

# Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos

Edy Célia Coelho<sup>1</sup>, Eduardo Godoy de Souza<sup>1\*</sup>, Miguel Angel Uribe-Opazo<sup>1</sup> e Raimundo Pinheiro Neto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Universitária, 2069, 85814-110, Cascavel, Paraná, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: godoy@unioeste.br

**RESUMO.** O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da densidade amostral (três grades) e do tipo de interpolador (krigagem, inverso da distância, inverso da distância ao quadrado e polinomial) na elaboração de mapas temáticos da produtividade da soja em uma área de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, no período de 1998 a 2002, conduzida em sistema de agricultura de precisão. As grades selecionadas possuíam 128, 64 e 32 parcelas utilizando amostragem alinhada sistemática estratificada (AASE). A partir de cada grade amostral e utilizando cada um dos interpoladores, foram gerados os mapas temáticos. O coeficiente de desvio relativo (CDR) foi proposto visando expressar a diferença média em módulo dos valores interpolados em cada grade em relação à grade considerada como referência, ou seja, a amostragem alinhada sistemática estratificada, com 128 parcelas, e interpolação por krigagem (AASE 128 Krigagem). O CDR mostrou-se eficiente na comparação de mapas e possibilitou concluir que, para utilizar todo o potencial da krigagem e esse método ser recomendado, é necessário ter muitos pontos para que um bom semivariograma seja construído. Caso contrário, podem-se usar os outros interpoladores analisados. O método amostragem alinhada sistemática estratificada 128 inverso da distância foi o que mais se aproximou do método assumido como referência, AASE 128 Krigagem.

**Palavras-chave:** agricultura de precisão, geoestatística, amostragem.

**ABSTRACT. The influence of sample density and interpolation type on the elaboration of thematic maps.** The objective of this work was to evaluate the influence of the sampling density (three grids) and of the type of interpolation (kriging, inverse of the distance, inverse of the square distance, and polynomial) in the elaboration of thematic maps of soybean yield in an area of Dystroferic Red Nitosol under precision agriculture from 1998 to 2002. The selected grids had 128, 64 and 32 units using stratified systematic aligned sampling (SSAS). The thematic maps was generated from each sampling grid and using each of the interpolators. The relative deviation coefficient (CDR) was proposed to express the average difference in module of the values interpolated in each grid in relation to the considered standard SSAS grid with 128 units and kriging interpolator. The CDR proved efficient in the comparison of maps and made it possible to conclude that to effectively use the entire potential of the kriging, it is necessary to have several points, so that a good semivariogram is constructed. Otherwise, any of the other analyzed interpolators can be used. The SSAS 128 inverse distance method was most similar to the reference, SSAS 128 Kriging.

**Key words:** precision agriculture, geostatistics, sampling.

## Introdução

A necessidade de produção de alimentos, ou seja, de aumento da produção agrícola, em virtude do crescimento da população, promoveu o desenvolvimento da mecanização, o que permitiu o cultivo de grandes áreas. Para tanto, os talhões aumentaram em tamanho, deixaram de ser manejados de acordo com suas características particulares e passaram a ter manejo e aplicação de

insumos definidos pela média. Entretanto, a variabilidade espacial dos solos ocorre como resultado de processos pedogenéticos e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas (SOUZA et al., 2008). Por outro lado, o manejo localizado de áreas com variabilidade espacial só foi possível a partir da disponibilidade de técnicas de localização precisas,

aliadas ao desenvolvimento de sensores e sistemas eletrônicos, aplicáveis às máquinas agrícolas.

Esse manejo, de acordo com as exigências locais, é o que vem sendo denominado de agricultura de precisão (AP). Dada a variedade de fatores e parâmetros envolvidos, a AP requer um monitoramento contínuo, espacial e temporal, da área estudada, resultando em um grande volume de dados derivados de sensores ou de observações no campo. A AP inaugurou uma nova fase para a agricultura brasileira, que exige não apenas altos investimentos financeiros, como também conhecimento mais profundo para decidir as estratégias que serão adotadas.

