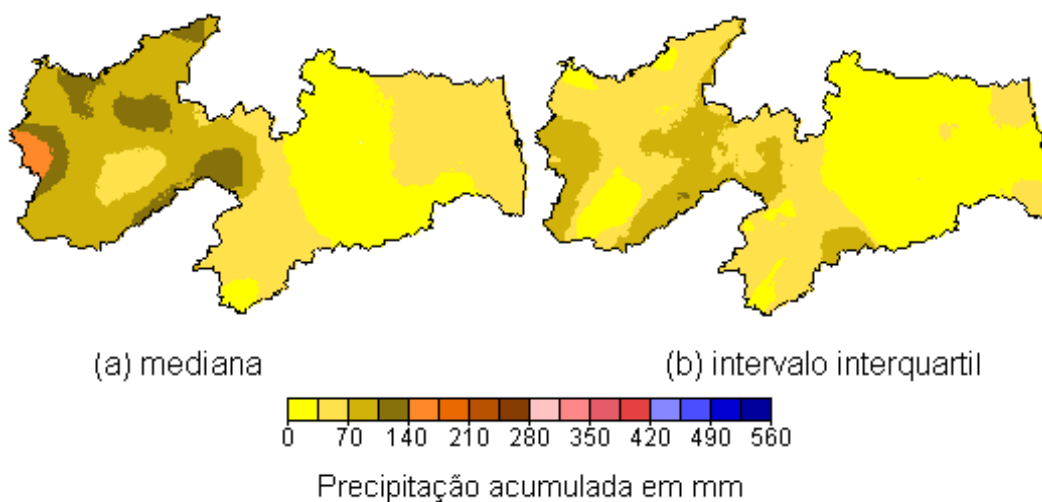


Figura 30 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de dezembro de 1999

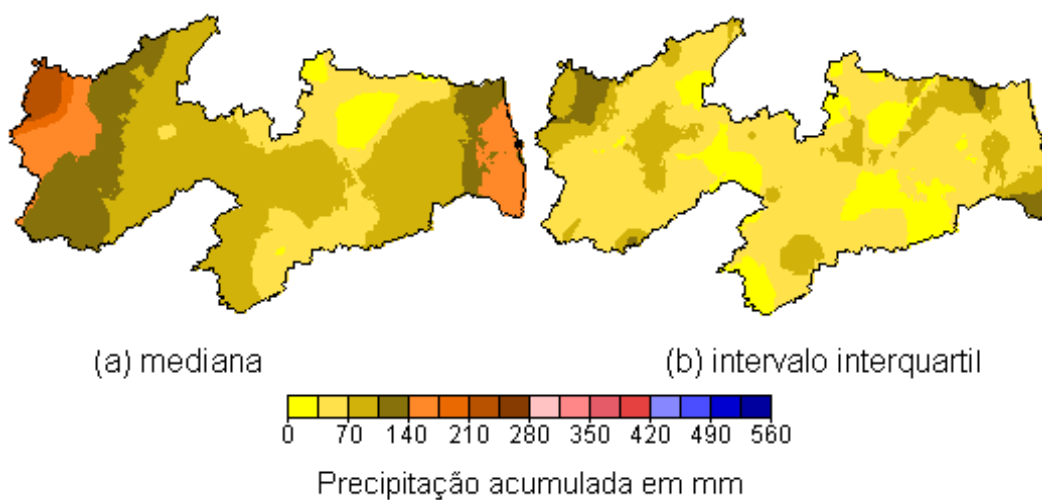


Figura 31 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de janeiro de 2000

No mapa (a) da Figura 31, pode-se observar a distribuição espacial da precipitação mediana (mês de janeiro de 2000), onde se verifica, que esta apresenta uma tendência decrescente do Sertão até a Borborema, com variação de 35 a 245 mm. Do Agreste até o Litoral, os níveis de precipitação voltam a crescer gradualmente, chegando a ser 210 mm.

A distribuição do intervalo interquartil da precipitação variou entre 0 e 140 mm, em todo o Estado, com os maiores níveis no extremo norte do Sertão e no extremo sul do Litoral.

A distribuição espacial da precipitação mediana (mapa (a) da Figura 32) mostra que a mesorregião do Sertão apresentou os maiores níveis de precipitação do Estado (entre 175 e 315 mm), no mês de fevereiro de 2000. Na Borborema, os níveis também foram altos, em comparados com os meses anteriores, apresentando variação de 35 a 210 mm. Os níveis de precipitação mais baixos, deste mês, foram observados no Agreste, com variação entre 35 e 105 mm). O intervalo interquartil da precipitação, que pode ser visualizado no mapa (b) da Figura 32, mostra que as áreas com maior dispersão foram as fronteiras da Borborema com o Sertão e com o Agreste.

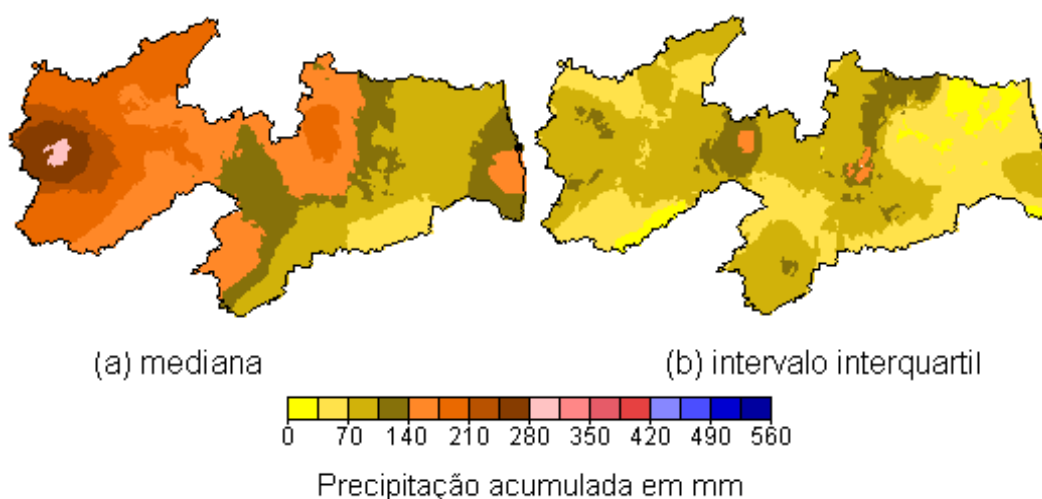


Figura 32 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de fevereiro de 2000

No mês de março de 2000, a distribuição espacial da precipitação mediana apresentou uma tendência decrescente da região sul do Sertão (com precipitação máxima de 315 mm) até o Agreste. Deste até o Litoral, os níveis de precipitação mediana voltaram a crescer até 175 mm. A dispersão, no entanto, foi maior no extremo norte da Borborema, onde o intervalo interquartil da precipitação chegou a ser 175 mm.

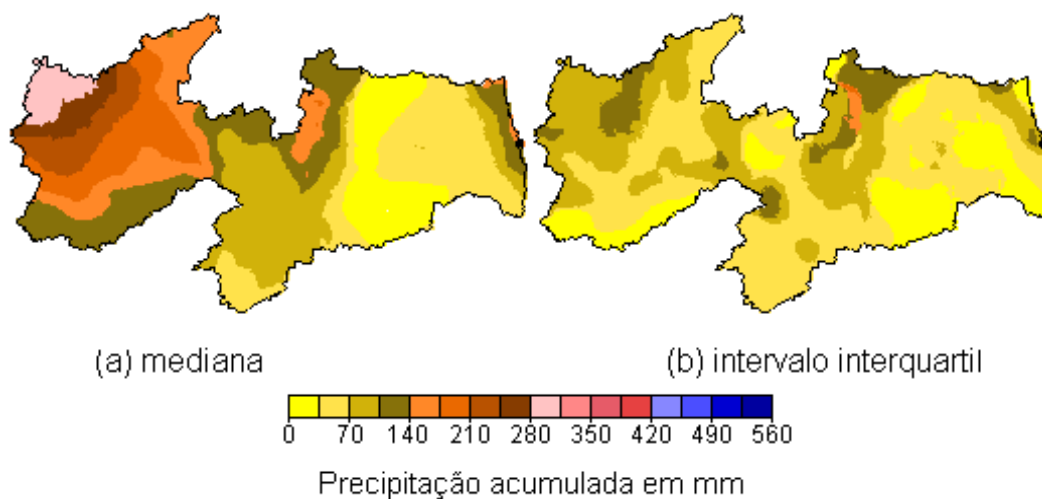


Figura 33 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de março de 2000

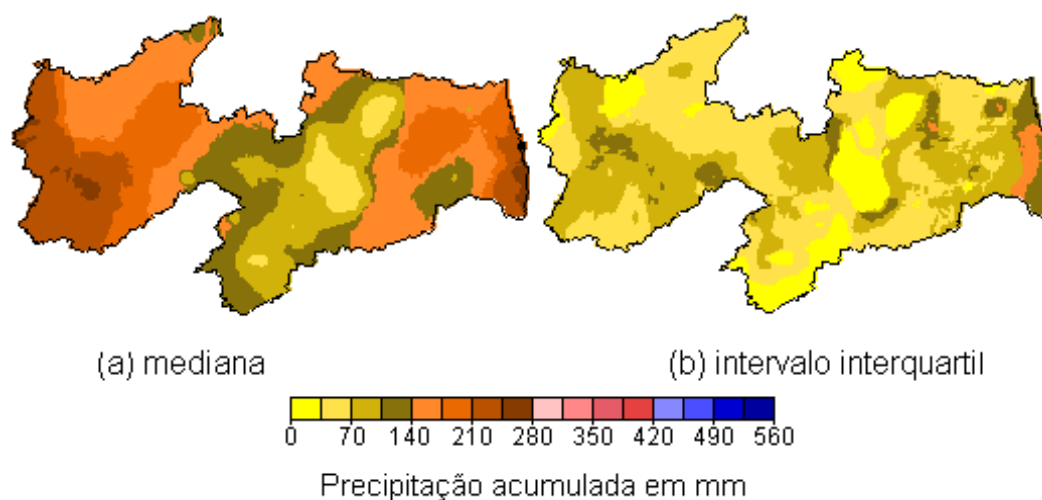


Figura 34 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de abril de 2000

No mapa (a) da Figura 34, vê-se a distribuição espacial da precipitação mediana (mês de abril de 2000), onde se verifica, que esta apresenta uma variação de 35 a 280 mm, com maior dispersão no Litoral (com intervalo interquartil da precipitação entre 35 e 175 mm). Da região sul do Sertão até a Borborema, os níveis de precipitação mediana

decreceram de 280 a 35 mm. Da Borborema até o Litoral, os níveis de precipitação voltaram a crescer de 35 a 280 mm.

A distribuição espacial da precipitação mediana (mês de maio de 2000) pode ser visualizada no mapa (a) da Figura 35. Observa-se neste mapa, que a precipitação mediana foi inferior a 70 mm, na área correspondente a zona climática tropical quente semi-árido. Nas demais áreas, verifica-se que a precipitação mediana apresenta um crescimento gradual no sentido oeste - leste, com precipitação máxima de 280 mm (no Litoral). O intervalo interquartil da precipitação (mapa (b), Figura 17) mostra que a área com maior dispersão desta variável no Estado, também foi o Litoral.

