

## ILWIS como ferramenta para geração de mapas de chuva por interpolação

Yane de Freitas da Silva<sup>1</sup>  
Fernando Braz Tangerino Hernandez<sup>1</sup>  
Renato Alberto Momesso Franco<sup>1</sup>  
Diego Gonçalves Feitosa<sup>1</sup>  
Daniel Noe Coaguila Nuñez<sup>1</sup>  
Antonio Heriberto de Castro Teixeira<sup>2</sup>  
Orivaldo Brunini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Caixa Postal 34 - 15385-000 - Ilha Solteira - SP, Brasil  
yanefsilva@gmail.com  
fbthtang@agr.feis.unesp.br  
bioramfranco@yahoo.com.br  
diegogfeitosa@yahoo.com.br  
tuheraldo@hotmail.com

<sup>2</sup>Embrapa Semiárido  
BR 428, Km 152, Zona Rural - Caixa Postal 23  
Petrolina, PE - Brasil - CEP 56302-970  
Heriberto.teixeira@embrapa.br

<sup>3</sup>Instituto Agronômico de Campinas – IAC  
13020-902 - Campinas - SP  
brunini@iac.sp.gov.br

**Abstract:** The geoprocessing is increasingly applied in the assessment of the spatial variability of parameters of interest in agricultural sciences. And when used software as ILWIS at its basic module, to analyze tabular data, the unit of analysis assumes the same value. An improved data analysis method is based on the interpolation of these data. Therefore, the intermediate values of the data are preserved, and the end result is a more continuous surface smoothed data, minimizing the contrasts between polygons. This study aims to compare the performance of three interpolation methods: Moving Average, Trend Surface and Krigagem. For this, we used rainfall data for 2011, obtained from CIIAGRO and Hydraulics & Irrigation Division in 12 weather stations northwest of São Paulo State. The analysis was realized visually using: thematic maps, verification of accuracy and performance of the interpolators, standard deviation methods and comparing the values of each method with real data. Trend Surface Interpolator presented unsatisfactory results regarding the comparison of thematic maps and performance of all interpolators, showing that use data such as precipitation distortion. While, in relation to the percentage of accumulated pixel was obtained smallest standard deviation. The best performance was obtained by the Kriging Interpolator, therefore, a greater number of samples, in the case of expected precipitation data for better visualization.

**Palavras-chave:** geoestatística, Kriging, Moving average, Trend surface, SIG, espacial, geoestatística, Krigagem, Média móvel, Superfície de tendência, GIS, distribuição espacial.

### 1. Introdução

A avaliação da qualidade da água utilizada na irrigação é imprescindível, principalmente em regiões áridas e semiáridas, caracterizadas por baixos índices pluviométricos, distribuição irregular das chuvas ao longo do ano e intensa evapotranspiração, que favorecem o processo de salinização, isto é, a acumulação gradativa de sais na zona radicular das plantas (Gheyi et al., 2004).

O fenômeno da precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e constitui, portanto fator importante para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão básica dos rios e outros. A vantagem da estimativa de precipitação através dos satélites meteorológicos é a de possuir ampla cobertura espacial e temporal, porém, também está sujeita a erros causados por diversos fatores, erros instrumentais, erros de calibração do equipamento e variabilidade na relação de medida dos parâmetros da precipitação (De Araújo, 2006).

O gerenciamento do processo de produção agrícola em função da variabilidade espacial é uma ferramenta de trabalho para exploração e gerenciamento da produção agrícola que tem como objetivo otimizar a produção, reduzir insumos utilizados e preservar o meio ambiente, incluindo-se nesse gerenciamento os atributos físico-hídricas do solo.