O solo, por ser um corpo tridimensional formado pela ação de vários fatores e processos, apresenta variação de suas características ao longo da superfície, bem como de seu perfil. A subdivisão de grandes extensões de solo em pequenas parcelas experimentais é uma tentativa de reduzir a variabilidade intrínseca do solo. Contudo, para o estudo de áreas maiores, foi necessária a criação de técnicas amostrais e de análise de dados que levassem em consideração a variação espacial que, muitas vezes, está associada a sua formação.

A busca da melhoria dos índices de produtividade agrícola, em que a globalização econômica e a competitividade de produtos no mercado é, normalmente, obtida pelo aumento do uso de insumos agrícolas, vem deixando de lado um fator principal: o meio ambiente, contribuindo, comprovadamente, com o impacto ambiental.

Quando o sistema começou a ser implantado nos EUA, no início da década de 90, a primeira visão que se tinha era a da proteção ambiental, porque a aplicação localizada e na quantidade certa de insumos evita o fenômeno da contaminação de águas subterrâneas através da lixiviação. Ressalte-se que problemas de impacto ambiental são mais difíceis de serem quantificados por agricultores do que custos de produção.

Portanto, é necessário que o produtor pratique uma agricultura moderna preventiva, que vise reduzir impactos ambientais negativos, consequência das atividades agrícolas, e realize um tratamento diferenciado em cada área de sua propriedade, gerando benefícios, produtividade eficiente, sem desperdícios financeiros e/ou naturais.

Um dos aspectos ainda a serem desvendados é a influência conjunta da densidade amostral e de diferentes tipos de interpoladores na elaboração de mapas temáticos. Segundo Jones et al. (2003), muitos artigos foram publicados comparando diferentes métodos de interpolação em uma grande

variedade de tipos de dados.

Estes artigos utilizaram diversos tipos de dados: atmosféricos; de conteúdo de argila e pH do solo; de precipitação de chuva; e de elevação.

A maioria destes estudos envolveram comparações de métodos bidimensionais de interpolação. Os métodos mais estudados foram krigagem e inverso da distância elevado a uma potência (IDP). Verificou-se que em oito estudos mostraram ser a krigagem o melhor; que mesmo quando a krigagem se mostrou superior "na média", IDP foi superior sob determinadas circunstâncias. Dois dos estudos mostraram IDP superior à krigagem, e seis dos estudos mostraram diferença muito pequena entre krigagem e IDP.

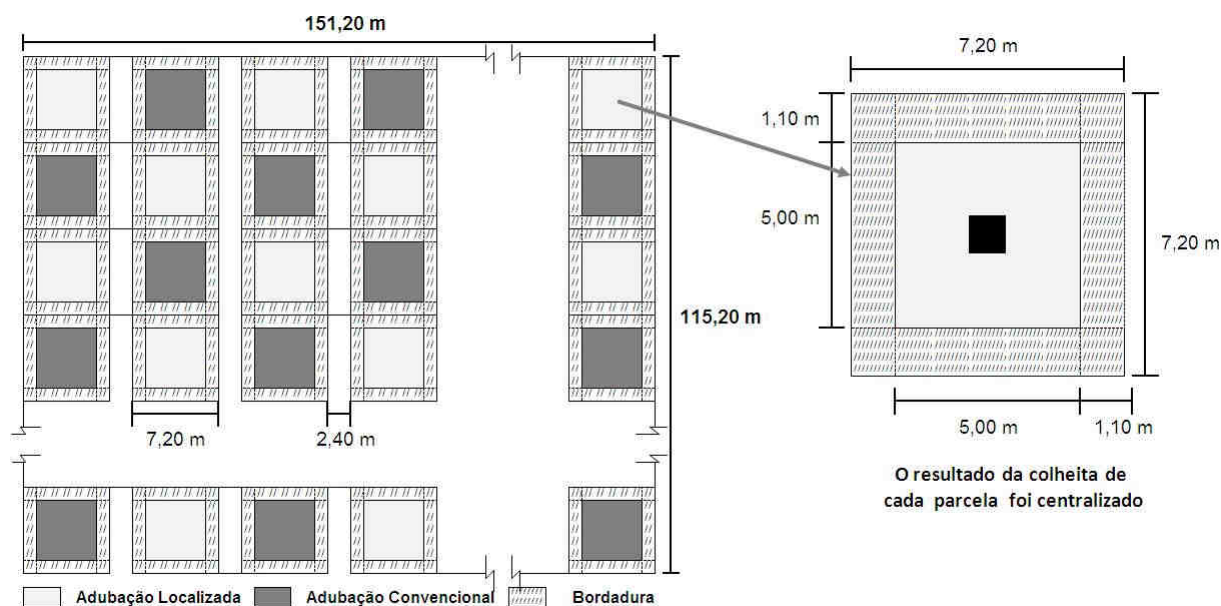
Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência da densidade amostral (três diferentes grades amostrais) e do tipo de interpolador (krigagem, inverso da distância, inverso da distância ao quadrado e polinomial) na elaboração de mapas temáticos da produtividade da soja, em um período de cinco anos, para uma área de pesquisa conduzida em sistema de agricultura de precisão.

