



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso

Francisco F. N. Marcuzzo<sup>1</sup>, Lucas R. de Andrade<sup>2</sup>, Denise C. R. Melo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eng<sup>o</sup>, Dr., Pesquisador em Geociências, CPRM/SGB - Serviço Geológico do Brasil – R. 148, n<sup>o</sup> 485 - Setor Marista - Goiânia/GO, CEP 74170-110. Tel. (62) 3240-1429. francisco.marcuzzo@cprm.gov.br.

<sup>2</sup>Eng<sup>o</sup>, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, Av. Universitária, n<sup>o</sup> 1488 - CEP 74605-010 - Setor Leste Universitário - Goiânia/GO - Tel. (62) 3209-6292 – lucasreidrade@gmail.com.

<sup>3</sup>Eng<sup>a</sup>, Pesquisadora em Geociências, CPRM/SGB - Serviço Geológico do Brasil – R. 148, n<sup>o</sup> 485 - Setor Marista - Goiânia/GO, CEP 74170-110. Tel. (62) 3240-1431. denise.melo@cprm.gov.br.

Artigo recebido em 17/08/2011 e aceito em 01/12/2011

### RESUMO

Uma correta análise da distribuição espacial das precipitações pluviométricas é de suma importância para o planejamento dos recursos hídricos de bacias hidrográficas, além de dar suporte a estudos climatológicos e meteorológicos. O objetivo deste trabalho foi o de estudar detalhadamente os métodos de interpolação matemática que geram regionalização de pontos por isolinhas, visando descobrir analiticamente o melhor método para espacialização de pontos com dados pluviométricos. Foram utilizados dados de precipitação mensal de 76 Estações Pluviométricas distribuídas no território do estado do Mato Grosso. Os dados foram obtidos da Agência Nacional de Águas, correspondendo à série histórica de 1977 a 2006. Os dados, depois de tratados e consistidos, foram submetidos a diversas metodologias de interpolação matemática com o intuito de verificar qual deles é mais adequado a espacialização de chuvas. Como resultados são apresentados mapas da distribuição espacial das chuvas no estado de Mato Grosso feitos usando os métodos de interpolação matemática IDW, Krigagem, Spline de tensão e Topo-to-Raster. Conclui-se que, para o estado do Mato Grosso, os melhores resultados foram obtidos através do método de interpolação Topo-to-Raster.

Palavras-chave: Pluviometria, espacialização de chuvas, precipitação pluviométrica.

## Interpolation Methods in Mathematics of Rainfall Mapping of the State of Mato Grosso

### ABSTRACT

A correct analysis of the spatial distribution of pluviometric precipitation is critical for planning water resources in hydrographic basins, and supporting meteorological and climatological studies. The objective of this paper was to study in detail the methods of mathematical interpolation that are used to generate regionalization of points per contour, seeking out analytically the best method for spatialization of the points with pluviometric data. As data source were used monthly precipitation data from 76 pluviometric stations distributed on the territory of the state of Mato Grosso. The data were obtained from the National Water Agency, corresponding to a time series from 1977 to 2006. The data, after treatment and consisted, were subjected to various methods of mathematical interpolation in order to see which one is best suited to the spatialization of rainfall. Results are presented as maps of the spatial distribution of rainfall in the state of Mato Grosso made using the methods of mathematical interpolation IDW, Kriging, Tension Spline and Topo-to-Raster. We conclude that, for the state of Mato Grosso, the best results were obtained by the interpolation method Topo-to-Raster.

Key-words: Pluviometry, Spatialization of rainfall, pluviometric precipitation.

### 1. Introdução

Uma correta análise da distribuição espacial das precipitações pluviométricas é de suma importância para o planejamento dos

\* E-mail para correspondência: francisco.marcuzzo@cprm.gov.br (Marcuzzo, F. F. N.).

recursos hídricos em bacias hidrográficas, além de dar suporte a estudos climatológicos e meteorológicos.

O processo mais utilizado para essa representação das precipitações pluviométricas é o traçado das isoietas, que são curvas que unem os pontos de igual altura de precipitação para um período determinado. O conhecimento do regime pluviométrico geral da região e dos fatores que podem influenciar na distribuição é imprescindível para um traçado razoável das curvas isoietas (Garcez e Alvarez, 1998). Para gerar as isoietas é necessário que se utilizem os dados de precipitações pluviométricas pontuais para tentar chegar a uma aproximação dos dados de precipitação pluviométrica para toda uma região, os métodos utilizado com essa finalidade são chamados de interpolação matemática.

Em krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros de equação de chuvas intensas, observaram-se que para estimar os parâmetros de chuvas intensas trabalha-se com regressão múltipla não-linear utilizando-se séries históricas de dados de chuvas máximas com vários tempos de duração extraídas de pluviogramas cotados (Mello et al., 2003). Quando não se dispõe deste instrumento, pode-se trabalhar com dados pluviométricos de chuvas máximas diárias anuais aplicando-se o processo de desagregação de chuvas, que é bastante comum.