A geoestatística, de modo geral, desenvolve e aplica modelos em representações de fenômenos naturais cujas propriedades variam conforme a posição espacial dos pontos observados. Assim, propõe-se comparar alguns métodos de interpolação a fim de subsidiar a seleção de método e procedimentos que sejam mais adequados para integrar uma aplicação SIG, o qual está em desenvolvimento. A importância de tal técnica junto com o processo de interpolação para a variável desejada, no caso precipitação é necessária uma vez que estima valores não amostrados em uma determinada região, possibilitando um melhor planejamento do uso do solo na agricultura. Até mesmo os métodos geoestatísticos têm sido utilizados com frequência para a espacialização de informações pluviométricas. Entretanto, não existe, na literatura, um método que se sobressaia ao outro, mas deve-se determinar o melhor método para cada circunstância (Lennon; Tunner, 1995).

A interpolação pode ser definida como o procedimento matemático de ajuste de uma função a pontos não amostrados, baseando-se em valores obtidos em pontos amostrados. Na prática o processo de interpolação parte da definição de uma malha, seu espaçamento e suas dimensões. Esta malha é útil para estimar o valor de cada ponto (ou nó) pela seleção de pontos (nós) próximos com valores conhecidos. Os valores dos nós então serão redefinidos por filtragem e por funções (algoritmos) matemáticas que podem ser semelhantes aos valores iniciais (interpoladores exatos) ou aproximados dos valores dos pontos iniciais.

Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar e comparar dentre as formas de interpolação e geração de mapas, qual é a melhor para analisar dados de precipitação.

## **2. Metodologia de Trabalho**

### **2.1 Área de estudo**

A área selecionada para a realização deste estudo foi a região noroeste do Estado de São Paulo, os dados de precipitação pluvial mensal (Tabela 1) utilizados são provenientes da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, operada pela Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira e do CIIAGRO operado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (Tabela 2), sendo. Com os dados compilados, foi realizado com o auxílio do programa ILWIS 3.3 a interpolação dos valores das estações para cada mês, aplicando os diferentes métodos de interpolação gerando os valores de precipitação mensal e a seguir foi feita a totalização anual da precipitação *pixel a pixel*.

### **2.2 Métodos comparados de interpolação**

O método de *Trend surface, ou Superfície de tendência* é um procedimento para a separação das grandes mudanças na sistemática, essencialmente, de dados mapeados de pequenas variações na escala devido a efeitos locais. O método pode ser aplicado a qualquer

tipo de mapa de contorno, e tem sido utilizado para a análise dos mapas de gravidade e mapas de atributos. Quando as observações podem ser coletadas em uma grade retangular, a análise polinomial ortogonal permite a separação conveniente de a tendência a partir dos resíduos. Quando as observações são limitadas em número ou são distribuídas irregularmente ao longo do mapa não ortogonal, a análise polinomial pode ser utilizada para determinar, pelo menos, os componentes linear e quadrático da tendência. Estas superfícies e os desvios a partir deles têm valor na interpretação geológica, e sugerem que, mesmo quando a tendência completa é conhecida, mapas de componentes de tendência selecionados poderão ser úteis para a análise de problemas especiais.(Krumbein, 1959)

O *moving average* é aplicável para conjuntos grandes e muito grandes de dados. Este método extrai tendências intermediárias de um número mínimo de pontos definidos dentro de uma “Elipse de Procura” (Search Elipse), associada a cada um dos pontos do grid. O valor final de cada um dos pontos do grid é igual à média aritmética de todos os pontos vizinhos identificados. Se dentro da elipse de procura não houver o número mínimo de pontos definidos para o calculo, aquela área aparecerá em branco.

A Krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Baseada no princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados(Jakob,2002). A krigagem reúne diversos tipos de métodos de estimação como: krigagem simples, ordinária, universal, por indicação, disjunta e cokrigagem. Porém este estudo só se baseou na krigagem simples.

### 2.3 Variabilidade espacial dos interpoladores

Para a avaliação dos interpoladores pela variável precipitação, respeitando a espacialização do conjunto amostral e a forma com que estão distribuídos no espaço, foi feita uma comparação visual entre os diferentes mapas temáticos, uma comparação com os dados reais e os estimados, avaliação da porcentagem de pixel acumulado e desempenho dos interpoladores analisando seu desvio padrão, para melhor compreensão dos resultados finais.

Tabela 1. Precipitação mensal (mm) em 12 estações no noroeste paulista.