## Material e métodos

Os dados amostrais foram coletados em uma área experimental de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico na região Oeste do Estado do Paraná pertencente ao Centro de Pesquisa Eloy Gomes, da Cooperativa Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico LTDA. (Coodetec), localizada na BR 467, km 98, no município de Cascavel, Estado do Paraná, latitude 24°56'S e longitude 53° 26'O.

As amostras coletadas e analisadas durante cinco anos (de 1998 a 2002) seguiram uma grade regular composta de 256 parcelas de 7,20 x 7,20 m cada uma e um corredor de 2,40 m em uma das direções. A partir de 1999, cada parcela do experimento (Figura 1) foi preparada da seguinte maneira: as 128 parcelas brancas, sem manejo localizado (SML), receberam corretivo (calcário) e fertilizantes correspondentes à média global obtida por todas as parcelas brancas, e 128 parcelas cinzas com manejo localizado (CML, agricultura de precisão), em função de sua necessidade individual (SOUZA et al., 1999; MILANI et al., 2006).

A produtividade da cultura da soja ( $t\ ha^{-1}$ ) foi determinada com o uso de uma colhedora de parcelas pertencente à Coodetec, desenvolvida para colheita de experimento em parcelas, e foi realizada, em cada ano da pesquisa, no mês de abril. A produtividade de cada parcela, convertida a 13% de umidade, foi associada ao seu centro geométrico.



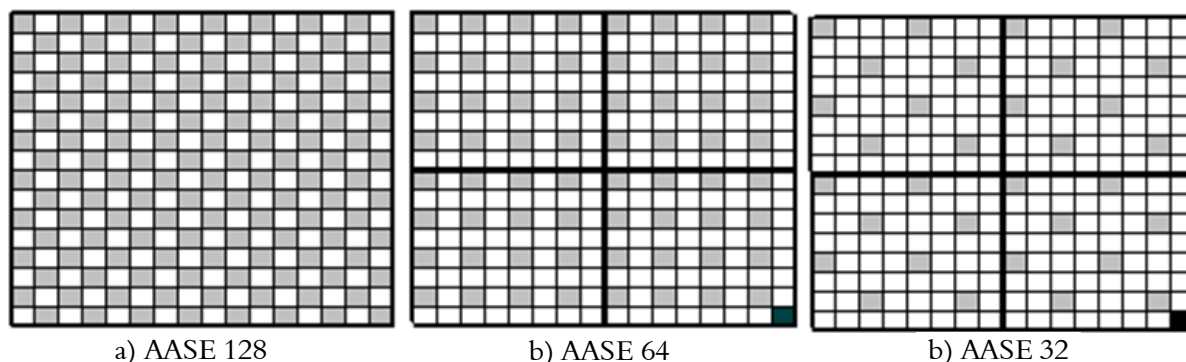
**Figura 1.** Área de pesquisa, apresentando as duas formas de adubação utilizadas.  
 Fonte: Adaptado de Souza et al. (1999).