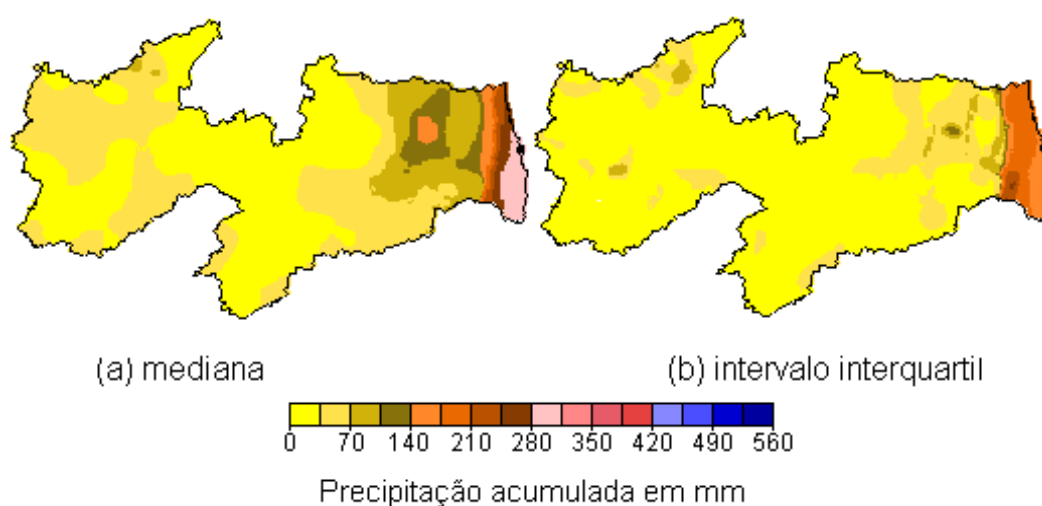


Figura 35 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de maio de 2000

No mapa (a) da Figura 36, pode-se verificar que a precipitação mediana (no mês de junho de 2000) foi inferior a 70 mm nas mesorregiões do Sertão e Borborema. Observa-se também, um aumento gradual dos níveis de precipitação mediana do Agreste (com precipitação máxima de 315 mm) até o Litoral (com precipitação máxima de 525 mm). No mapa (b) pode-se visualizar que o intervalo interquartil da precipitação foi maior no Agreste e Litoral, onde foram observados os maiores níveis de precipitação mediana.

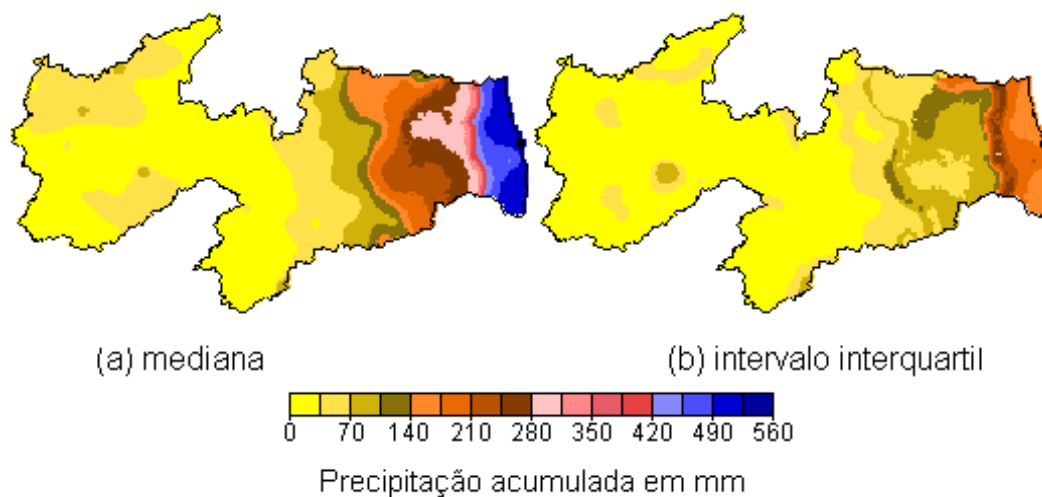


Figura 36 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de junho de 2000

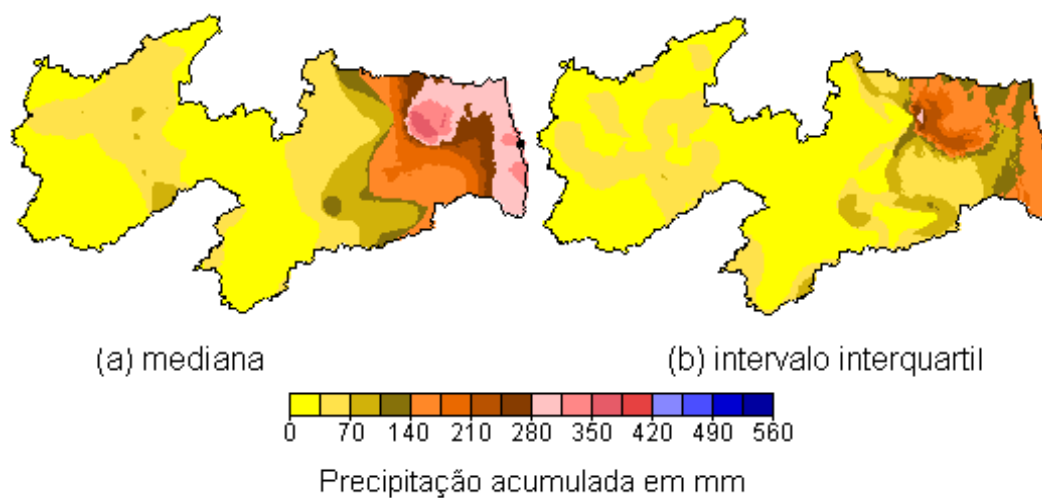


Figura 37 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de julho de 2000

A distribuição espacial da precipitação mediana (mês de julho de 2000), pode ser visualizada no mapa (a) da Figura 37, onde se verifica, que esta variou entre 0 e 385 mm. As áreas com maiores níveis de precipitação mediana foram o Agreste (entre 35 e 385 mm) e o Litoral (entre 140 e 350 mm). O intervalo interquartil da precipitação manteve

a mesma tendência da distribuição da precipitação mediana, mas com menor intensidade (inferior a 315 mm).

Pode-se observar no mapa (a) da Figura 38, que a distribuição espacial da mediana foi inferior a 105 mm, nas mesorregiões do Sertão e Borboremas. Nas demais áreas, verifica-se que a mediana e o intervalo interquartil da precipitação apresentaram a mesma tendência de crescimento, com as respectivas variações: entre 35 e 245 mm (mediana) e entre 0 e 140 mm (intervalo interquartil).

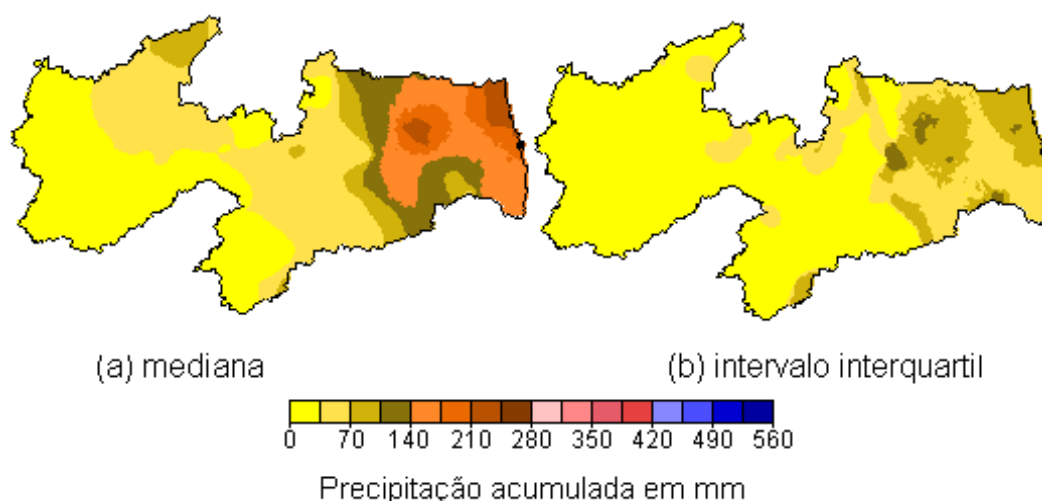


Figura 38 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de agosto de 2000

A distribuição espacial da precipitação mediana apresentou uma tendência crescente, no sentido oeste - leste, no mês de setembro de 2000, como pode ser visualizado no mapa (a) da Figura 39. No Sertão e na Borborema, os níveis de precipitação variaram entre 0 e 105 mm. Do Agreste ao Litoral, os níveis apresentaram um crescimento gradual, chegando a ser 315 mm (no Litoral). A dispersão foi maior na fronteira entre o Agreste e o litoral, onde o intervalo interquartil da precipitação foi inferior a 175 mm.

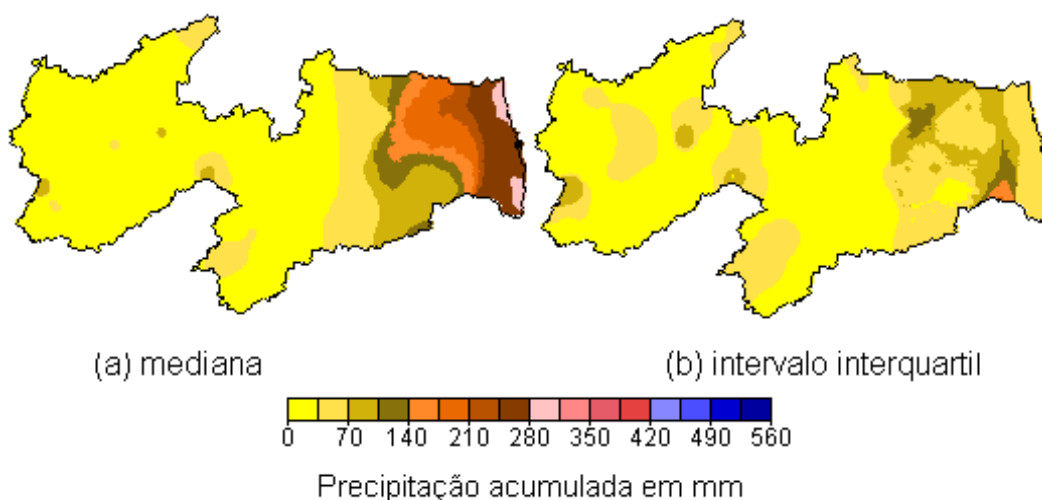


Figura 39 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de setembro de 2000

No mês de novembro de 2000, a mediana e o intervalo interquartil da precipitação (mapas (a) e (b) da Figura 40) apresentaram níveis inferiores a 35 mm, com exceção do Litoral, onde a precipitação máxima foi de 70 mm. No mês de outubro de 2000, os níveis de precipitação mediana foram inferiores a 35 mm em todo o estado da Paraíba.

