

## Interpolação Espacial de Precipitações Anuais na Bacia do Alto e Médio Teles Pires, MT

Bruno Vieira de Deus<sup>1</sup>  
Peter Zeilhofer<sup>2</sup>  
Emerson Soares dos Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Estudante de Graduação em Geografia. Departamento de Geografia – ICHS – UFMT  
Av. Fernando Correa da Costa, Coxipó, Cuiabá – MT  
brunodedeus@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Departamento de Geografia – ICHS - UFMT  
Av. Fernando Correa da Costa, Coxipó, Cuiabá – MT  
pitalike@terra.com.br

<sup>3</sup> Estudante do Programa de Pós-graduação em Geografia – Mestrado – ICHS - UFMT  
Av. Fernando Correa da Costa, Coxipó, Cuiabá – MT  
emer.santos@uol.com.br

### Abstract

This paper presents a comparison of different GIS-based methods for the interpolation of annual precipitation in the upper and mid watershed of the Teles Pires River in Mato Grosso. Data gaps of 11 year monthly time series from 28 stations were filled in by linear regression models. Six interpolation models were compared: Inverse Distance Weighting, Regularized Splines, Splines with tension, Ordinary Kriging (Spherical and Gaussian) and Universal Spherical Kriging. Performance of interpolation algorithms were validated by the root mean squared error (RMSE) statistic, obtained from a cross-validation procedure. Best overall results were obtained for Ordinary Kriging with a Gaussian model.

**Palavras-chave:** Interpolação espacial, Krigeagem, precipitação, Spatial Interpolation, Kriging, precipitation.

### 1. Introdução

O conhecimento sobre a espacialidade das chuvas possui relevância para estudos tais como a previsão da disponibilidade hídrica no solo (Assad & Sano 1992), cálculos do balanço hídrico ou a modelação distribuída de vazão que pode subsidiar projetos de construção de barragens de hidroelétricas ou controle de cheias e secas (Tucci 2004; Porto 2004).