A partir das 256 parcelas originais, foram construídas três grades (Figura 2) com amostragem alinhada sistemática estratificada (AASE), a saber: uma grade com 128 amostras (AASE 128), uma com 64 amostras (AASE 64) e uma com 32 amostras (AASE 32). Foram utilizadas, sempre, as parcelas do sistema com manejo localizado (CML).

Como se pode observar na Figura 2, na grade com 64 amostras e na com 32 amostras, foi alocada uma parcela a mais, para que a grade permaneça com seu tamanho original, ou seja, para que, no mapeamento e análise dessas grades, não ocorra o descarte da última coluna e linha da área do experimento, visto que os mapas de produtividade foram comparados digitalmente.

De acordo com os pressupostos teóricos de Vieira (1999), este estudo teve os dados analisados estatisticamente, por meio de uma análise exploratória

na qual se caracterizou a variável em estudo, por consequência, identificaram-se e avaliaram-se seu comportamento e a distribuição dos dados. Foram geradas as estatísticas: média, mediana, quartis, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo, quando  $CV \leq 10\%$  (homocedasticidade); médio, quando  $10\% < CV \leq 20\%$ ; alto, quando  $20\% < CV \leq 30\%$ ; e muito alto, quando  $CV > 30\%$  (heterocedasticidade) (GOMES; GARCIA, 2002). Na verificação da normalidade dos dados, aplicaram-se os testes de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, sendo considerados com distribuição de probabilidade normal os dados que obtiveram resultado de p-valor maior que 0,05, ou seja, ao nível de 5% de significância em pelo menos um dos testes. Os gráficos de box-plot foram construídos para verificação de pontos discrepantes.



**Figura 2.** Grades com amostragem alinhada sistemática estratificada (AASE): a) AASE 128, b) AASE 64 e c) AASE 32. Em cada grade, as parcelas em cinza representam parcelas selecionadas.

Na análise geoestatística, construíram-se os semivariogramas para verificar as influências de dependência espacial entre as amostras. Para estimar as estruturas da função semivariância experimental, utilizou-se o estimador clássico de Matheron, para as variáveis que apresentaram normalidade, e o estimador de Cressie e Hawkins, para as variáveis que apresentaram valores atípicos (CRESSIE, 1991). Os semivariogramas experimentais foram obtidos aplicando-se os métodos de ajuste de mínimos quadrados ordinários (OLS) e adotando-se o modelo isotrópico (semivariograma omnidirecional), com um cutoff de 50% da área máxima.

Foram elaborados mapas temáticos aplicando-se quatro tipos de interpoladores (krigagem, inverso da distância, inverso da distância ao quadrado e polinomial) associados a três grades com amostragem alinhada sistemática estratificada, totalizando-se doze mapas por ano. Como a pesquisa utilizou dados de cinco anos, foram gerados 60 mapas de produtividade. Para analisar os referidos mapas e poder afirmar qual tipo de amostragem teve melhor resultado, foi proposto o coeficiente de desvio relativo (CDR, Equação 1). Como é de se esperar melhor qualidade de amostragem quanto maior o número de pontos e como a bibliografia considera a krigagem como o melhor método de interpolação (LASLETT, 1994; PHILIPS et al., 1997; ZIMMERMAN et al., 1999), foi selecionada a grade AASE 128 krigagem como referência. Ressalte-se, aqui, que o CDR calcula a diferença média em módulo dos valores interpolados em um mapa temático quando comparado com um mapa assumido como referência, e não como foi feito na bibliografia, estimando o erro médio da interpolação com os pontos amostrados. A justificativa é que o objetivo foi estimar afastamentos de mapas temáticos utilizando outros interpoladores mais amigáveis do que a krigagem, considerada como melhor interpolador, mas que apresenta dificuldade em sua implementação.

$$CDR = \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{ijk} - P_{ipad}}{P_{ipad}} \right| * \frac{100}{n} \quad (1)$$

em que:

n: número de pontos interpolados (para o estudo o n = 7.500 pontos);  $P_{ipad}$ : produtividade de referência no ponto i (para o estudo, a produtividade de referência é a grade AASE 128 krigagem);  $P_{ijk}$ : produtividade no ponto i para o método de amostragem j (j = 1, 2, 3); j=1: AASE 128; j=2: AASE 64; e j=3: AASE 32 e o interpolador k (k = 1, 2, 3, 4); k=1: krigagem; k=2: inverso da distância ao quadrado; k=3: inverso da distância; k=4: polinomial.