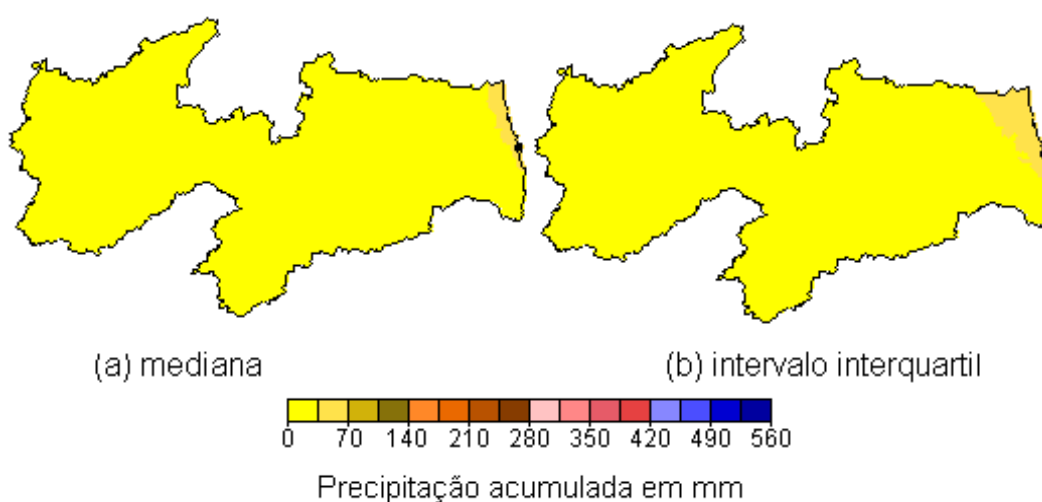


Figura 40 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de novembro de 2000

Na Figura 41, vê-se nos mapas da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação (mês dezembro de 2000), que esta cresce no sentido norte - sul, sendo o extremo sul da Borborema e do Litoral as áreas com maiores índices de precipitação (inferiores a 140 mm).

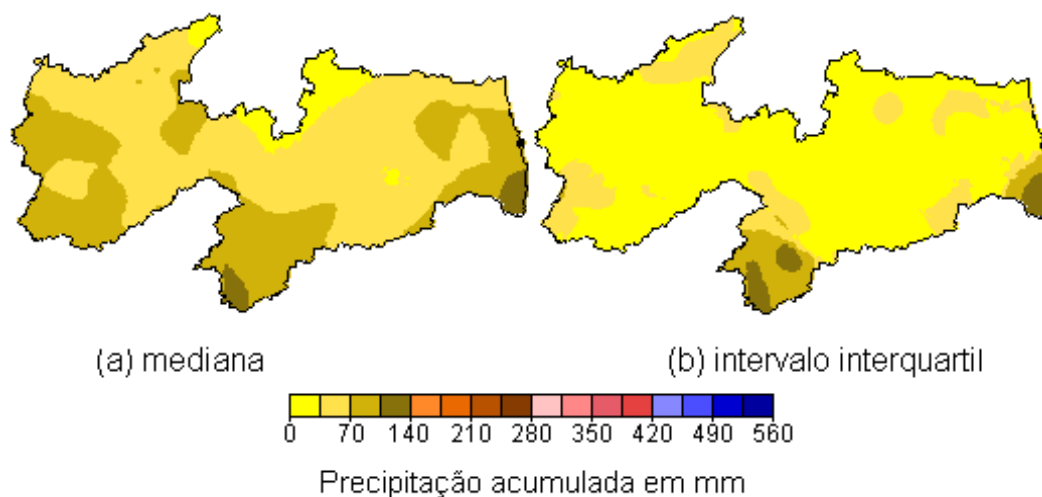


Figura 41 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de dezembro de 2000

Em janeiro de 2001, a distribuição espacial da mediana e intervalo interquartil da precipitação apresentou índices inferiores a 70 mm em todo o Estado, como pode ser visualizado no mapa (a) e (b), respectivamente, da Figura 42.

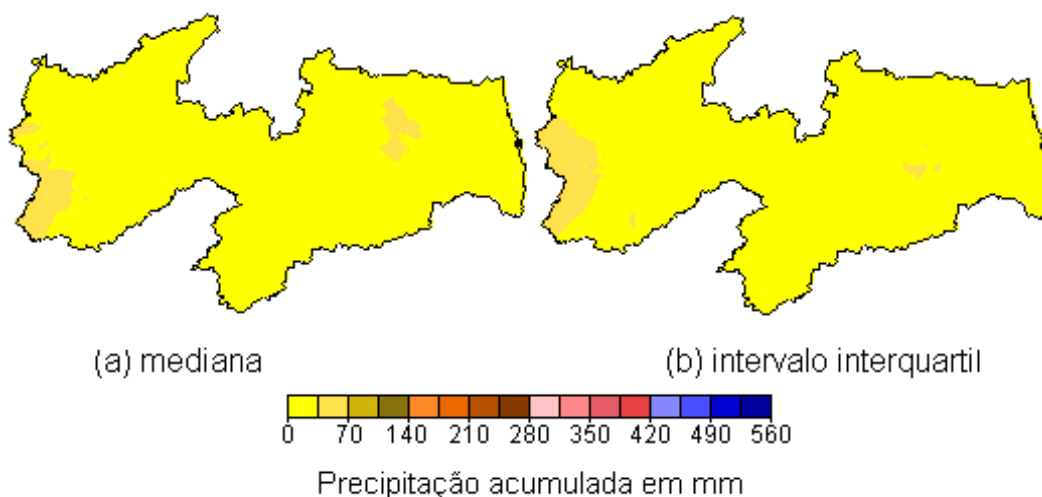


Figura 42 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de janeiro de 2001

Pode-se observar na Figura 43, nos mapas da mediana (mapa a) e intervalo interquartil (mapa b) da precipitação (mês de fevereiro de 2001), que estas apresentam índices inferiores a 35 mm na maior parte do Estado, compreendido pelas mesorregiões do Litoral, Agreste e Borborema. Na parte sul do Sertão, a precipitação mediana variou entre 35 e 140 mm, com intervalo interquartil da precipitação inferior a 105 mm.

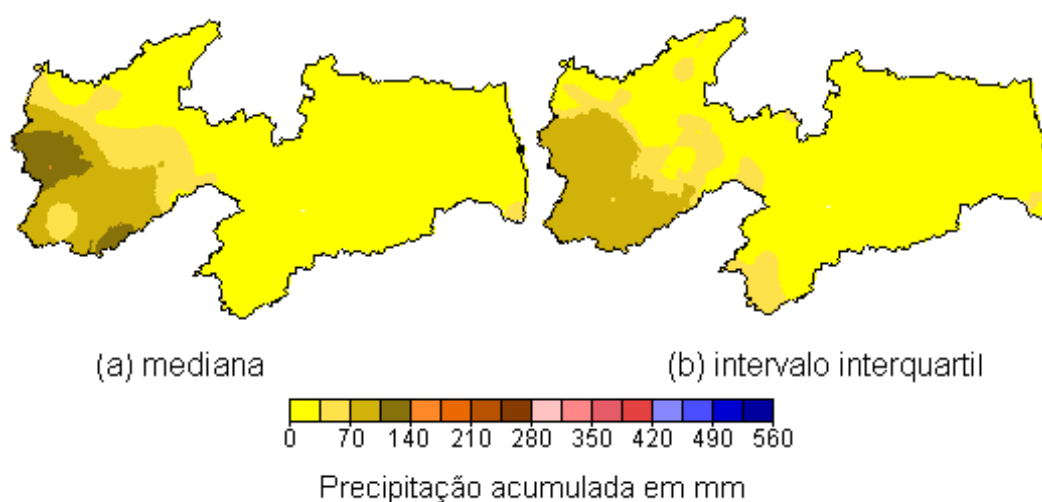


Figura 43 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de fevereiro de 2001

A distribuição espacial da precipitação mediana (mapa (a) da Figura 44) mostra que a mesorregião do Sertão apresentou os maiores níveis de precipitação do Estado (entre 140 e 315 mm), no mês de março de 2001. Nas demais áreas, a precipitação mediana variou entre 35 e 105 mm. As áreas que apresentaram maiores dispersão foram os extremos norte e sul do Sertão, com intervalos interquartil da precipitação variando entre 70 e 105 mm.

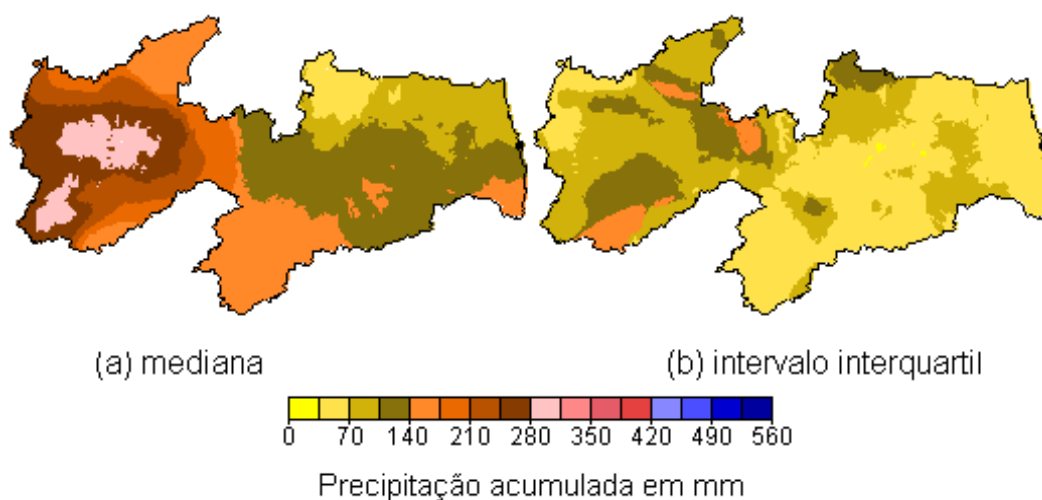


Figura 44 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de março de 2001

Em abril de 2001, a distribuição da precipitação mediana (mapa (a) da Figura 45) apresentou um crescimento gradual do Agreste ao Litoral (precipitação máxima de 280 mm) e no extremo norte do Sertão (precipitação máxima de 105 mm). Nas demais áreas a precipitação mediana variou entre 0 e 140 mm. A distribuição espacial do intervalo interquartil da precipitação apresentou a mesma tendência da distribuição da precipitação mediana.