Já em Avaliação de Dois métodos de

Espacialização da Precipitação para o Estado de Alagoas, o método de interpolação IDW que cada ponto assume tem uma influencia na região ao seu redor que varia com uma potência do inverso da distância, sendo um método simples, enquanto que o método Spline é utilizado para o ajuste de uma superfície de curvatura mínima que passa pelos pontos de entrada, sendo apropriado quando há a tendência de variações gradativas nos valores do fenômeno a ser interpolado (Amorim et al., 2006).

Hutchinson et al. (2009), em Locally Adaptive Gridding of Noisy High Resolution Topographic Data, observa que o método ANUDEM (no qual o Topo-to-Raster é baseado) é indicado para gerar modelos de elevação acurados, já que o efeito erosivo da água altera substancialmente o contorno do relevo. Apesar disso o método ANUDEM pode também ser utilizado para interpolar outros tipos de modelo além dos de elevação, como o de chuvas.

Este estudo tem como objetivo principal analisar diferentes métodos de interpolação matemática no traçado de isolinhas para o mapeamento da precipitação pluviométrica no estado do Mato Grosso, e como ocorre a variabilidade espaço-temporal das chuvas.

## **2. Material e Métodos**

### 2.1 Caracterização da vegetação, clima e dos mecanismos de formação de chuvas no estado do Mato Grosso

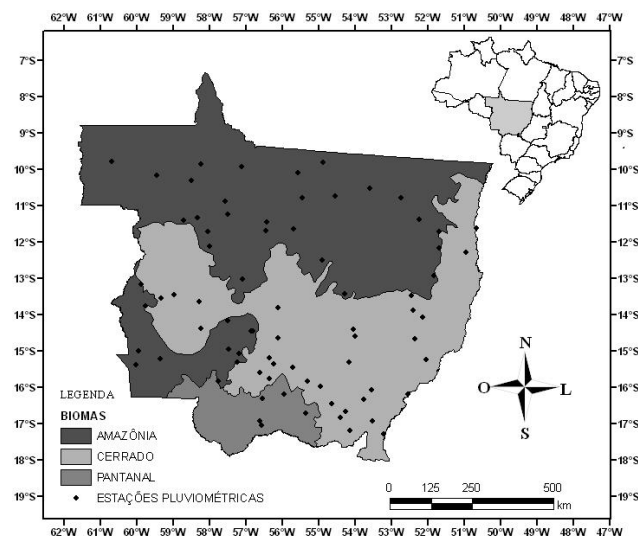
O estado do Mato Grosso está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, possui uma área de 903.357,908 km<sup>2</sup>, limita-se entre os paralelos 8° a 19° Sul e os meridianos 51° a 62° Oeste (Figura 1). O Mato Grosso possui 142 municípios (Figura 2), agrupados em 22 microrregiões político-administrativas, que fazem parte de cinco mesorregiões (IBGE, 2009).

À cobertura vegetal do estado lhe confere com três biomas, (Figura 1) que são: o bioma do Cerrado, localizado na área central do estado, ocupando uma superfície de 39%, caracterizado por bosques abertos e um estrato arbustivo rasteiro, com o predomínio de gramíneas e leguminosas; o bioma do Pantanal recobrando uma área de 7%, onde apresentam áreas permanentemente alagadas e temporariamente alagadas, com espécies de vegetação variando de higrófilas, hidrófilas e mesófilas, localizado ao sul do Mato Grosso; já ao norte se encontra o bioma da Floresta Amazônica (54%), caracterizado por árvores com altura variando de 20 a 30 m e troncos retos bem copados (SEPLAN-MT, 1990).

O relevo do território mato-grossense é formado por nove grandes unidades geomorfológicas as quais se agrupam em planaltos, planaltos residuais, depressões e planícies, que são: Planalto dos Parecis, Planaltos Residuais do Alto Paraguai-Guaporé, Planaltos Residuais da Amazônia Meridional, Depressões da Amazônia Meridional, Depressões do Araguaia-Tocantins, Depressões

do Alto Paraguai-Guaporé, Planícies e Pantanaís Mato-grossense, Planícies do Bananal (SEPLAN-MT, 1990).

Os principais mecanismos atmosféricos que atuam no Centro-Oeste e em Mato Grosso são a massa de ar equatorial continental, presente entre a primavera e verão, advinda do efeito térmico e da elevada umidade, que se desloca para o interior do país no sentido noroeste para sudeste, provocando chuvas e a massa polar atlântica que é caracterizada pelo o acúmulo do ar polar, atuando com maior frequência no inverno, no sentido sul para o norte, e favorece as quedas de temperatura e estiagem (Nimer, 1989).



**Figura 1.** Localização das 76 estações pluviométricas utilizadas no estudo e os biomas (Amazônia, Cerrado e Pantanal) em que estão instaladas.

## 2.2 Dados utilizados

Foram utilizados neste trabalho dados de precipitação mensal de 76 Estações Pluviométricas distribuídas no território do

Centro-Oeste. No bioma Amazônico estão instalados 38 estações pluviométricas, no bioma Cerrado existem 33 estações, no bioma Pantanal existem cinco. Os dados foram obtidos Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas (ANA) e o período de dados correspondem à série histórica de 30 anos (1977 a 2006).

### 2.3 Interpolação matemática pelo método do IDW

Uma das técnicas de interpolação mais usadas para pontos espalhados espacialmente é o IDW (Inverse Distance Weighted – Ponderação do Inverso da Distancia). A interpolação por IDW determina os valores dos pontos usando uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância.

Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método do IDW, utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (1)$$

em que,  $Z(x)$  - é o valor do ponto que se deseja interpolar;  $n$  - é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto  $x$ ;  $Z(x_i)$  - é o valor do ponto  $x_i$ ; e  $\omega_i$  - é o peso do valor de  $x_i$  sobre o ponto  $x$ . Para se determinar  $\omega_i$  utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$\omega_i = \frac{1}{h(x, x_i)^p} \quad (2)$$

em que,  $h(x, x_i)$  - é a distância entre o ponto  $x$  e o ponto  $x_i$ ; e  $p$  - é o parâmetro de potência, geralmente igual a dois. Parâmetros de potência maiores enfatizam pontos mais próximos, tornando o resultado menos suave. Parâmetros de potência menores enfatizam pontos mais distantes, tornando o resultado mais suave, porém menos preciso.

### 2.4 Interpolação matemática pelo método da Krigagem

Krigagem é um método geoestatístico que se baseia na Teoria das Variáveis Regionalizadas, que supõe que a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma área.

A variação espacial no método da Krigagem é quantificada por um semivariograma. O semivariograma é um gráfico de dispersão da semivariância versus distância dos pontos amostrados, sendo que a semivariância é uma medida de dispersão, a metade da variância. O semivariograma serve para analisar a dependência espacial entre as amostras.

O semivariograma é calculado a partir dos pontos amostrados usando a seguinte equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^s \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad (3)$$

em que,  $h$  - é uma distância;  $n$  é o número de pontos amostrados separados pela distância  $h$ ,  $\gamma(h)$  - é a semivariância para a distância  $h$ ,  $s$  - é a quantidade de pares de pontos separada pela

distância  $h$ ,  $z(x)$  - é o valor da amostra na localidade  $x$ , e  $z(x+h)$  é o valor da amostra na localidade separada da localidade  $x$  pela distância  $h$ . Computacionalmente utiliza-se para  $h$  uma faixa de distâncias para melhorar o desempenho.

Para se determinar os pesos dos pontos amostrados é necessário ajustar o semivariograma usando um modelo que depende do problema.

Abaixo está o modelo matemático que foi usado para ajustar a semivariância (Figura 2), sua forma e sua fórmula matemática.

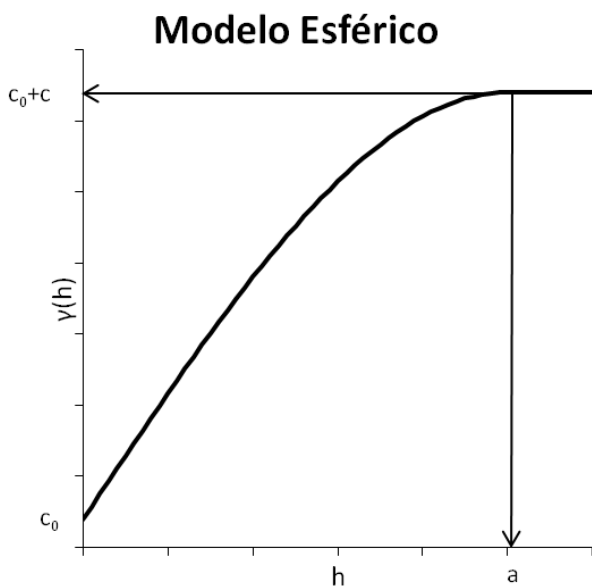


Figura 2. Modelo de Semivariograma.

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left( \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right), & \text{se } 0 < h \leq a \\ c_0 + c, & \text{se } h > a \end{cases} \quad (4)$$

$\gamma(0) = c_0$

em que,  $a$  - é a distancia a partir da qual não há mais correlação espacial entre as variáveis, e, portanto não há aumento no semivariograma;  $c_0$  -, chamado de nugget, é o valor de  $\gamma$  para distâncias iguais a zero, que indica as variações

para distâncias muito pequenas, devido a erros de medição ou a variações de pequena escala, e  $c_0 + c$  - chamado de sill, é o valor médio da semivariância além da distância  $a$ , o valor de  $c$  também é chamado de partial sill.

Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método de krigagem, utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (5)$$

em que,  $Z(x)$  - é o valor do ponto que se deseja interpolar;  $n$  - é a quantidade de pontos amostrados cujos valores serão usados na interpolação do ponto  $x$ ;  $Z(x_i)$  - é o valor do ponto amostrado; e  $\omega_i$  é o valor do peso do valor de  $Z(x_i)$  sobre o ponto  $x$ .

Para se determinar os pesos  $\omega_i$  o método de krigagem utilizado, que foi a krigagem ordinária, deve resolver o seguinte sistema matemático:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \omega_i \gamma(h_{ij}) + \mu &= \gamma(h_j), & j = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^N \omega_i &= 1 \end{aligned} \quad (6)$$

em que,  $\omega_i$  - é o peso para cada ponto;  $\mu$  - é uma variável temporária;  $\gamma(h)$  - é o valor de semivariância para pontos separados por uma distância  $h$ ;  $h_{ij}$  - é a distância entre os pontos  $x_i$  e  $x_j$ ;  $h_j$  - é a distância entre o ponto que se deseja calcular o valor  $x$  e o ponto  $x_j$ . Na krigagem ordinária a soma dos pesos é igual a um, e, portanto a equação 5 se resume à:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i) \quad (7)$$

### 2.5 Interpolação matemática pelo método do Spline de Tensão

O método do Spline é um método de interpolação que estima valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura da superfície resultando em uma superfície suave que passa exatamente pelos pontos de entrada.