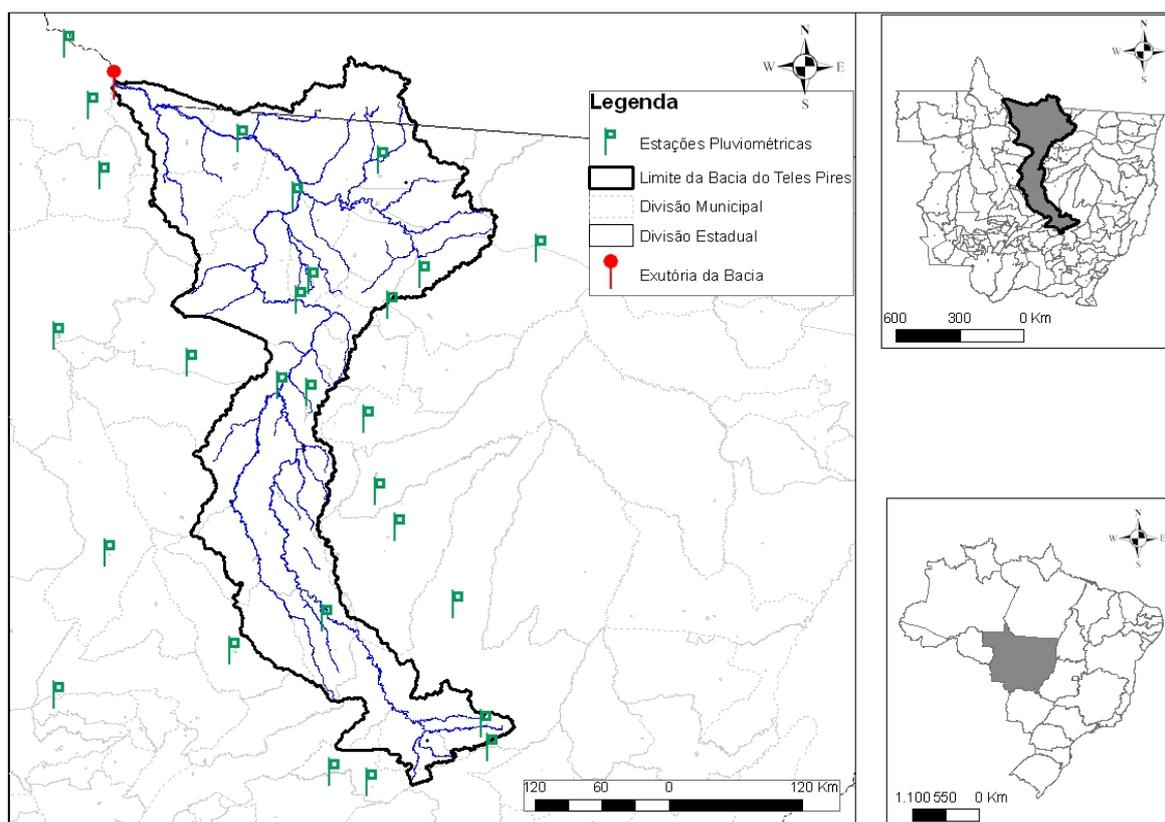
A espacialização de dados pluviométricos pontuais (associados a estações climatológicas) em dados zonais é geralmente efetuado por técnicas de interpolação espacial, que podem ser diferenciados em modelos determinísticos de efeitos locais, modelos determinísticos de efeitos globais e modelos estatísticos de globais e locais (Camargo et al. 2004). Entende-se por interpoladores locais, aqueles que utilizam dentre todos os valores medidos em campo somente as amostras das estações mais próximas (Nicolau 2002), sendo uma das técnicas mais utilizadas para interpolação de chuvas a função do “Inverso da medida do quadrado da distancia”. Modelos de efeitos globais, tais como os “*splines*” representam variações do fenômeno em larga escala. A krigeagem é o principal modelo estatístico utilizado para interpolação da precipitação. De acordo com Teixeira & Christofletti (1997), a krigeagem é baseada na auto-correlação espacial, que é uma mensuração numérica baseada na premissa de que os locais situados conjuntamente no espaço tendem a ser mais similares que diferenciados. Testes comparativos para diversos modelos de interpolação da precipitação foram apresentados por Carvalho & Assad (2004), Goosvaerts (2000) e Mello et al. (2003). Nestes três estudos foram obtidos resultados superiores para métodos geo-estatísticos (Krigeagem) do que para modelos deterministas. Reis et al. (2005), entretanto, identificaram o

modelo determinista “Inverso da Potência da Distância (IPD)” como mais adequado para interpolação espacial de chuvas do a Krigeagem.

Em vista destes resultados contraditórios, presente estudo constitui uma avaliação de diversas técnicas de interpolação para melhor espacialização das precipitações na bacia do Alto e Médio Teles Pires, MT, visando uma utilização do melhor modelo em simulações distribuídas de vazão e qualidade de água.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo (**Figura 1**) compreende a bacia do alto e médio Teles Pires, na zona de transição entre o Cerrado e a Floresta Amazônica com uma área total é de 1.086.994 km<sup>2</sup>. A exutória da bacia está localizada nas coordenadas geográficas O 57° 03' 32" e S 09° 10' 48". Nesta área predominam os climas advindos das Massas Equatoriais Continentais (MEC) e Massas Tropicais Continentais (MTC) de acordo com Kupper; onde observa-se uma grande quantidade de umidade pela influencia da floresta Amazônica com predominância de climas quentes.



**Figura 1:** Área de estudo.

Estão visualizadas na figura 1 também as localizações das 28 estações pluviométricas da Agencia Nacional de Águas (ANA) que foram utilizadas para elaboração dos modelos de interpolação espacial.