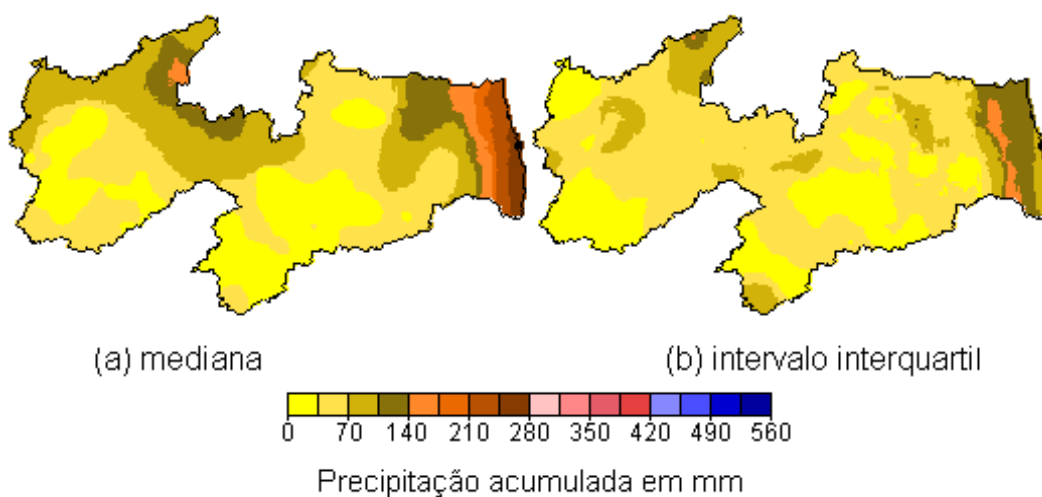


Figura 45 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de abril de 2001

Na Figura 46, têm-se a distribuição espacial da precipitação mediana (mapa a) e intervalo interquartil (mapa b), referente ao mês de maio de 2001, onde se verifica índices baixos de precipitação em todo o Estado, inferiores a 70 mm.

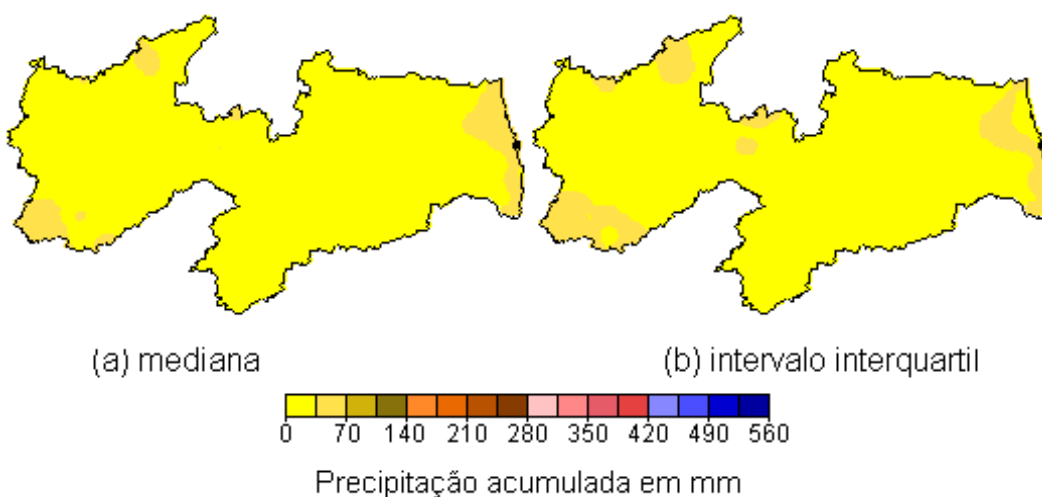


Figura 46 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de maio de 2001

No mapa (a) da Figura 47, pode-se visualizar o mapa da precipitação mediana referente ao mês junho de 2001, no qual, observa-se que nas mesorregiões do Agreste e

Litoral, a precipitação mediana variou entre 35 e 315 mm. Devido a esta alta variabilidade, foi nesta área onde se observou maiores níveis de precipitação do intervalo interquartil (precipitação máxima de 140 mm). No extremo sul da Borborema a precipitação mediana variou entre 70 e 140 mm. Nas demais áreas a precipitação mediana foi inferior a 70 mm.

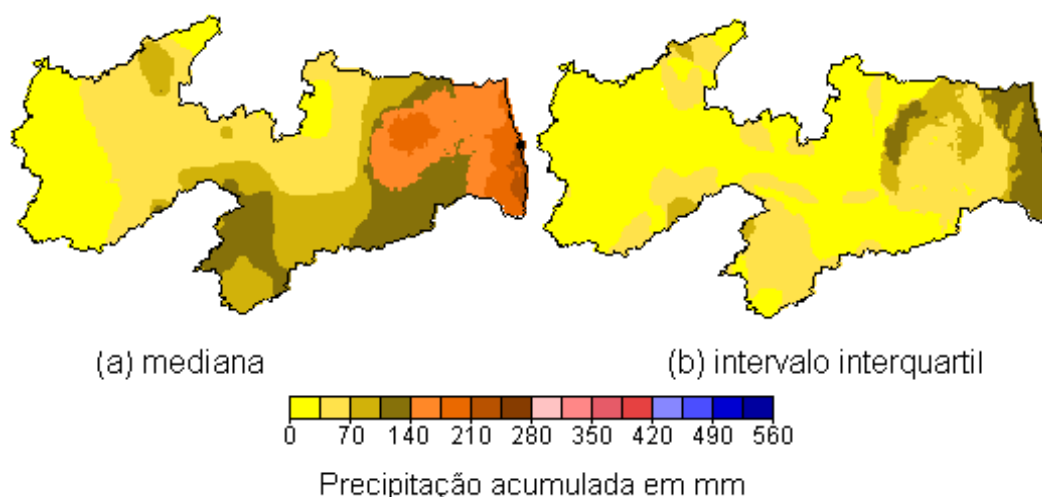


Figura 47 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de junho de 2001

Na Figura 48, vê-se que a distribuição espacial da mediana (mapa a) e intervalo interquartil (mapa b), referente ao mês de julho de 2001, apresentou índices inferiores a 70 mm, na área que corresponde a zona climática tropical quente semi-árido. Nas áreas correspondentes as zonas tropical quente úmido e semi-úmido, a precipitação mediana variou entre 35 e 105 mm.

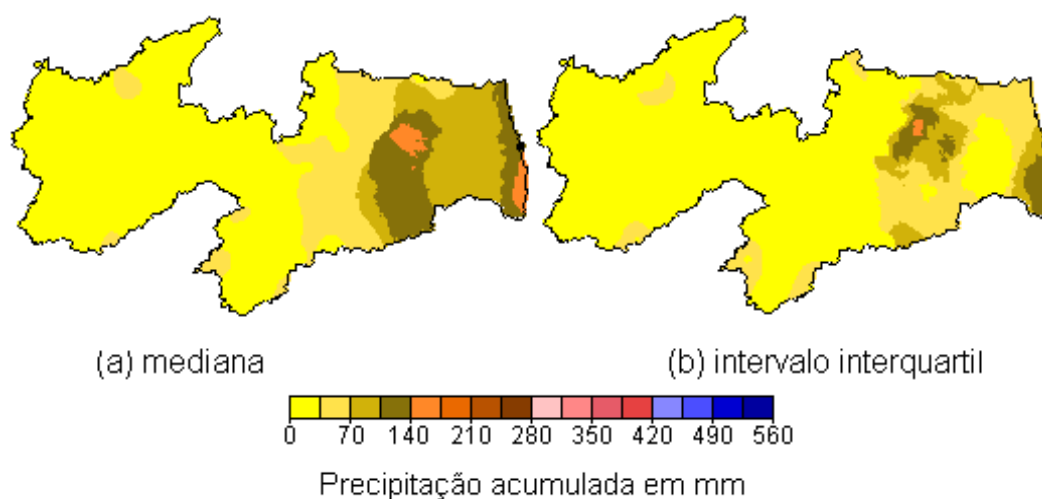


Figura 48 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de julho de 2001

Os mapas da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação referente ao mês de agosto de 2001 encontram-se na Figura 49, na qual, pode-se observar índices baixos de precipitação em todo o Estado. Os índices de precipitação mediana e intervalo interquartil variaram entre 0 e 105 mm.

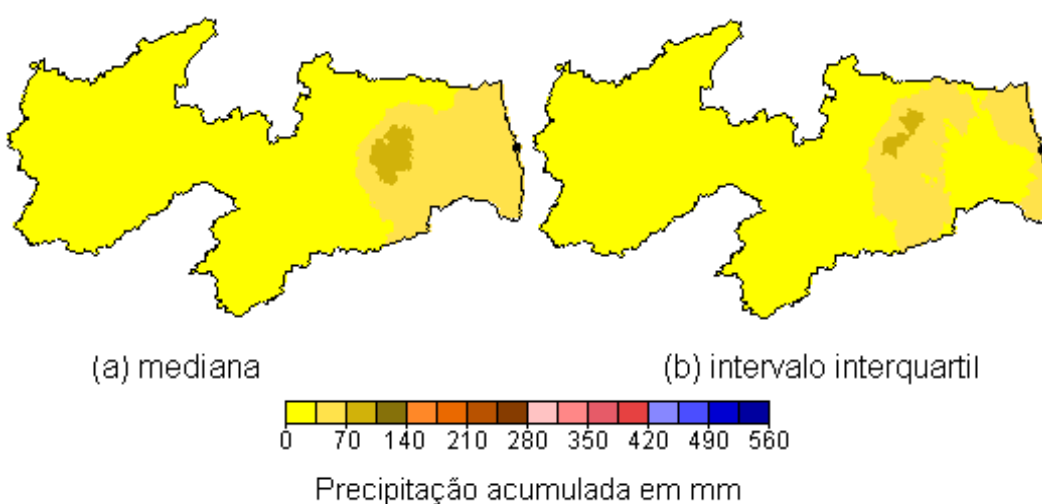


Figura 49 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de agosto de 2001

Na Figura 50, têm-se a distribuição espacial da precipitação mediana (mapa a) e intervalo interquartil (mapa b), referente ao mês de setembro de 2001, onde se verifica índices baixos de precipitação em todo o Estado, inferiores a 70 mm.

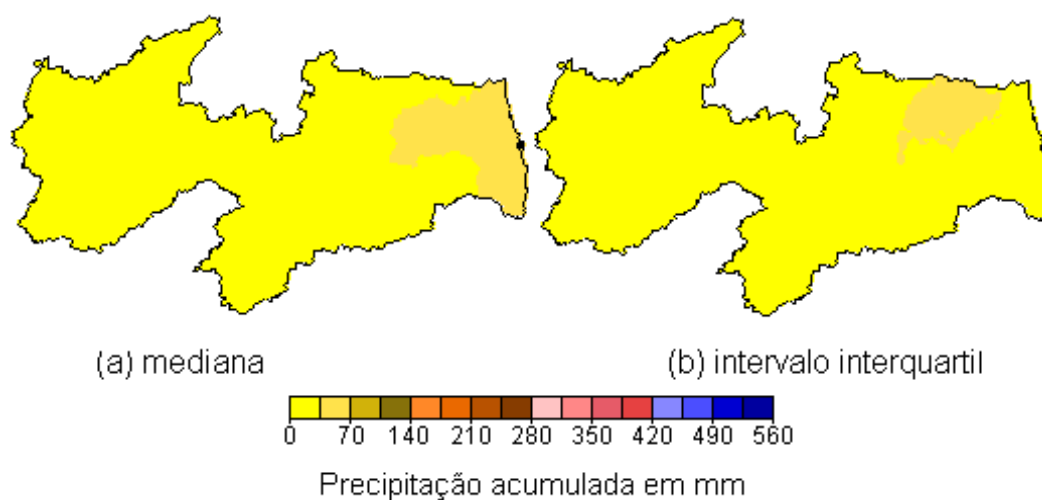


Figura 50 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de setembro de 2001

Na Figura 51, têm-se a distribuição espacial da precipitação mediana (mapa a) e intervalo interquartil (mapa b), referente ao mês de outubro de 2001, onde se verifica índices baixos de precipitação em todo o Estado, inferiores a 70 mm.