Em geral, uma função Spline  $S(x)$  deve preencher a condição de que  $S(x)$  para os pontos medidos deve ser igual a  $z(x)$  e ao mesmo tempo a seminorma de suavização  $I(S)$  deve ser o menor possível.

$$S(x_j)=z(x_j) \quad e \quad (8)$$

$$I(S)=\min \quad (9)$$

em que,  $z(x_j)$  - são os valores das variáveis nos pontos  $x_j$  amostrados; e  $I(S)$  - é uma função que mede a suavização de  $S$  chamada de seminorma de suavização. Um ponto  $x$  é definido pelos valores  $(x_1, x_2)$  sendo  $x_1$  a localização na coordenada  $x$  cartesiana e  $x_2$  a coordenada  $y$  cartesiana. A seminorma de suavização  $I(S)$  é calculada através da equação (Hofierka et al., 2002):

$$I^2(S) = \sum_{\alpha} B_{\alpha} \iint_{\Omega} \left[ \frac{\partial^{|\alpha|}}{\partial x_1^{\alpha_1} \partial x_2^{\alpha_2}} S(x) \right]^2 dx_1 dx_2 \quad (10)$$

em que,  $\alpha=(\alpha_1, \alpha_2)$ , com  $\alpha_1$  variando de 0 ao grau de  $x_1$  em  $S(x)$ ,  $\alpha_2$  variando de 0 ao grau de  $x_2$  em  $S(x)$ , sendo  $|\alpha|= \alpha_1+ \alpha_2$ , e  $\Omega$  é a região considerada do espaço bidimensional.  $B_{\alpha}$  é uma constante não negativa definida pela equação:

$$B_{\alpha} = \begin{cases} 0, & \text{se } |\alpha| = 0 \\ \frac{|\alpha|!}{\alpha_1! \alpha_2! \varphi^{2|\alpha|} (|\alpha| - 1)!}, & \text{se } |\alpha| > 0 \end{cases} \quad (11)$$

em que,  $\varphi$  - é o peso de termos particulares na

soma (peso de tensão), quanto maior  $\varphi$ , maior a influência de derivadas de ordem superior sobre a função resultante.

A solução geral de  $S(x)$  é dada por:

$$S(x) = T(x) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(x, x_j) \quad (12)$$

em que,  $T(x)$  - é uma função de ‘tendência’; e  $R(x, x_j)$  - é uma função da base radial cuja forma explícita é:

$$R(x, x_j) = - E_1(\rho) + \ln(\rho) + C_E$$

$$\rho = \left( \frac{\varphi r(x, x_j)}{2} \right)^2 \quad (13)$$

em que,  $E_1$  - é a função exponencial integral;  $C_E$  - é a constante de Euler; e  $r$  - é a distancia entre  $p$  e  $p_j$  definida por:

$$r(x, x_j) = \sqrt{x_1 - x_{j1}^2 + x_2 - x_{j2}^2} \quad (14)$$

No caso do Spline de Tensão,  $T(x)=a_1$ . As constantes  $a_1$  e  $\lambda_j$  são determinadas se resolvendo o seguinte sistema de equações:

$$a_1 + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(x_i, x_j) = z_i, i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 0 \quad (15)$$

em que,  $x_i$  e  $x_j$  - são os pontos amostrados; e  $z_i$  - é o valor de  $z$  no local de  $x_i$ .

### 2.6 Interpolação matemática pelo método do Topo-to-Raster

A função Topo-to-Raster é um método de interpolação baseado no programa ANUDEM desenvolvido por Hutschinson, que foi especificamente feito para a criação de Modelos de Elevação Digital (DEM) hidrologicamente corretos.

O programa interpola os dados de

elevação em uma grade regular, de modo iterativo, gerando grades sucessivamente menores, minimizando a soma de uma penalização de rugosidade (roughness penalty) e a soma dos quadrados dos resíduos (diferenças das elevações medidas e calculadas pela função).

Cada elevação em um determinado local é dada por (Hutchinson et al., 2009):

$$z_i = f(x_i, y_i) + w_i \varepsilon_i \quad (16)$$

em que,  $f(x,y)$  - é a função de interpolação, definida por uma função B-spline; cada  $w_i$  - é uma constante positiva que representa o erro de discretização do ponto  $i$ ; e cada  $\varepsilon_i$  - é uma amostra de uma variável aleatória de média zero e desvio padrão igual a um.