## 3. Materiais e métodos

Foram obtidas, junto ao portal Hidroweb da Agencia Nacional de Águas (ANA), as series temporais (dados mensais) de 82 estações pluviométricas dentro e ao redor da bacia (**Figura 1**). As séries foram pré-filtradas e descartadas 54 estações que possuíram menos do que 50

registros mensais no período de Janeiro de 1993 a Dezembro de 2003. Para as 28 estações restantes foi calculada matriz de correlação de Pearson das estações. Para preenchimento de lacunas por regressões lineares foram utilizados os pares com maior coeficiente de correlação. Se não estiverem disponíveis valores para a estação correlata, foram utilizados, para preenchimento, os dados da estação com o segundo (terceiro etc.) maior coeficiente de correlação.

Foram comparadas cinco técnicas de interpolação espacial. Dois métodos de “*Splines*” (regularizados, com tensão) e Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW) foram executados a partir do software ArcView 3.2 (ESRI, Redlands). Nos “*splines*” foi utilizado peso 0,1, valor padrão do ArcView. No método “*IDW*” foram utilizadas como liminares as 12 estações mais próximas e um expoente de 2 grau. As krigeagem do tipo ordinário (com modelo esférico e gaussiano) e universal esférico foram efetuados a partir do software ArcGis 9 (ESRI, Redlands). Nas krigeagens foram utilizados como liminares um número padrão de um *Lag* de 12 e dois a cinco vizinhos.

A validação cruzada para cálculo de erros foi realizada a partir de um procedimento proposto por Robinson & Metternicht (2006), no qual sucessivamente uma estação está sendo descartada na interpolação. Em seguida, o valor simulado da localização desta estação é comparado com o seu valor medido na estação. Os desvios para cada estação foram em seguida utilizados para cálculo do erro médio quadrático (*RMSE*) de acordo com a fórmula:

$$RMSE = \sqrt{(1/N) * \sum_{i=1}^N \{z(xi) - \hat{z}(xi)\}^2} \quad [1]$$

com:

$\hat{z}$  = Valor Estimado

$z$  = Valor Real

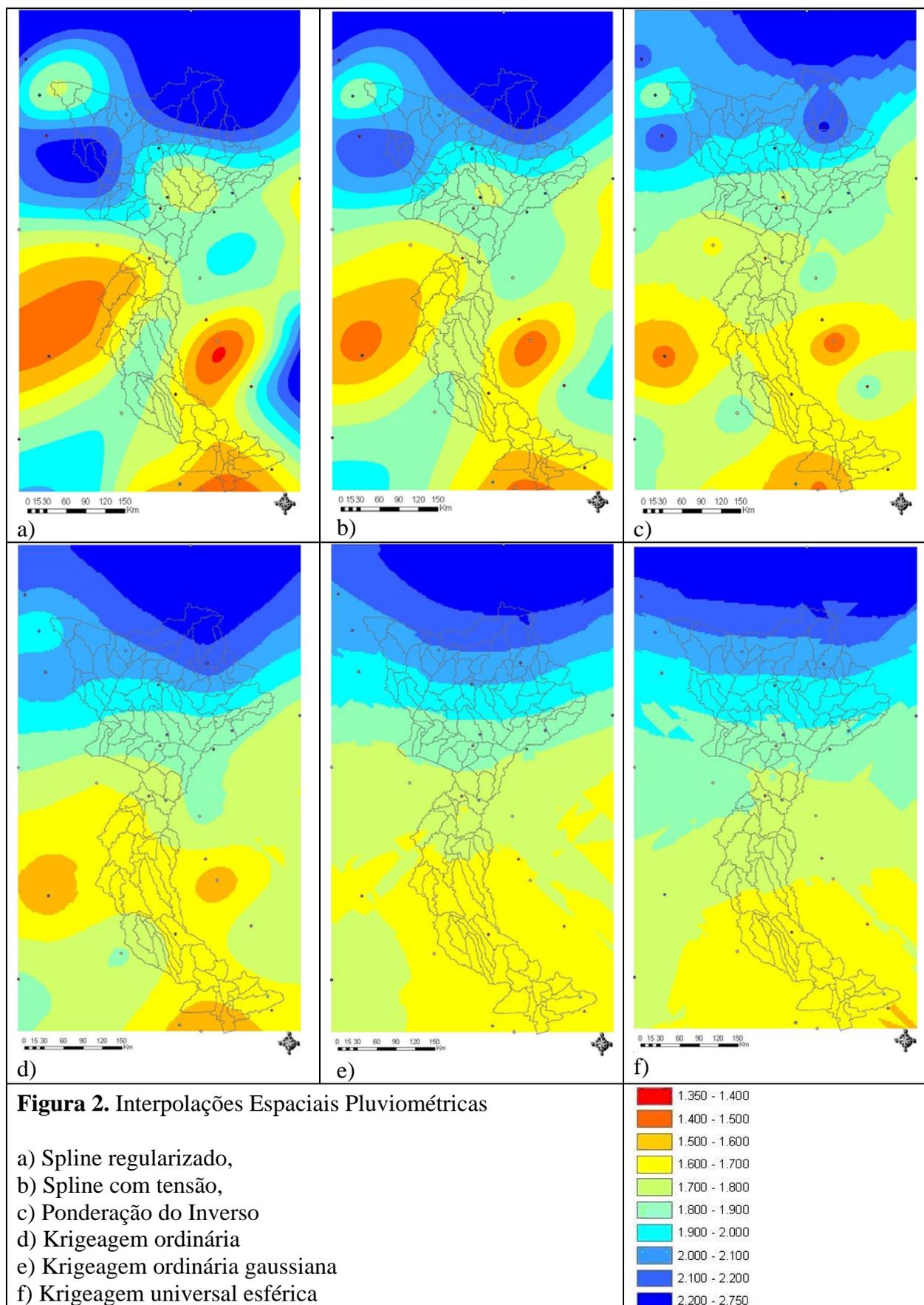
$N$  = Numero de Estações

#### 4. Resultados e Discussões

A **figura 2** mostra os resultados das interpolações espaciais das precipitações anuais, obtidas pelos seis métodos comparados. A **tabela 1** representa os desvios por estação e método, como também o erro médio quadrado de cada método.

Na avaliação do erro médio quadrado observa-se uma superioridade de toda a família de métodos geoestatísticos sobre os métodos deterministas. O RMSE mais baixo foi obtido para a Krigeagem ordinária gaussiana (K\_ord\_ga, RSME: 164,02), seguido pela Krigeagem universal esférica (K\_uni\_es, RSME: 168,94) e a Krigeagem ordinária esférica (K\_ord\_es, RMSE: 171,54). O método IDW possui desempenho mais próximo aos métodos da geoestatística (RMSE: 178,64), seguido pelos Splines com tensão (Spline\_ten, RSME: 195,45). O método determinista dos Spline regularizado possui desempenho bastante inferior (Spline\_reg, RMSE: 242,40).

Por outro lado observa-se que, os métodos deterministas obtiveram número maior de estações com menor desvio (16 estações). No entanto, as simulações por Krigeagem resultaram nas melhores previsões para 12 estações. O método de melhor desempenho geral (Krigeagem ordinária gaussiana) obteve a melhor performance pontual no caso de cinco estações, valor igual como obtido para o método de pior desempenho geral, o dos Splines regularizados.



Supõe-se que este desempenho se deve à característica dos métodos do tipo determinístico local (Spines, IDW) que possuem tendência de ajustar as simulações na proximidade das estações de observação. As técnicas geoestatísticas, que incluem nos seus modelos efeitos globais e locais possuem, entretanto, variação dos erros menos extrema.