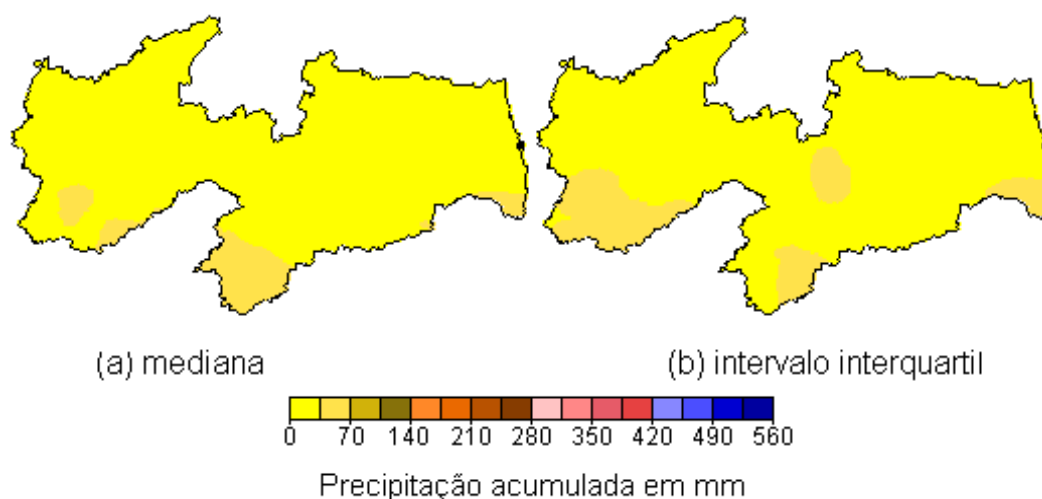


Figura 51 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de outubro de 2001

No mês de dezembro de 2001, observou-se um aumento nos níveis de precipitação, em relação aos meses anteriores. No Sertão, a precipitação mediana variou entre 0 e 175 mm e o intervalo interquartil da precipitação apresentou o mesmo intervalo de variação que o mediano, mas abrangendo uma maior área. Nas demais mesorregiões, a precipitação mediana e intervalo interquartil foi inferior a 70 mm.

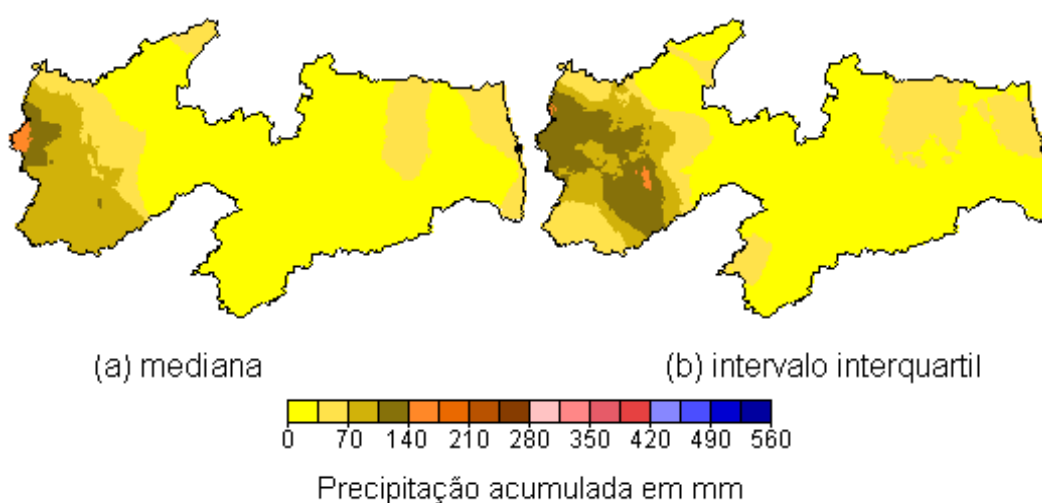


Figura 52 - Distribuição espacial da mediana (a) e intervalo interquartil (b) da precipitação acumulada do mês de dezembro de 2001

6 Discussão

Nos meses de janeiro a abril do ano de 1998, a distribuição espacial da precipitação acumulada mediana no estado da Paraíba apresentou como padrões espaciais a presença de níveis mais altos de precipitação no Sertão (máximo de 210 mm). Já nos meses de março a agosto de 1998, os maiores níveis foram observados no Agreste e Litoral (máximo de 280 mm). Na mesorregião da Borborena, a distribuição da precipitação acumulada mediana foi sempre inferior a 105 mm.

No ano de 1999, pode-se observar dois momentos de expressivas chuvas no Estado, os meses de março e maio. No mês de março, os níveis de precipitação acumulada mediana variaram de 140 a 280 mm (no Sertão), 35 a 175 mm (no Agreste e Litoral) e 35 a 105 mm (na Borborema). Já no mês de Maio de 1999, a precipitação acumulada mediana apresentou variação de 105 a 315 mm (no Litoral), 35 a 175 mm (no Agreste), 70 a 245 mm (no Sertão) e máxima de 175 mm no extremo norte da Borborema. Nos outros meses, a precipitação acumulada mediana variou entre 0 e 175 mm, sendo a mesorregião da Borborema a região mais seca do Estado neste ano.

No ano 2000, os períodos chuvosos das mesorregiões do Sertão e Borborema foram os meses de janeiro a abril e o mês de dezembro, onde a precipitação acumulada mediana chegou a apresentar máxima de 315 mm (no Sertão) e 210 mm (na Borborema). Já nas mesorregiões de Agreste e Litoral, o período chuvoso abrangeu os meses de maio a setembro, onde os níveis de precipitação acumulada mediana chegaram a apresentar máxima de 350 mm (no Agreste) e 525 mm (no Litoral).

No ano 2001, observou-se seis meses, nos quais, a precipitação mediana e intervalo interquartil foram inferiores a 70 mm, em todo o Estado. Os períodos chuvosos foram: os meses de fevereiro, março, abril e dezembro (no Sertão); março e junho (na Borborema);

março, abril, junho e julho (no Agreste e Litoral).

Na área que apresentam o clima tropical quente semi-árido, os períodos chuvosos são mais frequentes no extremo oeste, onde se localiza a mesorregião do Sertão. Na área correspondente ao clima tropical quente úmido, os períodos chuvosos são mais intensos, apresentando os maiores índices de precipitação do Estado. No Agreste, onde predomina o clima tropical quente semi-úmido, a distribuição espacial da precipitação, nos períodos chuvosos, apresenta uma tendência decrescente no sentido do Litoral a Borborema.

Neste contexto, verificou-se que no período de 1998 a 2001, as mesorregiões apresentaram as seguintes características, em termos da distribuição da precipitação:

- ✠ Sertão - períodos chuvosos (com precipitação mediana máxima de 315 mm) ocorrendo durante o verão - outono, como também no mês de dezembro dos anos de 1999 e 2001, e longos períodos com baixa precipitação (entorno de 5 a 8 meses, com precipitação mediana inferior a 70 mm);
- ✠ Borborema - curtos períodos chuvosos (entre 1 e 3 meses, com precipitação mediana máxima de 140 mm) ocorrendo durante o verão - outono e baixos níveis de precipitação (inferior a 70 mm) nos demais meses;
- ✠ Agreste - períodos chuvosos (com precipitação mediana máxima de 385 mm) ocorreram durante o outono - inverno, com exceção do ano 2000, no qual as chuvas ocorreram mais cedo, no verão - outono;
- ✠ Litoral - períodos de intensas chuvas (com precipitação mediana máxima de 315 mm) que ocorreram durante o outono - inverno, com exceção do ano de 2001, onde os níveis de precipitação mediana, entre os meses de janeiro e setembro, variaram entre 210 e 525 mm.

7 Conclusão

No primeiro semestre do projeto, realizou-se um estudo bibliográfico sobre o processo de representação computacional de dados com distribuição espacial contínua, nos Sistemas de Informação Geográfica e a Krigagem por Indicação, que é um método Geoestatístico de modelagem ambiental. Estudou-se também, as características climáticas da Paraíba. Construiu-se um banco de dados geográfico no sistema SPRING (versão 4.0), contendo as amostras de precipitação acumulada de estações meteorológicas paraibanas, obtidas no Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

No segundo semestre do projeto, aplicou-se a metodologia estudada para modelar as amostras de precipitação acumulada do Estado, obtendo modelos para precipitação mediana e para o intervalo interquartil da precipitação. Fez-se portanto, a descrição do processo de geração destes modelos, que incluem as fases de análise exploratória das amostras, codificação por indicação das amostras, geração do semivariograma indicador, modelagem do semivariograma indicador e por fim a geração dos modelos pela Krigagem por indicação.

A partir dos modelos gerados, concluiu-se que no período de 1998 a 2001, os maiores índices de precipitação ocorreram em épocas diferentes para cada mesorregião paraibana e com níveis diferentes de intensidade. No Sertão, os períodos chuvosos (com precipitação mediana máxima de 315 mm) ocorreram durante o verão - outono. Na Borborema, observaram-se curtos períodos chuvosos (entre um e três meses, no verão - outono) e com baixos níveis de precipitação (inferior a 140 mm). No Agreste, os períodos chuvosos (com precipitação mediana máxima de 385 mm) ocorreram durante o outono - inverno, com exceção do ano 2000, no qual as chuvas ocorreram mais cedo, no verão - outono. Por fim, no Litoral, foram verificados os maiores níveis de precipitação do Estado (precipitação

mediana máxima de 315 mm), que ocorreram no período outono - inverno, com exceção do ano de 2001, onde os níveis de precipitação mediana variaram entre 210 e 525 mm, de janeiro a setembro.

Por fim, para alcançar o objetivo de difusão da cultura e uso do SIG, foi disponibilizado o relatório final deste projeto para acesso público via Web, no endereço <<http://www.de.ufpb.br/~ronei/monica/index.html>>.