## Resultados e discussão

Os valores mínimos da produtividade da soja ( $t\ ha^{-1}$ ), nos cinco anos em estudo (de 1998 a 2002, Tabela 1), variaram entre 0,45 a  $1,65\ t\ ha^{-1}$ , para AASE 128, e 0,45 a  $2,2\ t\ ha^{-1}$ , para AASE 64 e AASE 32. Já os valores máximos da produtividade nos cinco anos em estudo variaram entre:  $2,34\ a\ 3,72\ t\ ha^{-1}$  para AASE 128;  $2,26\ a\ 3,72\ t\ ha^{-1}$ , para AASE 64; e  $2,26\ a\ 3,69\ t\ ha^{-1}$ , para AASE 32. O coeficiente de variação (CV) para os anos de 1998, 2000 e 2001 teve média variabilidade ( $10\% \leq CV \leq 20\%$ ). Já para os anos de 1999 e 2002, o CV teve alta variabilidade ( $20\% \leq CV \leq 30\%$ ), caracterizando, assim, para todos os anos, relativa homogeneidade dos dados (GOMES; GARCIA, 2002).

**Tabela 1.** Resultado estatístico da produtividade da soja ( $t\ ha^{-1}$ ) de 1998 a 2002.

ANO	ESTATÍSTICA	AASE 128	AASE 64	AASE 32
1998	Nº de amostras	128	65	33
	Mínimo	1,19	1,92	1,92
	Máximo	3,70	3,70	3,58
	Média	2,71	2,68	2,63
	Desvio Padrão	0,44	0,44	0,45
	Coeficiente de variação (CV)	16,24 %	16,41%	17,13%
	Normalidade	sim	sim	sim
1999	Nº de amostras	127	64	32
	Mínimo	0,68	0,68	0,86
	Máximo	2,81	2,81	2,62
	Média	1,94	1,84	1,84
	Desvio Padrão	0,44	0,48	0,47
	Coeficiente de variação (CV)	22,92%	26,46%	25,48%
	Normalidade	não	sim	sim
2000	Nº de amostras	127	65	33
	Mínimo	1,65	2,2	2,2
	Máximo	3,72	3,72	3,69
	Média	3,10	3,09	3,03
	Desvio Padrão	0,37	0,36	0,38
	Coeficiente de variação (CV)	11,97%	11,73%	12,43%
	Normalidade	não	sim	sim
2001	Nº de amostras	127	64	32
	Mínimo	1,42	1,42	1,42
	Máximo	3,2	3,07	3,02
	Média	2,60	2,48	2,44
	Desvio Padrão	0,41	0,46	0,47
	Coeficiente de variação (CV)	14,70%	16,72%	19,71%
	Normalidade	não	não	sim
2002	Nº de amostras	127	64	32
	Mínimo	0,45	0,45	0,45
	Máximo	2,34	2,26	2,26
	Média	1,73	1,65	1,63
	Desvio Padrão	0,41	0,46	0,47
	Coeficiente de variação (CV)	23,63%	27,93%	29,09%
	Normalidade	não	não	não

Verificou-se que, no ano de 1998, em todas as parcelas, os dados de produtividade nas diferentes grades amostrais apresentaram uma distribuição normal de probabilidade em nível de 5% de significância.

Para os anos de 1999 e 2000, somente a grade AASE 128 não apresentou uma distribuição normal de probabilidade. Também se verificou que, para o

ano de 2001, as grades AASE 128 e AASE 64 não apresentaram distribuição normal de probabilidade, o mesmo ocorreu para todas as grades amostrais do ano de 2002. Nas análises realizadas, foram considerados todos os valores, apesar de terem sido encontrados valores discrepantes na maioria das grades de amostragem.