Assumindo que cada ponto está localizado aleatoriamente dentro da célula do modelo, a constante  $w_i$  é definida por:

$$w_i = h s_i / \sqrt{12} \quad (17)$$

em que,  $h$  - é o espaçamento da grade e  $s_i$  - é a medida de inclinação da célula da grade associada com o ponto  $(x_i, y_i)$ . A função  $f(x,y)$  é então estimada resolvendo uma aproximação na grade regular via método das diferenças finitas que minimiza:

$$\sum_{i=1}^n \left[ z_i - f(x_i, y_i) / w_i \right]^2 + \lambda J(f) \quad (18)$$

em que,  $J$  - é a função de suavização da função  $f(x,y)$ ;  $\lambda$  - é o parâmetro de suavização, a constante  $w_i$  varia com cada iteração, em uma característica adaptativa local (locally adaptive feature) já que a cada iteração do programa um novo valor de inclinação é disponibilizado para

cada célula da grade conforme o método iterativo avança.

O programa utiliza um método multi-grid simples para minimizar a equação em resoluções cada vez melhores, começando de uma grade inicial larga até uma grade que tenha resolução definida pelo usuário, respeitando restrições que garantem uma estrutura de drenagem conectada.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Análise das isoietas de precipitação pluviométrica total do período úmido e seco

Para a análise dos resultados dos diferentes métodos de interpolação matemática, foram feitos mapas de precipitação do estado do Mato Grosso, para a média do total de precipitação no período seco e no período úmido.

#### 3.2 Análise das isoietas de precipitação pluviométrica geradas pelo método do IDW

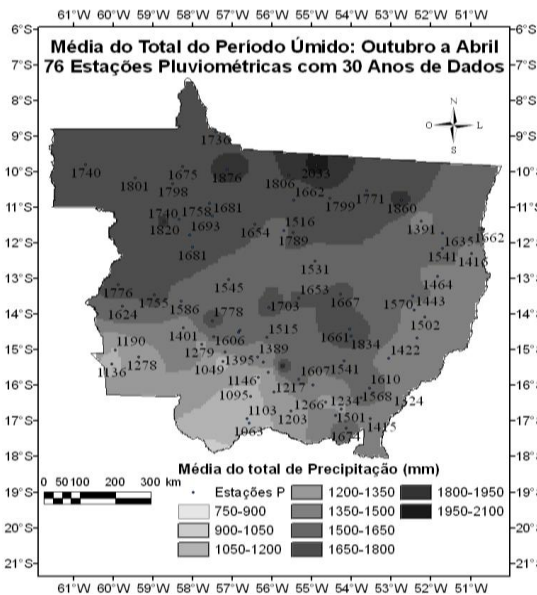
As Figuras 3 e 4 mostram o resultado da interpolação matemática usando o método do IDW para o período seco e para o úmido.

Nota-se uma das características do método, que é a geração de muitas “ilhas” de dados, áreas pequenas envoltas por áreas maiores de valores diferentes de precipitação. A geração de “ilhas” de dados, segundo a equação 2, se deve ao fato de que conforme a distância do ponto a ser interpolado, em relação a um ponto com dados, tende a zero, o peso da influência desse ponto sobre o ponto a

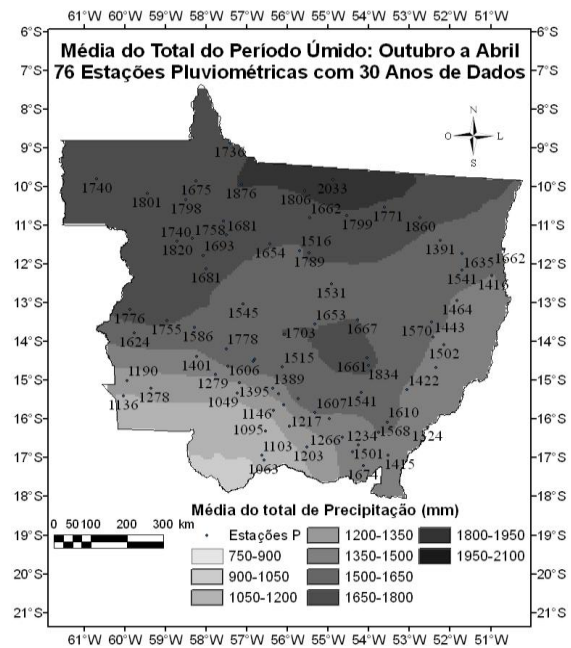
ser interpolado tende a infinito, o que, de acordo com a equação 1, leva ao fato de que a região ao redor de um ponto com dados será influenciada praticamente apenas por ele, podendo gerar tais “ilhas” ao redor de pontos de dados.

### 3.3 Análise das isoietas de precipitação pluviométrica geradas pelo método de krigagem

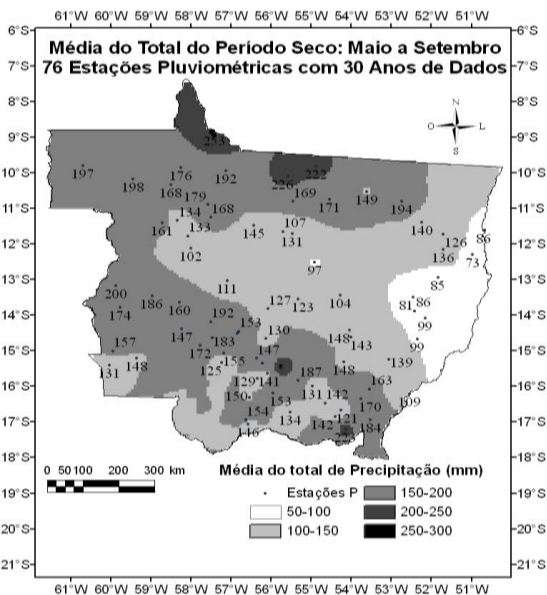
As Figuras 5 e 6 mostram o resultado da interpolação matemática pelo método da krigagem para o período seco e para o úmido.