Referência

- IBGE, **Anuário Estatístico do Brasil: unidades climáticas**. Departamento de Geociências, 1997. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 2 ago. 2004.
- CÂMARA, G. et al. **Introdução à ciência da geoinformação**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 12 set. 2003.
- CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos Geoestatísticos (KRIGEAGEM) no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, jun. 1997. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/teses/eduardo/>>. Acesso em: 12 set. 2003.
- CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: CÂMARA, G. et al. (Org.). **Análise espacial de dados geográficos**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2001. cap. 3. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 12 set. 2003.
- CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS, S. M. (Org.). **Conceitos básicos de Sistemas e Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília: Organização Panamericana de Saúde / Ministério da Saúde, 2000.
- CLARKE, A. B.; DISNEY, R. L. **Probabilidade e Processos Estocásticos**. Rio de Janeiro: LTC, 1979.
- DATASUS, Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. **Informações de Saúde**. Disponível em: <<http://www.datasus.gov.br/>>. Acesso em: 18 nov. 2003.
- DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide**. New York: Oxford University Press, 1998. 369p.
- DEUTSCH, C. V.; SCHNETZLER, E. T. **Fundamentals of Geostatistics: principles and hands-on practice**. A Short Course. Edmonton: Statios, 2000. Disponível em: <<http://www.statios.com/Training/index.html>>. Acesso em: 19 set 2003.
- DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JR., P. J. Model - based Geostatistics. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 14, 2000. **Anais...** Caxambu: ABE, 2000. 137f.
- DOLFUS, O. **O espaço geográfico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.
- FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em Sistemas de Informação Geográfica: o paradigma Geoestatístico por indicação**. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 1999. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/teses/carlos/>>. Acesso em: 10 ago. 2003.
- FELGUEIRAS, C. A. et al. Inferências e estimativas de incertezas utilizando técnicas de krigeagem não linear. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE

GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 5, 1999. **Anais...** Salvador: Gis-brasil'99, 1999. CD-ROM.

FELGUEIRAS, C. A.; DRUCK, S.; MONTEIRO, A. M. V. Análise espacial de superfícies: o enfoque da Geoestatística por indicação. In: CÂMARA, G. et al. (Org.). **Análise espacial de dados geográficos**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2001. cap. 4. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 12 set. 2003.

GOODCHILD, M. F. e GUOGING, S. Development and test of an error model for categorical data. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 6, n. 2, p. 87-104, 1992.

ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. São Paulo: UNESP, 1998.

NIMER, E. **Pluviometria e Recursos Hídricos dos Estados de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 128p.

NUNES, L. M. **ESTIMAÇÃO - Inferência estatística variografia e krigagem**. Universidade do ALGARVE - Unidade de Ciências e Tecnologias dos Recursos Aquáticos. Faro, dez. 1998. 20f.

MORAES, R. M.; SOUZA, I. C. A.; TELES, M. M. F. Análise Espacial de Dados e Aplicações. In: ENCONTRO REGIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 3, 2003. **Notas de Minicurso**. João Pessoa: UFPB, 2003. 49f. CD-ROM.

SOUZA, I. C. A.; MORAES, R. M. **Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na Análise Espacial de Dados de Saúde Pública do Estado na Paraíba entre os anos de 1998 e 2001**. Relatório de Iniciação Científica PIBIC/CNPq. João Pessoa: UFPB, 2003. Disponível em: <<http://www.de.ufpb.br/~ronei/monica/index.html>>. Acesso em: 3 jul. 2003.

SPRING, Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M., FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. Computers & Graphics, v. 3, n. 20, p. 395-403, mai 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em: 3 ago. 2003.

WORBOYS, M. F. **GIS: A Computing Perspective**. London: Taylor and Francis, 1995.

Apêndice

Apêndice A - Parâmetros dos modelos de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada, referentes aos meses do período (1998 a 2001).

Tabela 5 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de janeiro de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
3,90	0,1	7	30.000	Esférico	0,034	0,031	71.958,967
11,40	0,2	7	30.000	Esférico	0,051	0,143	118.999,767
25,00	0,3	7	30.000	Esférico	0,087	0,184	199.196,920
36,60	0,4	7	30.000	Esférico	0,114	0,929	1.463.401,171
54,25	0,5	9	30.000	Esférico	0,099	1,788	2.790.964,099
66,60	0,6	10	30.000	Esférico	0,085	4,662	7.666.760,781
90,30	0,7	12	30.000	Esférico	0,047	0,368	526.610,925
124,30	0,8	12	30.000	Esférico	0,029	0,914	1.749.561,870
172,60	0,9	12	30.000	Esférico	0,032	0,995	4.429.839,327

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 6 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de fevereiro de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
0,12	0,2	5	36.000	Esférico	0,052	0,177	186.287,588
5,40	0,3	5	36.000	Esférico	0,072	0,209	194.295,702
11,10	0,4	5	36.000	Esférico	0,077	0,242	215.419,362
19,65	0,5	5	36.000	Esférico	0,059	0,246	194.052,891
27,94	0,6	5	38.000	Esférico	0,086	0,189	199.577,852
39,20	0,7	5	50.000	Esférico	0,109	0,192	418.471,046
55,68	0,8	5	68.000	Esférico	0,074	11,357	35.780.413,808
71,14	0,9	5	68.000	Esférico	0,028	9,121	49.415.474,519

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 7 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de março de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
45,70	0,1	5	38.000	Esférico	0,128	0,194	261.924,867
66,18	0,2	5	46.000	Esférico	0,113	0,263	439.889,141
84,68	0,3	5	68.000	Esférico	0,124	2,076	9.334.162,894
112,90	0,4	5	68.000	Esférico	0,091	0,208	2.853.790,448
127,80	0,5	5	68.000	Esférico	0,063	0,149	2.893.436,627
152,08	0,6	5	68.000	Esférico	0,016	7,042	572.058.351,035
181,76	0,7	5	68.000	Esférico	0,011	0,016	197.021,956
212,36	0,8	5	68.000	Esférico	0,004	0,000	237.455,307

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 8 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de abril de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
3,20	0,1	5	30.000	Esférico	0,059	0,049	119.604,267
10,14	0,2	5	30.000	Esférico	0,064	0,150	151.869,624
18,03	0,3	6	30.000	Esférico	0,112	0,157	186.058,210
24,56	0,4	8	30.000	Esférico	0,132	0,172	243.279,772
32,30	0,5	10	30.000	Esférico	0,095	0,247	284.006,196
46,54	0,6	11	30.000	Esférico	0,049	0,275	263.959,914
58,92	0,7	13	30.000	Exponencial	0,014	0,282	337.752,748
81,96	0,8	13	30.000	Exponencial	0,034	0,324	924.686,602
121,52	0,9	13	30.000	Esférico	0,053	0,614	5.081.170,213

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 9 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de maio de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
1,20	0,3	13	30.000	Esférico	0,236	0,044	254.816,330
5,38	0,4	12	30.000	Esférico	0,336	0,017	286.463,536
13,15	0,5	13	30.000	Esférico	0,353	0,029	316.158,148
20,62	0,6	14	30.000	Esférico	0,476	0,025	497.174,942
39,48	0,7	14	30.000	Esférico	5,751	0,066	10.238.745,983
65,36	0,8	14	30.000	Esférico	2,309	0,103	10.445.536,934
96,76	0,9	14	30.000	Esférico	0,052	0,051	420.815,357

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 10 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de junho de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
0,64	0,3	6	40.000	Esférico	0,063	0,221	263.798,616
5,06	0,4	7	40.000	Esférico	0,068	0,254	263.319,403
8,80	0,5	7	50.000	Esférico	0,056	0,319	334.071,991
14,20	0,6	8	50.000	Esférico	0,054	0,371	439.474,039
30,69	0,7	8	50.000	Exponencial	0,062	10,936	36.494.322,993
64,70	0,8	6	40.000	Exponencial	0,055	0,128	363.896,213
108,09	0,9	7	40.000	Exponencial	0,010	0,071	152.139,465

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 11 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de julho de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
6,00	0,2	7	50.000	Esférico	0,066	0,104	152.739,746
10,20	0,3	7	50.000	Esférico	0,071	0,210	285.025,591
16,10	0,4	8	50.000	Esférico	0,059	0,308	349.225,333
22,40	0,5	7	50.000	Esférico	0,033	0,354	340.832,763
37,00	0,6	8	50.000	Esférico	0,018	0,448	449.844,668
82,80	0,7	8	50.000	Esférico	0,038	7,867	11.549.116,227
114,80	0,8	8	50.000	Esférico	0,061	7121,000	19.791.475,080
172,90	0,9	8	50.000	Esférico	0,059	0,050	528.628,252

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 12 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de agosto de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
3,84	0,2	6	50.000	Esférico	0,061	0,322	773.882,236
8,18	0,3	6	50.000	Esférico	0,056	0,292	411.639,854
14,98	0,4	6	50.000	Esférico	0,046	0,405	470.618,082
21,20	0,5	7	50.000	Esférico	0,040	0,733	867.345,390
35,68	0,6	8	50.000	Esférico	0,011	0,573	582.733,736
84,54	0,7	8	50.000	Esférico	0,078	11,207	21.733.887,690
107,10	0,8	8	50.000	Esférico	0,126	11,350	77.347.403,819
146,56	0,9	7	50.000	Esférico	0,087	0,007	246.381.864,000

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 13 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de setembro de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
2,40	0,7	7	30.000	Esférico	0,099	0,196	513.289,920
6,00	0,8	6	40.000	Esférico	0,097	0,119	624.142,294
13,05	0,9	7	40.000	Exponencial	0,031	0,054	188.427,617

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 14 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de outubro de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
1,06	0,6	6	60.000	Esférico	0,052	0,361	419.148,850
8,28	0,7	6	60.000	Esférico	0,072	3,800	7.199.714,256
14,46	0,8	6	60.000	Esférico	0,124	7,558	59.308.552,478
22,88	0,9	6	60.000	Esférico	0,114	0,055	202.783,686

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 15 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de novembro de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
0,25	0,7	6	60.000	Esférico	0,154	0,451	2.165.770,147
2,30	0,8	6	50.000	Esférico	0,134	0,172	2.268.218,408
5,85	0,9	6	50.000	Esférico	0,021	0,061	90.948,061

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 16 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de dezembro de 1998

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
2,50	0,5	5	40.000	Esférico	0,119	0,203	233.282,875
4,92	0,6	5	40.000	Esférico	0,148	0,148	288.302,654
8,28	0,7	6	60.000	Esférico	0,130	0,135	350.610,837
13,00	0,8	6	60.000	Esférico	0,132	0,137	1.105.249,258
20,74	0,9	6	60.000	Esférico	0,088	0,372	74.222.635,153

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 17 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de janeiro de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
2,08	0,1	5	30.000	Esférico	0,045	0,080	164.111,727
9,64	0,2	6	30.000	Esférico	0,088	0,118	170.463,869
17,44	0,3	6	30.000	Esférico	0,135	0,099	172.045,756
26,28	0,4	6	40.000	Esférico	0,148	0,138	290.345,170
35,05	0,5	6	40.000	Esférico	0,143	0,222	476.208,246
45,10	0,6	6	60.000	Esférico	0,132	0,672	1.534.722,713
54,18	0,7	6	60.000	Esférico	0,110	0,574	1.403.867,773
67,64	0,8	6	60.000	Esférico	0,093	1,288	5.256.325,479
92,69	0,9	6	60.000	Esférico	0,040	1,210	7.243.356,867

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 18 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de fevereiro de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
9,25	0,1	6	30.000	Esférico	0,035	0,110	231.149,704
17,84	0,2	6	30.000	Esférico	0,037	0,211	198.194,778
30,71	0,3	6	30.000	Esférico	0,040	0,275	205.598,594
40,04	0,4	7	30.000	Esférico	0,037	0,304	193.970,420
53,35	0,5	7	30.000	Esférico	0,056	0,258	165.855,629
63,68	0,6	6	40.000	Esférico	0,113	0,196	262.285,281
79,76	0,7	6	60.000	Esférico	0,129	0,132	335.072,540
95,20	0,8	6	60.000	Esférico	0,120	1,200	8.076.795,865
124,85	0,9	6	60.000	Esférico	0,089	0,196	20.403.304,591