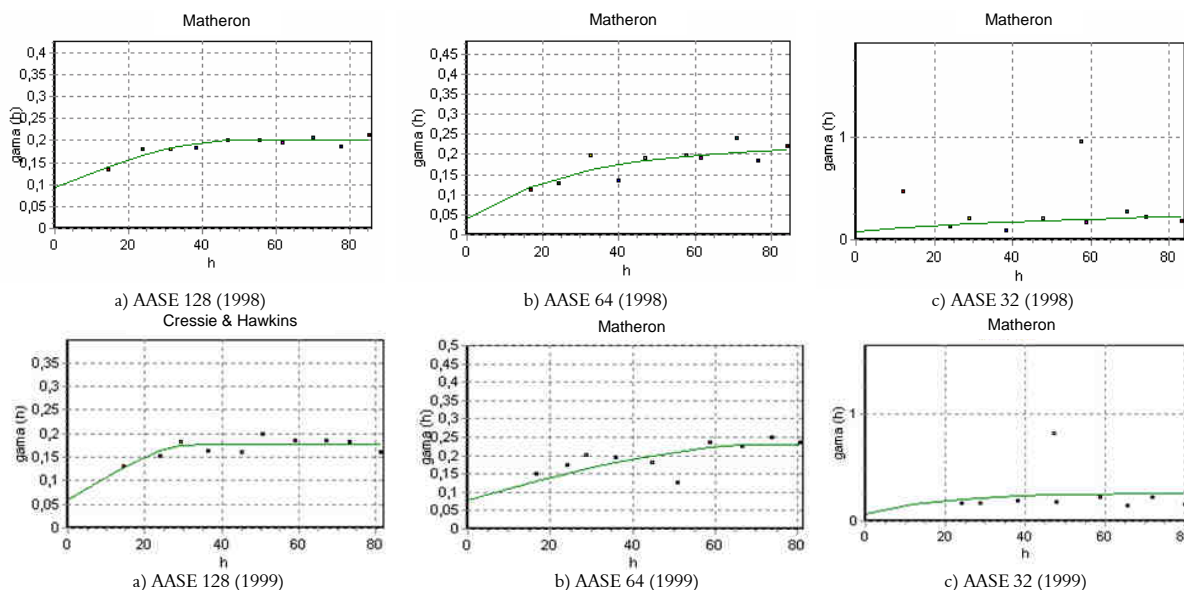
Os semivariogramas experimentais ajustados foram, em sua maioria, exponenciais e, em menor número, esféricos (Tabela 2 e Figura 3). O efeito pepita ( $C_0$ ), no ano 2002, para a grade AASE 128, teve valor de 0,027 que, comparado com as outras grades, apresentou menor valor. A grade AASE 32, do ano 2001, apresentou o maior efeito pepita ( $C_0$ ), com valor de 0,153. O alcance maior foi para o ano de 1998, na AASE 32, com 184,0 m, que representa o raio de dependência espacial entre elementos amostrais. Em

2000, o menor alcance está em AASE 32, com 11,0 m. O patamar variou entre 0,123 (AASE 128), para o ano de 2000, e 0,279 (AASE 32), em 2001. A dependência espacial no ano 1998, segundo o efeito pepita relativo ( $E$ ), apresentou-se forte (entre 15 e 25 %) com 17,1%, na grade AASE 64, o mesmo ocorreu no ano 2002, na grade AASE 128, com 17,6% (SOUZA et al., 1999). Para os casos restantes, foi considerada a média dependência espacial (entre 25 e 75%). As diferentes densidades amostrais (três grades) e o tipo de interpolador influenciaram a qualidade dos mapas temáticos; quanto maior o número de amostras, melhor o seu detalhamento (Figuras 4 a 18). Nota-se, em todos os anos estudados, uma semelhança entre as amostras nos interpoladores de krigagem e inverso da distância ao quadrado nos métodos AASE 64 e AASE 32.