ESTAÇÃO	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
<b>Auriflama</b>	252	349	246	64	1	37	0	8	16	110	153	208	<b>1444</b>
<b>Bonança</b>	225	230	298	113	8	55	0	0	19	86	326	117	<b>1568</b>
<b>Fernandópolis</b>	243	245	427	26	7	30	0	17	5	70	79	99	<b>1248</b>
<b>Ilha Solteira</b>	233	223	284	161	9	51	0	10	10	152	178	134	<b>1445</b>
<b>Itapura</b>	409	212	350	165	3	63	0	0	3	140	165	104	<b>1614</b>
<b>Jales</b>	208	335	411	85	3	41	1	17	2	96	101	148	<b>1448</b>
<b>Marinópolis</b>	264	320	286	108	4	35	0	14	13	79	114	130	<b>1367</b>
<b>Monte Aprazível</b>	309	45	351	38	1	44	0	16	24	143	109	177	<b>1257</b>
<b>Paranapuã</b>	309	337	551	76	15	38	8	21	3	141	159	343	<b>2041</b>
<b>Santa Adélia</b>	131	107	246	104	9	34	0	5	0	103	146	55	<b>940</b>
<b>Santa Fé do Sul</b>	201	107	457	39	7	35	0	10	2	87	122	97	<b>1158</b>
<b>Votuporanga</b>	217	258	320	70	4	31	0	20	11	65	81	130	<b>1205</b>

Tabela 2. Coordenadas, altitude, denominação e municípios das estações.

LAT.	LONG.	ALT.	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO
7712476	544927	463,0	AURIFLAMA	AURIFLAMA
7714042	496470	357,0	BONANÇA	PEREIRA BARRETO
7755626	574799	519,0	FERNANDÓPOLIS	FERNANDÓPOLIS
7741639	463110	337,0	ILHA SOLTEIRA	ILHA SOLTEIRA
7717506	450545	335,0	ITAPURA	ITAPURA
7755841	549276	443,0	JALES	JALES
7739115	520108	370,0	MARINÓPOLIS	MARINÓPOLIS
7703736	633711	470,0	MONTE APRAZÍVEL	MONTE APRAZÍVEL
7785762	545410	436,1	PARANAPUÃ	PARANAPUÃ
7730039	473995	426,0	SANTA ADÉLIA	PEREIRA BARRETO
7767761	508444	412,0	SANTA FÉ DO SUL	SANTA FÉ DO SUL
7737650	597495	470,0	VOTUPORANGA	VOTUPORANGA

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Variabilidade espacial dos interpoladores

Na Figura 1 são ilustrados os 3 mapas temáticos de precipitação gerados através dos 3 diferentes interpoladores utilizados. Sendo que no primeiro mapa foi usado *Trend Surface*, no segundo utilizou-se *Krigagem* e por fim, o de *Moving average*.

#### 3.2 Acuracidade dos interpoladores

Tabela 1. Valores reais da precipitação acumulada e valores estimados pelo uso dos diferentes Interpoladores.

	Moving Average	Krigagem	Trend Surface	Valor real
<b>Mínimo</b>	940,07	940,03	962,17	940,00
<b>Máximo</b>	2040,75	2040,88	2138,73	2041,00
<b>Média</b>	1491,99	1492,50	1550,25	1394,58
<b>Desvio Padrão</b>	314,08	313,54	339,53	276,94

As menores diferenças entre os valores reais e aqueles estimados foram encontradas no interpolador *Krigagem*, sendo este o que obteve as menores diferenças e, portanto a melhor veracidade com os valores.

Tabela 2. Porcentagem acumulada de pixel dos 3 interpoladores

	Moving Average	Krigagem	Trend Surface
<b>Mínimo</b>	0	0	0
<b>Máximo</b>	98,12	100,00	60,41
<b>Média</b>	58,96	55,92	40,04
<b>Desvio Padrão</b>	40,68	43,34	18,79

Em relação à porcentagem acumulada de pixel, o interpolador *Trend Surface*, obteve o menor desvio padrão e o de *Moving Average* a melhor média de porcentagem de pixel acumulado, mostrando que o contraste neste mapa temático é maior do que nos outros dois métodos de interpolação.