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 19 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de março de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
45,70	0,1	5	30.000	Esférico	0,054	0,042	56.500,366
66,18	0,2	6	30.000	Esférico	0,068	0,108	75.927,945
84,68	0,3	6	35.000	Esférico	0,095	0,139	132.517,307
112,90	0,4	6	35.000	Esférico	0,142	0,149	290.138,187
127,80	0,5	6	50.000	Esférico	0,143	0,287	615.013,500
152,08	0,6	6	50.000	Esférico	0,101	1,950	3.591.135,435
181,76	0,7	7	50.000	Esférico	0,072	1,059	1.983.887,436
212,36	0,8	6	50.000	Esférico	0,068	5,587	16.265.952,344
268,04	0,9	7	50.000	Esférico	0,043	0,134	661.525,046

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 20 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de abril de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
5,58	0,2	6	30.000	Esférico	0,021	0,274	253.750,625
13,35	0,3	6	30.000	Esférico	0,030	0,333	245.031,630
20,80	0,4	6	30.000	Esférico	0,085	0,225	217.819,828
27,80	0,5	8	30.000	Esférico	0,117	0,197	217.086,230
34,52	0,6	6	40.000	Esférico	0,140	0,154	263.847,380
43,89	0,7	8	50.000	Esférico	0,129	0,132	336.626,748
56,06	0,8	7	50.000	Esférico	0,088	0,818	3.544.799,280
79,75	0,9	6	40.000	Exponencial	0,005	0,077	168.100,540

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 22 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de junho de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
2,20	0,2	6	50.000	Esférico	0,059	0,148	318.814,707
5,80	0,3	7	50.000	Esférico	0,058	0,245	324.132,744
9,40	0,4	7	50.000	Esférico	0,024	0,366	349.301,562
15,10	0,5	7	50.000	Esférico	0,014	0,491	465.844,116
28,50	0,6	8	50.000	Esférico	0,031	0,590	663.853,588
44,40	0,7	8	50.000	Esférico	0,079	10,282	20.170.878,256
66,00	0,8	6	40.000	Esférico	0,096	0,096	493.141,252
90,40	0,9	6	40.000	Esférico	0,056	0,022	97.638,343

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 23 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de julho de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
4,16	0,2	7	50.000	Esférico	0,042	0,289	575.427,359
9,31	0,3	8	50.000	Esférico	0,026	0,530	703.045,665
16,52	0,4	8	50.000	Esférico	0,026	0,641	728.409,799
30,70	0,5	8	50.000	Esférico	0,026	0,500	502.580,270
42,98	0,6	8	50.000	Esférico	0,078	0,803	1.223.784,163
53,21	0,7	8	50.000	Esférico	0,109	9,761	25.154.510,974
72,22	0,8	8	50.000	Esférico	0,134	1,669	13.431.041,335
105,02	0,9	8	50.000	Esférico	0,076	4,763	172.146.531,352

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 24 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de agosto de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
1,80	0,5	5	60.000	Esférico	0,015	0,483	471.134,806
8,00	0,6	6	60.000	Esférico	0,010	0,505	497.381,184
24,50	0,7	6	60.000	Esférico	0,079	5,675	11.249.527,607
39,38	0,8	5	60.000	Esférico	0,125	7,118	93.427.149,692
62,26	0,9	6	60.000	Esférico	0,095	0,036	7.895.265,184

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 25 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de setembro de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
6,60	0,6	6	60.000	Esférico	0,067	0,377	490.722,240
11,96	0,7	6	60.000	Esférico	0,111	14,413	38.309.019,778
18,50	0,8	6	60.000	Esférico	0,128	8,847	68.570.043,596
27,32	0,9	6	60.000	Esférico	0,100	0,066	29.301.925,312

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 26 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de outubro de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
3,88	0,2	5	30.000	Esférico	0,032	0,187	146.042,369
8,62	0,3	5	30.000	Esférico	0,079	0,192	162.931,622
12,88	0,4	5	30.000	Esférico	0,139	0,153	178.011,186
17,10	0,5	6	30.000	Esférico	0,175	0,102	163.288,920
23,46	0,6	6	30.000	Esférico	0,180	0,084	218.978,396
28,79	0,7	5	40.000	Esférico	0,161	0,080	335.575,995
36,96	0,8	6	40.000	Esférico	0,092	0,086	226.508,266
48,62	0,9	6	40.000	Exponencial	0,012	0,079	149.259,821

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 27 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de novembro de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
2,20	0,4	5	35.000	Esférico	0,076	0,277	249.536,373
9,00	0,5	6	35.000	Esférico	0,070	0,276	243.833,415
16,94	0,6	6	40.000	Esférico	0,115	6,734	13.387.426,681
24,86	0,7	6	50.000	Esférico	0,108	9,496	25.213.086,894
38,30	0,8	6	60.000	Esférico	0,072	2,347	7.457.915,386
55,01	0,9	6	60.000	Esférico	0,046	3,243	19.441.746,733

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 28 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de dezembro de 1999

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
17,98	0,1	6	20.000	Esférico	0,051	0,063	109.303,812
25,92	0,2	5	40.000	Esférico	0,063	0,123	98.431,961
33,28	0,3	5	40.000	Esférico	0,135	0,107	177.398,027
42,30	0,4	6	40.000	Esférico	0,159	0,162	401.212,659
55,40	0,5	7	40.000	Esférico	0,130	0,276	497.080,622
64,12	0,6	6	50.000	Esférico	0,097	0,314	486.519,704
76,96	0,7	6	60.000	Esférico	0,071	0,307	499.865,338
96,70	0,8	6	60.000	Esférico	0,055	0,219	470.240,016
128,34	0,9	6	60.000	Esférico	0,046	0,850	4.677.506,280

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 29 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de janeiro de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
43,78	0,1	5	40.000	Esférico	0,023	0,081	63.475,721
60,62	0,2	5	40.000	Esférico	0,090	0,094	117.558,007
72,21	0,3	5	40.000	Esférico	0,147	0,096	172.068,113
83,76	0,4	6	40.000	Esférico	0,179	0,096	221.242,763
95,35	0,5	6	40.000	Esférico	0,196	0,121	412.594,998
108,30	0,6	5	50.000	Esférico	0,180	0,261	1.007.330,665
124,65	0,7	6	50.000	Esférico	0,120	0,290	814.832,854
149,22	0,8	7	50.000	Esférico	0,090	9,056	38.355.228,366
175,68	0,9	6	60.000	Esférico	0,045	1,277	8.520.299,818

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 30 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de fevereiro de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
62,90	0,1	5	20.000	Esférico	0,081	0,015	118.790,004
87,60	0,2	6	50.000	Esférico	0,129	0,035	69.066,700
100,10	0,3	6	50.000	Esférico	0,164	0,094	400.687,647
118,40	0,4	6	50.000	Esférico	0,151	0,258	703.914,813
144,40	0,5	6	50.000	Esférico	0,129	0,785	1.639.048,348
161,70	0,6	6	50.000	Esférico	0,074	0,450	643.250,326
182,00	0,7	7	50.000	Esférico	0,088	0,317	592.534,795
212,00	0,8	6	60.000	Esférico	0,092	0,840	3.148.604,412
257,00	0,9	6	60.000	Esférico	0,062	0,082	732.553,604

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 31 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de março de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
22,85	0,1	5	20.000	Esférico	0,042	0,067	54.908,470
45,52	0,2	5	50.000	Esférico	0,105	0,058	66.325,866
58,84	0,3	5	50.000	Esférico	0,149	0,227	834.041,896
79,52	0,4	6	50.000	Esférico	0,100	0,307	479.574,566
105,00	0,5	6	50.000	Esférico	0,078	0,373	475.565,604
123,30	0,6	6	50.000	Esférico	0,047	0,408	464.659,625
151,81	0,7	6	60.000	Esférico	0,037	0,409	547.901,826
197,52	0,8	6	60.000	Esférico	0,047	5,657	13.039.971,131
235,07	0,9	6	60.000	Esférico	0,038	1,714	9.302.199,111

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 32 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de abril de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
84,60	0,1	6	30.000	Esférico	0,005	0,105	55.708,200
111,44	0,2	6	30.000	Esférico	0,057	0,170	175.736,451
131,44	0,3	6	30.000	Esférico	0,120	0,158	210.386,918
146,14	0,4	7	30.000	Esférico	0,162	0,131	233.403,574
160,65	0,5	6	30.000	Esférico	0,171	0,095	159.597,669
183,78	0,6	8	40.000	Esférico	0,147	0,130	251.020,267
201,98	0,7	6	30.000	Esféricos	0,153	0,060	251.897,084
229,76	0,8	6	30.000	Esférica	0,108	0,044	298.809,829
267,03	0,9	8	50.000	Esférico	0,082	13,178	257.835.493,672

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 33 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de maio de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
16,12	0,1	6	25.000	Esférico	0,012	0,358	591.460,778
23,44	0,2	6	25.000	Esférico	0,027	0,358	359.417,616
31,00	0,3	7	25.000	Esférico	0,018	0,297	204.052,540
40,46	0,4	8	25.000	Esférico	0,009	0,317	185.088,744
51,80	0,5	8	30.000	Esférico	0,068	0,236	203.866,998
65,34	0,6	7	30.000	Esférico	0,112	0,157	218.539,179
80,39	0,7	7	30.000	Esférico	0,123	0,141	444.944,413
101,98	0,8	6	20.000	Esférico	0,017	0,116	40.341,644
161,92	0,9	6	30.000	Esférico	0,044	0,030	101.927,672

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 34 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de junho de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
8,36	0,1	6	30.000	Esférico	0,020	0,117	237.232,066
23,64	0,2	6	30.000	Esférico	0,019	0,262	314.035,649
34,86	0,3	7	30.000	Esférico	0,012	0,363	348.626,900
48,26	0,4	7	40.000	Esférico	0,017	0,570	618.782,184
63,50	0,5	8	50.000	Esférico	0,006	0,454	356.985,024
131,46	0,6	8	50.000	Esférico	0,000	0,497	214.417,057
204,48	0,7	8	50.000	Esférico	0,073	5,542	10.454.118,415
264,32	0,8	8	50.000	Esférico	0,111	2,387	12.181.313,764
356,16	0,9	8	50.000	Esférico	0,013	0,081	208.508,361

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 35 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de julho de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
10,58	0,1	7	50.000	Esférico	0,040	0,081	345.214,668
23,88	0,2	7	50.000	Esférico	0,050	0,154	239.262,060
34,05	0,3	8	50.000	Esférico	0,049	0,279	358.797,731
46,74	0,4	8	50.000	Esférico	0,046	0,339	369.426,659
63,30	0,5	8	50.000	Esférico	0,011	0,493	462.423,094
98,92	0,6	8	50.000	Esférico	0,000	0,558	533.845,809
167,05	0,7	8	50.000	Esférico	0,075	8,997	17.028.800,026
215,04	0,8	8	50.000	Esférico	0,071	19,822	61.665.803,174
318,89	0,9	8	50.000	Esférico	0,081	15,638	534.924.850,164