**Tabela 1. Desvios e Erro médio quadrático das interpolações por método e estação pluviométrica. Estações com menor desvio em negrito.**

Código ANA	Nome Estação	Spline_reg <sup>1</sup>	Spline_ten <sup>2</sup>	IDW <sup>3</sup>	K_ord_es <sup>4</sup>	K_ord_ga <sup>5</sup>	K_uni_es <sup>6</sup>
855000	Km 947 Br-163	-519,73	<b>2,47</b>	488,52	314,22	283,49	44,95
1254001	Agrovensa	-232,45	-252,62	-286,19	-296,79	-315,69	-298,80
1454002	Nova Brasilândia	<b>-52,10</b>	-88,67	-124,25	-122,23	-186,90	-190,54
1357000	Nova Maringá	-327,93	-353,49	<b>-274,77</b>	-302,89	-276,61	-357,78
1455004	Fazenda Corrente Verde	103,89	51,91	27,32	<b>-10,26</b>	-95,93	-120,38
1453000	Passagem Br-309	49,29	<b>-11,00</b>	-44,64	-24,41	1,82	-22,46
1355001	Porto Roncador	186,70	94,79	-6,41	-12,35	14,51	<b>0,40</b>
1255002	Faz. Rio Ferro-Cruzeirinho	125,08	113,83	64,44	67,24	<b>-22,66</b>	-57,98
1454000	Paranatinga	-61,47	<b>0,89</b>	46,21	27,97	58,87	36,43
1156000	Fazenda Itauba	<b>-21,20</b>	-104,43	-114,84	-73,90	-87,45	-163,54
1053001	Fazenda Santa Emilia	-332,62	-227,50	<b>-152,33</b>	-259,50	-263,02	-393,31
1155000	Cachoeirao	-52,92	-51,88	-64,03	-42,36	<b>-32,14</b>	-86,53
1156001	Fazenda Sempre Verde	<b>-4,10</b>	-15,36	15,42	3,83	29,22	4,56
1055002	Colider	-98,54	-104,02	<b>-76,95</b>	-95,68	-95,53	-98,49
1157001	Juara	<b>4,41</b>	-22,26	-22,10	22,51	76,56	-44,87
1154000	Rancho de Deus	38,06	2,07	<b>-0,08</b>	3,39	19,04	-53,17
1054000	Agopecuaria Cajabi	-40,99	-38,11	<b>-20,00</b>	-27,27	-22,28	-94,12
957001	Novo Planeta	-306,74	-320,81	<b>-258,60</b>	-299,83	-273,17	-291,19
1354000	Fazenda Agrochapada	416,66	354,66	209,65	254,10	<b>199,64</b>	199,66
1457003	Deciolândia	326,56	321,33	<b>196,36</b>	214,54	207,29	170,16
1356002	Nova Mutum	26,39	<b>181,16</b>	211,08	225,87	253,56	214,55
1055003	Fazenda Tratex	111,11	105,29	61,56	70,45	<b>2,60</b>	29,49
1154001	Santa Felicidade	<b>1,06</b>	80,07	143,30	153,24	170,91	112,34
1055001	Indeco	94,01	9,13	39,17	-47,97	-37,59	<b>-1,88</b>
956001	Jus. Foz Peixoto de Azevedo	-47,15	-18,66	90,15	-18,20	-29,46	<b>16,40</b>
857000	Santa Rosa	626,11	438,04	202,39	167,55	55,19	<b>-31,49</b>
1057001	Trivelato	394,38	378,50	261,83	288,45	<b>236,31</b>	237,79
954001	Cachimbo	265,54	228,18	296,73	213,12	204,24	<b>201,31</b>
<b>Erro médio quadrático (RMSE)</b>		<b>242,40</b>	<b>195,45</b>	<b>178,64</b>	<b>171,54</b>	<b>164,02</b>	<b>168,94</b>