**Figura 3.** Distribuição da precipitação para o período úmido do estado do Mato Grosso, pelo método do IDW.



**Figura 5.** Distribuição da precipitação para o período úmido do Mato Grosso, pelo método de Krigagem.

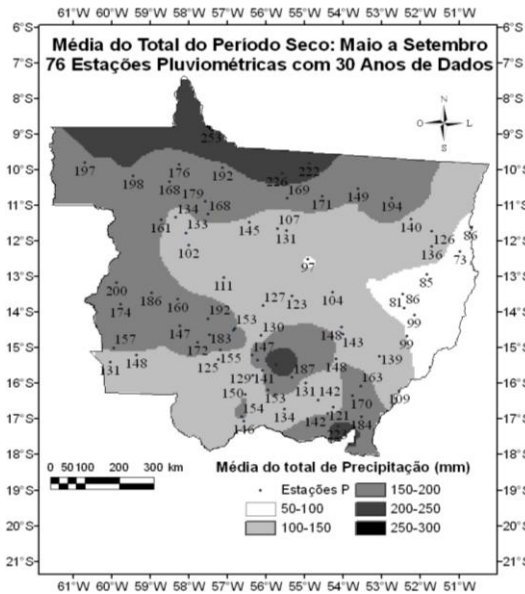


**Figura 4.** Distribuição da precipitação para o período seco do estado do Mato Grosso, pelo método do IDW.

O importante é notar que alguns pontos estão em regiões cuja faixa de valores difere do valor medido (Figuras 5 e 6), isso ocorre porque a krigagem é um método geoestatístico, e não exato. Observando a equação 4 observa-se que isso ocorre porque o valor de  $c_0$  não é nulo, ou seja mesmo para regiões muito próximas dos pontos amostrados pode ocorrer uma diferença dos valores amostrados para os valores interpolados, e portanto mesmo para regiões próximas a um ponto de dados, a influência desse ponto não será tão grande a



ponto de não permitir a influência também de outros pontos sobre essa região.



**Figura 6.** Distribuição da precipitação para o período seco do Mato Grosso, pelo método de Krigagem.

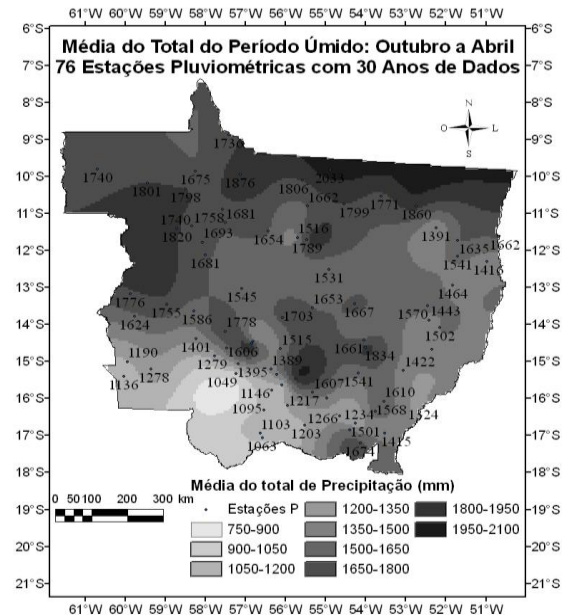
### 3.4 Análise das isoietas de precipitação pluviométrica geradas pelo método do Spline

As Figuras 7 e 8 mostram o resultado da interpolação matemática pelo método do Spline de Tensão para o período seco e para o chuvoso.

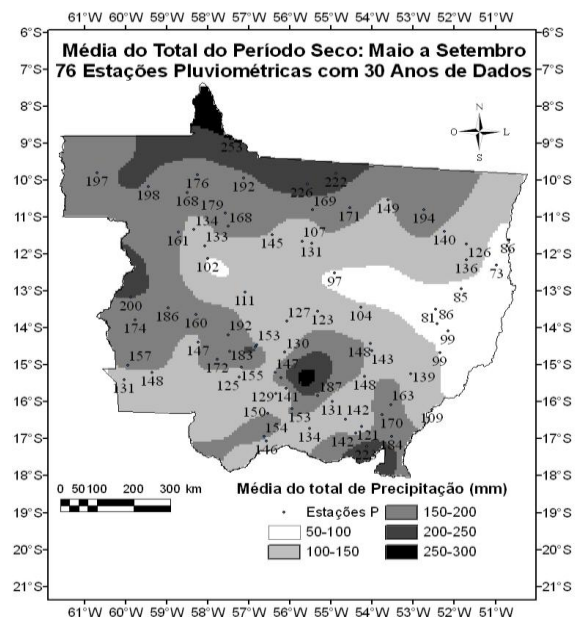
O importante notar nesses mapas é que há a geração de ilhas sem nenhum valor de precipitação em seu interior, isso porque a superfície gerada pelo spline é como se fosse uma película que se curva com o valor medido pelos pontos, e com isso em alguns locais essa película se curva acima ou abaixo dos pontos ao seu redor.