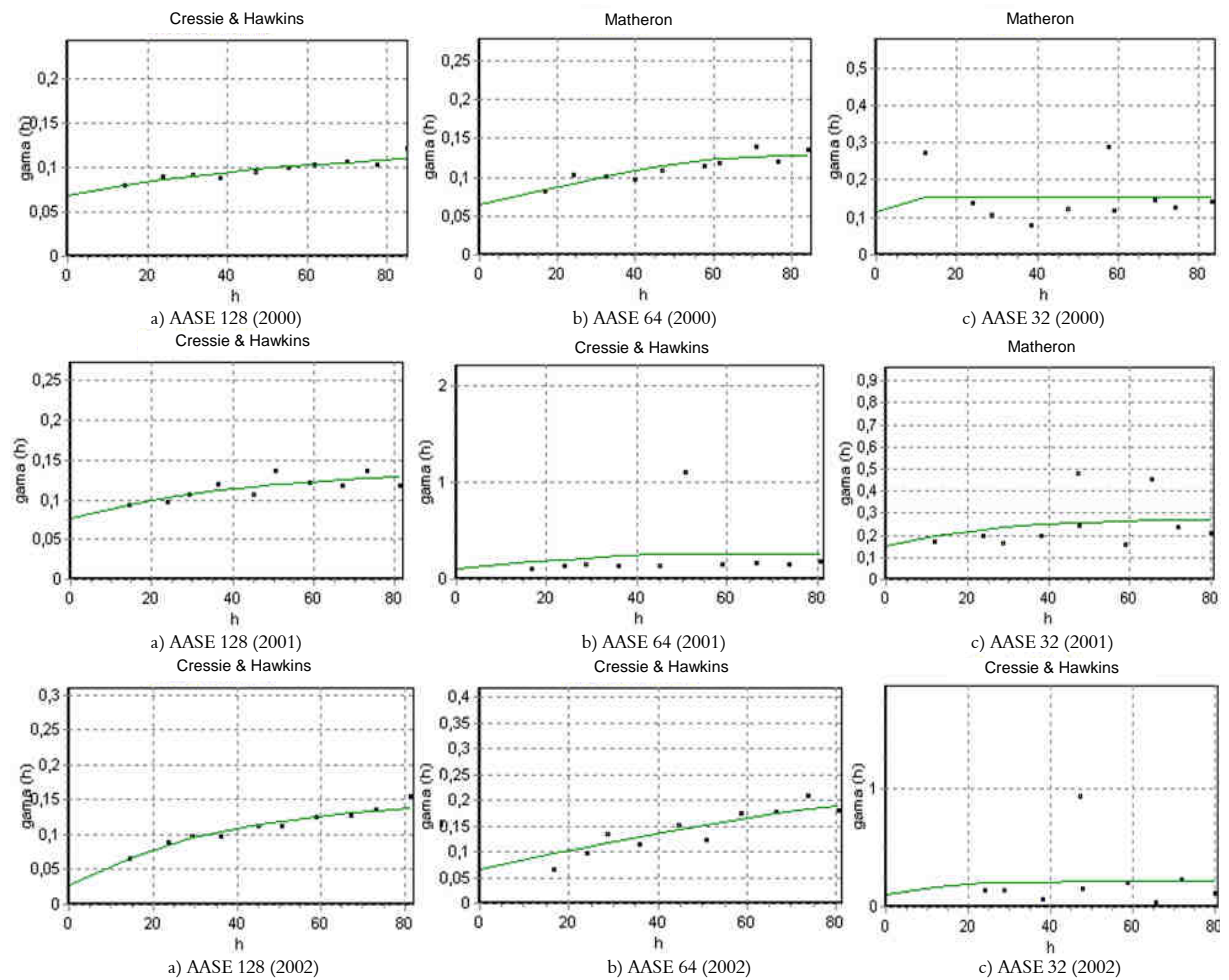
**Tabela 2.** Modelos e parâmetros dos semivariogramas para produtividade da soja, ano 1998 a 2002.