Sun et al.(2009) observaram que os rendimentos de krigagem simples tem maior coeficiente de correlação entre a variável observada e estimada, sendo este o método melhor para interpolar precipitação corroborando os resultados deste trabalho.

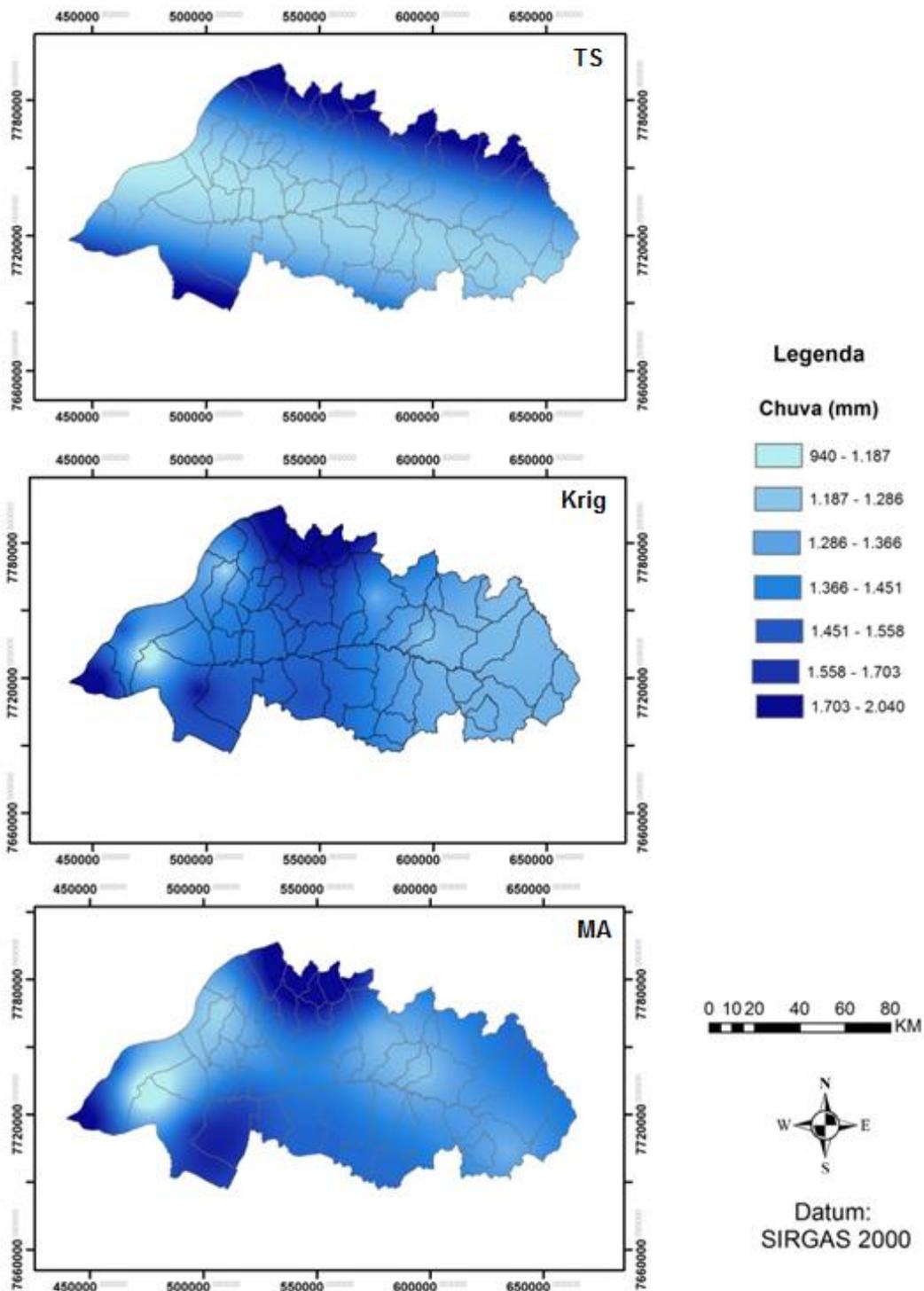


Figura1. Mapa temático dos três diferentes interpoladores

#### 4. Conclusões

- 1- O método que mais aproximou os dados estimados dos valores reais foi o do interpolador Krigagem, enquanto que a maior distorção foi o método *Trend Surface*, não sendo recomendado para a variável precipitação;
- 2- O interpolador Krigagem simples apresentou resultados significativos, porém recomenda-se mais investigações e detalhamento para múltiplas variáveis em diferentes arranjos amostrais, uma vez que o desvio padrão foi alto em relação a porcentagem de *pixel* acumulado;
- 3- Técnicas diferentes têm um desempenho diferente de acordo com as características dos pontos de dados iniciais. Cada método tem as suas próprias vantagens e desvantagens, que dependem fortemente das características do conjunto de pontos de dados: um método que é bem adequado para alguns dados pode ser inadequado para um conjunto de dados, ou se a medição em locais diferentes a mesma superfície. Por isso, é importante avaliar alguns critérios para determinar se o método é adequado para o conjunto de dados selecionados. Neste caso, avaliando a precipitação o método de Krigagem simples destacou em relação aos de Superfície de Tendência e o da Média Móvel.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro para a instalação da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista.

#### 6. Referências Bibliográficas

- Andriotti, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003. 165 p.
- Calvetti, L.; Beneti, C. A. A.; Pereira Filho, E. A. J. Características das estimativas de precipitação por radar, satélite e pluviômetros no Paraná: uma comparação entre chuva de verão e chuva provocada por frente fria. In: **Anais do XV Simpósio brasileiro de recursos hídricos**, Curitiba, PR. 2003.
- Caruso, C.; Quarta, F. Interpolatin methods comparison. *Computer Math. Applic.* v. 35, n. 12, p. 109-126, 1998.