Esse método gera linhas mais suaves, mas pode gerar muitas isolinhas indesejadas. Isso ocorre porque o parâmetro  $\phi$  das equações 11 e 13 dizem respeito à rigidez dessa película,

valores mais altos desse parâmetro indicam uma película mais rígida que se curva mais abruptamente, e valores menores desse parâmetro indicam uma película que se curva mais suavemente.



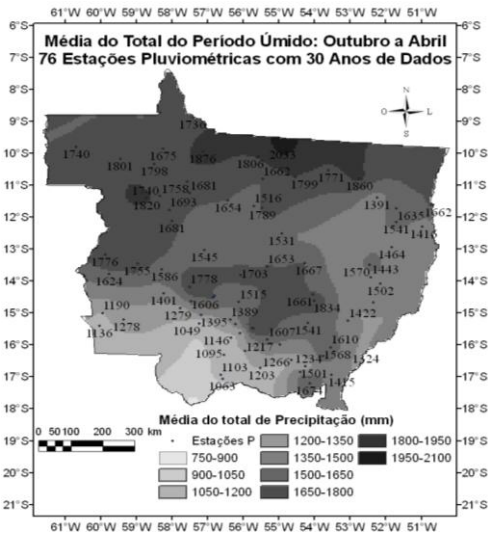
**Figura 7.** Distribuição da precipitação para o período úmido do estado do Mato Grosso, pelo método do Spline.



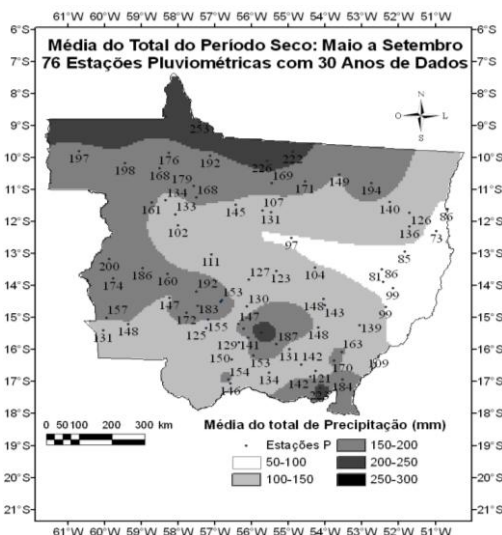
**Figura 8.** Distribuição da precipitação para o período seco do estado do Mato Grosso, pelo método do Spline.

### 3.5 Análise das isoietas de precipitação pluviométrica geradas pelo método do Topo-to-Raster

As Figuras 9 e 10 mostram o resultado da interpolação matemática pelo método do Topo-to-Raster, com enforce, para o período seco e para o chuvoso.



**Figura 9.** Distribuição da precipitação para o período úmido do estado do Mato Grosso, pelo método do Topo-to-Raster (com enforce).

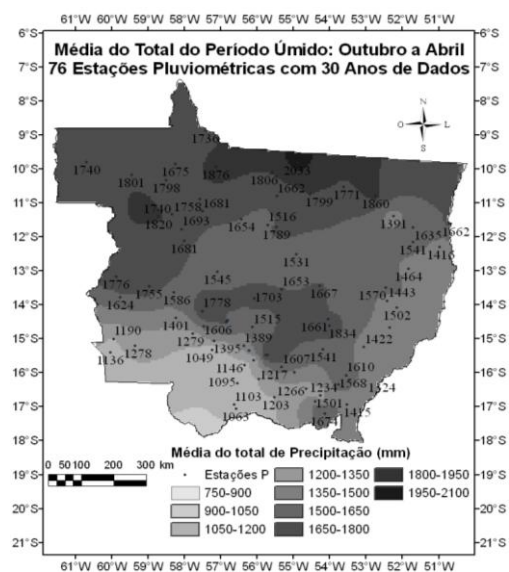


**Figura 10.** Distribuição da precipitação para o período seco do estado do Mato Grosso, pelo método do Topo-to-Raster (com enforce).

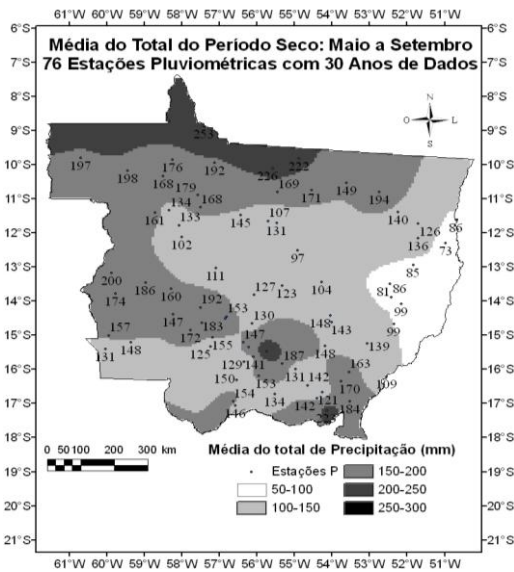
Verifica-se que no caso das Figuras 9 e 10 o programa usa restrições para garantir uma

estrutura de drenagem conectada. Com isso as isolinhas tentam alcançar mais pontos, essa característica é muito útil ao gerar mapas de relevo hidrologicamente corretos, mas é uma opção ruim para a geração de mapas de altitudes de chuvas e temperaturas.