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 36 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de agosto de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
14,27	0,1	6	60.000	Esférico	0,051	0,110	720.825,193
23,44	0,2	6	60.000	Esférico	0,055	0,838	1.998.356,477
34,02	0,3	6	60.000	Esférico	0,036	0,742	1.051.300,362
43,38	0,4	6	60.000	Esférico	0,026	0,544	589.118,868
57,15	0,5	6	60.000	Esférico	0,023	0,584	605.859,844
87,92	0,6	6	60.000	Esférico	0,013	0,545	546.789,696
126,66	0,7	6	60.000	Esférico	0,074	2,382	4.566.673,855
156,82	0,8	6	60.000	Esférico	0,095	32,900	168.777.846,556
197,59	0,9	6	60.000	Esférico	0,098	0,047	202.783,686

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 37 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de setembro de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
10,00	0,2	6	30.000	Esférico	0,055	0,152	238.123,275
18,20	0,3	6	60.000	Esférico	0,067	0,297	473.148,134
27,76	0,4	6	60.000	Esférico	0,043	0,387	430.561,884
44,20	0,5	6	60.000	Esférico	0,031	0,425	425.017,779
70,76	0,6	6	60.000	Esférico	0,002	0,449	407.534,614
108,29	0,7	6	60.000	Esférico	0,071	6,961	12.977.504,874
171,48	0,8	6	60.000	Esférico	0,094	1,193	4.847.775,583
237,48	0,9	4	60.000	Esférico	0,026	0,056	113.598,631

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 38 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de outubro de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
0,80	0,5	5	50.000	Esférico	0,120	0,222	337.082,629
3,00	0,6	6	50.000	Esférico	0,143	0,160	338.996,173
5,00	0,7	6	60.000	Esférico	0,132	0,227	780.033,450
9,60	0,8	6	60.000	Esférico	0,127	0,652	5.789.513,673
16,10	0,9	4	60.000	Esférico	0,083	0,009	149.283,388

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 39 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de novembro de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
3,18	0,6	6	60.000	Esférico	0,074	0,561	835.401,935
11,86	0,7	6	60.000	Esférico	0,112	0,988	2.625.740,633
19,26	0,8	6	60.000	Esférico	0,129	7,350	56.659.990,636
27,00	0,9	5	60.000	Esférico	0,083	0,040	177.143,760

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 40 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de dezembro de 2000

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
27,41	0,1	5	30.000	Esférico	0,066	0,058	246.831,997
38,78	0,2	5	30.000	Esférico	0,112	0,083	153.564,069
45,10	0,3	5	30.000	Esférico	0,145	0,112	187.010,712
51,42	0,4	5	30.000	Esférico	0,104	0,158	95.723,777
58,70	0,5	5	30.000	Esférico	0,081	0,193	102.568,097
70,22	0,6	5	30.000	Esférico	0,085	0,160	82.572,404
77,82	0,7	6	30.000	Esférico	0,113	0,107	154.714,131
88,00	0,8	6	30.000	Esférico	0,114	0,083	363.949,115
105,05	0,9	5	30.000	Esférico	0,055	0,107	1.106.228,535

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 41 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de janeiro de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
4,74	0,2	5	30.000	Esférico	0,103	0,089	123.612,524
9,56	0,3	6	30.000	Esférico	0,093	0,146	90.326,152
13,00	0,4	6	30.000	Esférico	0,111	0,148	76.580,460
17,20	0,5	6	40.000	Esférico	0,173	0,087	82.783,110
23,86	0,6	6	40.000	Esférico	0,181	0,063	96.623,121
27,64	0,7	6	40.000	Esférico	0,194	0,013	213.988,246
35,80	0,8	6	60.000	Esférico	0,157	0,385	23.787.008,977
47,56	0,9	6	60.000	Esférico	0,085	0,178	9.016.116,761

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 42 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de fevereiro de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
2,28	0,3	6	30.000	Esférico	0,147	0,209	515.054,583
5,18	0,4	7	30.000	Esférico	0,165	0,475	1.399.921,842
7,70	0,5	6	40.000	Esférico	0,109	3,162	5.539.395,846
15,20	0,6	6	50.000	Esférico	0,065	17,428	27.382.940,376
30,90	0,7	7	50.000	Esférico	0,021	0,878	1.191.142,847
50,10	0,8	6	60.000	Esférico	0,014	11,676	21.174.201,595
85,52	0,9	6	60.000	Esférico	0,038	1,296	6.858.125,694

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 43 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de março de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
68,80	0,1	5	40.000	Esférico	0,071	0,016	119.805,014
91,70	0,2	5	60.000	Esférico	0,147	0,027	394.613,497
111,70	0,3	6	60.000	Esférico	0,166	0,084	421.438,316
128,30	0,4	5	60.000	Esférico	0,159	0,186	516.475,770
152,90	0,5	5	60.000	Esférico	0,125	0,314	574.561,887
174,50	0,6	6	60.000	Esférico	0,087	0,602	943.949,694
199,50	0,7	6	60.000	Esférico	0,056	1,208	1.971.959,631
230,80	0,8	6	60.000	Esférico	0,041	4,882	10.550.411,056
290,90	0,9	5	60.000	Esférico	0,051	4,545	34.774.369,039

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 44 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de abril de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
18,26	0,1	6	30.000	Esférico	0,021	0,098	152.918,194
34,52	0,2	6	30.000	Esférico	0,025	0,165	119.532,377
48,93	0,3	6	25.000	Esférico	0,087	0,154	135.261,916
61,28	0,4	6	25.000	Esférico	0,105	0,166	123.431,679
75,65	0,5	6	25.000	Esférico	0,154	0,122	133.295,023
85,64	0,6	6	25.000	Esférico	0,147	0,121	151.381,621
101,95	0,7	6	25.000	Esférico	0,121	0,100	130.849,493
129,82	0,8	6	25.000	Esférico	0,093	0,077	159.226,772
176,29	0,9	7	40.000	Esférico	0,040	0,046	141.258,836

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 45 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de maio de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
0,10	0,3	6	30.000	Esférico	0,118	0,141	175.943,311
2,90	0,4	6	30.000	Esférico	0,173	0,108	198.490,004
5,55	0,5	7	20.000	Esférico	0,158	0,104	121.523,429
8,00	0,6	7	20.000	Esférico	0,125	0,112	63.515,948
12,75	0,7	6	20.000	Esférico	0,148	0,062	122.506,869
20,60	0,8	7	20.000	Esférico	0,041	0,130	116.382,481
36,60	0,9	6	20.000	Esférico	0,013	0,075	106.903,349

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 46 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de junho de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
19,90	0,1	7	50.000	Esférico	0,040	0,749	4.305.940,967
33,80	0,2	8	50.000	Exponencial	0,062	25,100	134.498.699,148
45,21	0,3	8	50.000	Exponencial	0,040	5,482	16.159.348,653
59,36	0,4	8	50.000	Exponencial	0,020	1,157	2.317.556,023
81,70	0,5	8	50.000	Exponencial	0,013	0,857	1.449.119,802
107,16	0,6	8	50.000	Exponencial	0,027	0,985	1.915.914,425
125,09	0,7	8	50.000	Exponencial	0,095	300,950	1.282.541.548,104
159,56	0,8	8	50.000	Esférico	0,130	7,861	59.986.722,285
204,70	0,9	8	50.000	Esférico	0,084	14,554	679.976.713,844

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 47 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de julho de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
4,00	0,2	7	50.000	Esférico	0,058	2,346	6.265.718,434
12,00	0,3	8	50.000	Esférico	0,029	0,677	920.770,708
21,30	0,4	8	50.000	Esférico	0,021	0,514	544.906,571
32,30	0,5	8	50.000	Esférico	0,014	0,601	617.933,854
53,00	0,6	8	50.000	Esférico	0,000	0,547	509.940,894
76,20	0,7	8	50.000	Esférico	0,078	7,540	14.580.381,639
103,60	0,8	8	50.000	Esférico	0,115	2,698	15.831.354,436
143,40	0,9	6	50.000	Esférico	0,097	0,011	173.115,207

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 48 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de agosto de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
3,00	0,4	6	60.000	Esférico	0,037	0,349	375.696,365
13,30	0,5	6	60.000	Esférico	0,011	0,504	477.165,463
23,12	0,6	6	60.000	Esférico	0,030	0,690	778.462,663
34,96	0,7	6	60.000	Esférico	0,087	33,935	71.549.881,786
53,10	0,8	5	60.000	Esférico	0,126	0,109	1.060.889,582
76,76	0,9	5	60.000	Esférico	0,093	0,021	176.987,809

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 49 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de setembro de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
5,62	0,4	6	50.000	Esférico	0,032	2,103	2.630.926,478
10,50	0,5	6	60.000	Esférico	0,024	0,468	469.406,812
17,98	0,6	6	60.000	Esférico	0,082	0,510	762.150,916
22,88	0,7	6	60.000	Esférico	0,099	1,303	3.070.202,557
32,48	0,8	5	40.000	Esférico	0,118	0,063	1.072.014,615
46,40	0,9	7	40.000	Esférico	0,101	0,012	159.271,469

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 50 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de outubro de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
5,70	0,3	5	30.000	Esférico	0,104	0,126	84.902,713
9,00	0,4	5	60.000	Esférico	0,130	0,113	80.024,989
13,50	0,5	6	60.000	Esférico	0,139	1,119	93.109,590
19,00	0,6	6	60.000	Esférico	0,131	0,118	87.716,081
22,30	0,7	6	30.000	Esférico	0,122	0,099	97.593,266
31,10	0,8	6	30.000	Esférico	0,095	0,085	133.971,606
45,20	0,9	6	30.000	Esférico	0,045	0,068	189.796,964

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 51 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de novembro de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
1,60	0,5	6	40.000	Esférico	0,139	0,144	207.584,659
3,40	0,6	6	60.000	Esférico	0,193	0,206	1.074.256,044
5,92	0,7	6	60.000	Esférico	0,185	3,213	28.744.813,662
10,90	0,8	6	60.000	Esférico	0,148	6,430	102.169.018,279
16,30	0,9	6	60.000	Esférico	0,082	0,079	2.095.004,356

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

Tabela 52 – Parâmetros do modelo de semivariograma indicador da variável precipitação acumulada referente ao mês de dezembro de 2001

z_c	p	Nº lag	h	Modelo	C_0	C_1	a
5,70	0,2	5	40.000	Esférico	0,047	0,164	141.845,089
11,68	0,3	5	40.000	Esférico	0,036	0,236	134.726,328
20,26	0,4	5	40.000	Esférico	0,109	0,201	194.059,322
28,60	0,5	5	40.000	Esférico	0,137	0,210	298.171,193
40,56	0,6	6	40.000	Esférico	0,131	0,165	293.092,791
56,36	0,7	6	60.000	Esférico	0,119	0,210	499.202,058
70,80	0,8	6	60.000	Esférico	0,081	1,352	4.793.337,801
107,92	0,9	6	60.000	Esférico	0,037	106,875	532.910.964,918

Fonte: dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.