<sup>1</sup>Spline\_reg: Spline regularizado, <sup>2</sup>Spline\_ten: Spline com tensão, <sup>3</sup>IDW: Ponderação do Inverso das Distâncias  
<sup>4</sup>K\_ord\_es: Krigeagem ordinária esférica; <sup>5</sup>K\_ord\_ga: Krigeagem ordinária gaussiana; <sup>6</sup>K\_uni\_es: Krigeagem universal esférica

A estação “Rancho de Deus” (1154000) destacou-se por ser a localidade com menor desvio entre valor observado e simulado (IDW, sub-estimado em 0,08 mm), enquanto o desvio máximo foi obtido para a estação “Santa Rosa” (Spline regularizado, superestimativa de 626 mm) que está localizada fora da bacia no extremo oeste da área de interpolação.

## 5. Conclusão

As interpolações espaciais das precipitações pluviométricas anuais realizadas na bacia do Alto e Médio Rio Teles Pires a partir de três modelos determinísticos e três modelos geoestatísticos permite os seguintes conclusões:

- Na região em estudo, caracterizada por um relevo suavemente ondulado, uma rede de observação de baixa densidade e com séries temporais pouco consistentes, os métodos geoestatísticos avaliados possuem desempenho geral ligeiramente superior ao do obtido pelos modelos determinísticos;
- Os melhores erros médios quadráticos, obtidos pela Krigagem ordinária gaussiana, possuem uma ordem de grandeza de cerca de 10% ou 165 mm na estimativa da precipitação anual;
- A avaliação do desempenho de interpolações espaciais não deve ser restrita ao cálculo do RMSE, considerando que o método de pior desempenho geral (Spline regularizado) obteve a melhor estimativa da precipitação anual em cinco das 28 estações avaliadas.

## Referências

Assad e Sano (Org.). Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. 4ed. Brasília, Embrapa. 2003.

De Deus, B. V.; Zeilhofer, P. Uso de Interpoladores Espaciais na Estimação de Precipitação Pluviométrica na Bacia do Teles Pires. In: Reunião Anual da SBPC, 58, 2006, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: SBPC/UFSC, 2006.

Camargo e Fuks In Câmara, G.; Druck, S.; Carvalho, M. S.; Monteiro, A. M. V. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Planaltina, Embrapa, 2004. 209 p

Goovaerts, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, v 228, p 113–129, 2000. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)>. Acesso em: 10 de Setembro de 2006.

Porto, R L L (Org.) . Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Ed.2, ABRH, 2002.

Mello, C. R., Lima, J. M., Silva, A. M.; Mello, J. M.; Oliveira, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Rev.Bras. Ciênc.** Solo, Sept./Oct. 2003, vol.27, no.5, p.925-933. ISSN 0100-0683. Disponível em: <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832003000500017](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000500017) >. Acesso em: 17 de Novembro de 2005.

Nicolau, R. R. C. Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial de Precipitação: **Uma Aplicação A Portugal Continental**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia do Ambiente). Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Lisboa. Disponível em: <[http://www.igeo.pt/igeo/paginas%20pessoais/rita%20nicolau/Indice\\_Geral.pdf](http://www.igeo.pt/igeo/paginas%20pessoais/rita%20nicolau/Indice_Geral.pdf) >. Acesso em: 22 de Outubro 2005.

Reis, M H.; Griebeler N. P.; Sarmiento P. H. L.; Oliveira L. F. C. de; Oliveira J. M. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais**, INPE, p. 229-236. Disponível em:

< <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.04.36/doc/229.pdf> > Acesso em: 16 de Janeiro de 2006.

Robinson, T.P.; Metternicht, G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. **Computers and Electronics in Agriculture**, v., p. 97–108, 2006.

Teixeira, A. L. A.; Christofolletti, A. **Sistema de Informação Geográfica** – Dicionário Ilustrado. São Paulo: Hucitec, 1997.

Tucci, Carlos E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

Xavier Da Silva, J.; 1992. Geoprocessamento e Análise Ambiental. **Revista Brasileira De Geografia**, v 54, Jul/Set P.47-61. Rio de Janeiro.