As Figuras 11 e 12 mostram o resultado da interpolação matemática pelo método do Topo-to-Raster, sem enforce, para o período seco e para o chuvoso. Observa-se que neste caso o programa não usa as restrições para garantir uma estrutura de drenagem conectada, como se as altitudes de chuvas fossem altitudes no relevo, gerando um mapa mais correto que a sua versão com enforce. As isolinhas geradas são bem suaves, e com alguns pontos em áreas de valores diferentes, devido ao possível erro de discretização que se deve a quantidade finita de representações de chuva no domínio computacional em relação à quantidade real de chuvas possíveis no domínio real.



**Figura 11.** Distribuição da precipitação para o período úmido do estado do Mato Grosso, pelo método do Topo-to-Raster (sem enforce).



**Figura 12.** Distribuição da precipitação para o período seco do estado do Mato Grosso, pelo método do Topo-to-Raster (sem enforce).

#### 4. Conclusões

Executou-se neste trabalho um estudo de diferentes tipos de metodologias de interpolação matemática (IDW, Krigagem, Spline de Tensão ou Topo-to-Raster) na geração de mapas de distribuição espacial de precipitação pluviométrica. Utilizou-se dados sazonais de 30 anos de chuvas de estações pluviométricas distribuídas no estado do Mato Grosso.

Conclui-se que para os dados utilizados de 76 estações pluviométricas distribuídas no estado do Mato Grosso, o método de interpolação que apresentou melhores resultados, dentre os vários estudados, foi o Topo-to-Raster. O método Topo-to-Raster foi o que se proporcionou as mais adequadas isoietas por apresentar a grande maioria dos pontos interpolados dentro das isolinhas com os valores pré-estabelecidos, além de possuir

maior suavidade das isolinhas e por coincidir melhor com as características altimétricas da região.

A krigagem é conhecida também pelo acrônimo BLUE (Best Unbiased Linear Estimator – Melhor Estimador Linear Imparcial), é linear, assim como o IDW, pois os valores estimados são combinações lineares ponderadas dos dados disponíveis, é imparcial porque a média dos erros é zero, e é melhor porque minimiza a variância dos erros. Esse método gera isolinhas não muito suaves e em pequenas quantidades, porém as isolinhas geradas podem conter muitos dados de valores de precipitação pluviométrica em isolinhas de valores diferentes se a quantidade de pontos for muito esparsa.

O IDW é um método computacionalmente rápido, já que a definição dos pesos para a ponderação linear é feito de uma maneira simplista. Nesse método os pontos de dados estão no interior das isolinhas equivalentes, porém geralmente há a geração de muitas ilhas de dados e as isolinhas geralmente não são muito suaves.

O Spline de Tensão é um método não linear, e por isso gera um mapa com alterações mais graduais, e, com isso, isolinhas mais suaves, porém essas alterações mais suaves no mapa podem gerar isolinhas desnecessárias por não conter pontos de dados em seu interior.

Em ordem qualitativa decrescente, para geração de isoietas de espacialização de precipitação pluviométrica, concluí-se que para

o presente estudo, os melhores métodos de interpolação matemática foram: Topo-to-Raster, Krigagem, IDW e o Spline de Tensão.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem a CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - Empresa Pública de Pesquisa do Ministério de Minas e Energia) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho e aos revisores anônimos que contribuíram para a melhoria do texto.

## 6. Referências

Amorim, R. C. F.; Ribeiro, A.; Leite, C. C.; Leal, B. G.; Silva, J. G. B. (2006). Avaliação de dois Métodos de Espacialização da Precipitação para o Estado de Alagoas. Congressos Brasileiros de Meteorologia Disponível em:

Garcez, L.N.; Alvarez, G.A. (1998). Hidrologia. São Paulo, Edgard Blucher LTDA, 291p.

Hofierka, J.; Parajka, J.; Mitasova, H.; Mitas, L. (2002). Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with

Tension. Transactions in GIS, p. 135-150.

Hutchinson, M. F.; Stein, John A.; Stein, Janet L.; Xu, T. (2009). Locally Adaptive Gridding of Noisy High Resolution Topographic Data. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília: IBGE (2009). Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/mapas\\_ibge/](http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/)

Mello, C. R.; Lima, J. M.; Silva, A. M.; Mello, J. M.; Oliveira, M. S (2003). Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. Revista Brasileira Ciência do Solo, vol.27, n.5, p. 925-933.

Nimer, E. (1989). Climatologia do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, RJ; 2ª ed., 421 p.

SEPLAN-MT (1990). Secretaria de Estado de planejamento e coordenação geral, Superintendência de Estudos e Informações do Estado de Mato Grosso. Disponível em <http://www.seplan.mt.gov.br/html/>. Acesso 02/2011. <http://www.anuario.seplan.mt.gov.br/2002/>. Acesso 11/02/2010.