- De Araujo, A. N. **Simulação hidrológica com o uso de chuva estimada por satélite**. Dissertação de mestrado Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2006
- Dodermann, A.; Ping, J.L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, n.1, p.285-297, 2004.
- Gheyi, H. R.; Luz, M. J. S.; Barreto, A. N.; Silva, A. A. G. Qualidade da água para irrigação. In: BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental versus sustentabilidade. 1.ed. Aracaju: **Embrapa Tabuleiros Costeiros**; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. cap.9, p.331-377.
- Imai, N. N.; Galo, M. L.B.T.; Tachibana, V. M.; Hasegawa, J. K.; Matsuoka, C. T.; Lima, D. L.; Vicente, J.; Sartori, L.R.; Victorino, P. S. S., 2003. SIG PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO. In **Anais do IV Fórum de Ciências da FCT**, Vol. CDRom, Presidente Prudente - SP, pp. 190-198.
- Jakob, A.A.E. A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil de 4 a 8 de novembro de 2002.

Krumbein, W. C. (1959), Trend surface analysis of contour-type maps with irregular control-point spacing, *J. Geophys. Res.*, 64(7), 823–834, doi:10.1029/JZ064i007p00823.

Landim, P. M.B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. 2a. Edição. Editora da UNESP. São Paulo. 2003. 253 p.

Lennon, J. J.; Turner, J. R. G. Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. **Journal of Animal Ecology**, v. 64, n.3, 670-392, 1995.

Matheron, G. The theory of regionalized variables. Paris: École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1971. 211 p. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, 5).

Mieres, L. S. et al. Avaliação de fontes alternativas de dados de precipitação para aplicação em modelos hidrológicos. **Anais Xv Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Sbsr**: INPE, Curitiba, n. , p.5300, 05 maio 2011.

Sun, Y.; Kang, S.; Li, F.; Zhang, L. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. *Environmental Modelling & Software*. v. 24, p. 1163–1170, 2009.

Tucci, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª ed., Editora da universidade, 943 p. 1993.