Ano	Método de amostragem	Modelo	Efeito Pepita ( $C_0$ )	Contribuição ( $C_1$ )	Alcance $a$ (m)	Patamar ( $C_0 + C_1$ )	$E = C_0 / (C_0 + C_1)$
1998	AASE 128	Esférico <sup>1</sup>	0,094	0,106	48,1	0,200	47,0%
	AASE 64	Exponencial <sup>1</sup>	0,038	0,184	89,0	0,222	17,1%
	AASE 32	Exponencial <sup>1</sup>	0,080	0,194	184,0	0,274	29,2%
1999	AASE 128	Esférico <sup>2</sup>	0,060	0,118	34,8	0,178	33,7%
	AASE 64	Esférico <sup>1</sup>	0,080	0,150	73,6	0,230	34,8%
	AASE 32	Exponencial <sup>1</sup>	0,065	0,195	59,9	0,260	25,0%
2000	AASE 128	Exponencial <sup>2</sup>	0,068	0,055	178,1	0,123	55,3%
	AASE 64	Esférico <sup>1</sup>	0,064	0,063	77,7	0,127	50,4%
	AASE 32	Exponencial <sup>1</sup>	0,115	0,041	11,0	0,156	73,7%
2001	AASE 128	Exponencial <sup>2</sup>	0,076	0,062	127,1	0,138	46,6%
	AASE 64	Exponencial <sup>2</sup>	0,064	0,063	77,7	0,127	50,4%
	AASE 32	Exponencial <sup>1</sup>	0,153	0,126	82,0	0,279	54,8%
2002	AASE 128	Exponencial <sup>2</sup>	0,027	0,126	113,7	0,153	17,6%
	AASE 64	Exponencial <sup>2</sup>	0,067	0,137	115,0	0,204	32,8%
	AASE 32	Exponencial <sup>2</sup>	0,104	0,111	37,7	0,215	48,4%

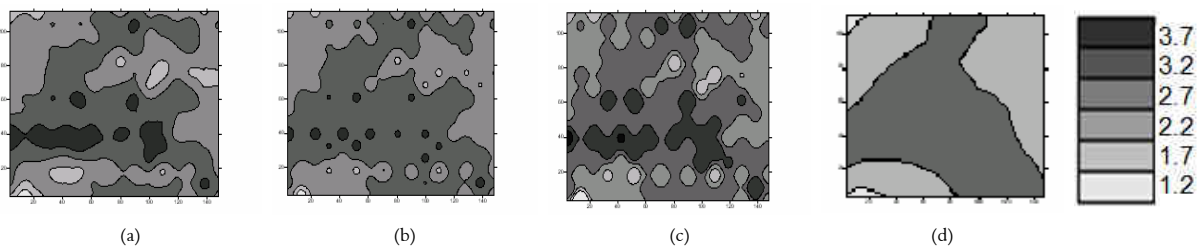
E: \*Coeficiente de Efeito Pepita Relativo; (1) estimador clássico de Matheron; (2) estimador de Cressie e Hawkins.



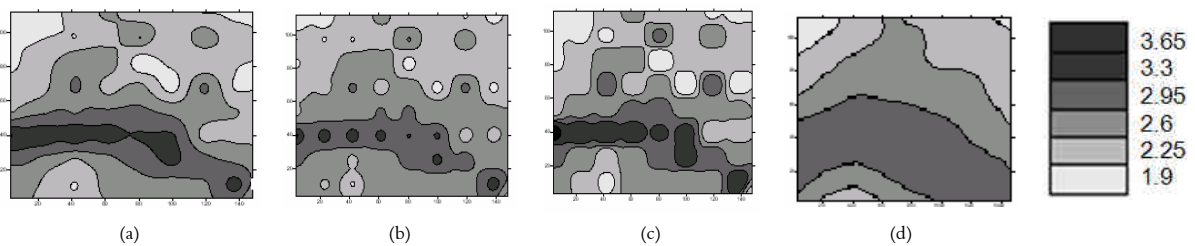
**Figura 3.** Semivariogramas omnidirecionais ajustados para a produtividade da soja, no ano de 1998 a 2002, para as grades AASE 128 (a), AASE 64 (b) e AASE 32 (c).



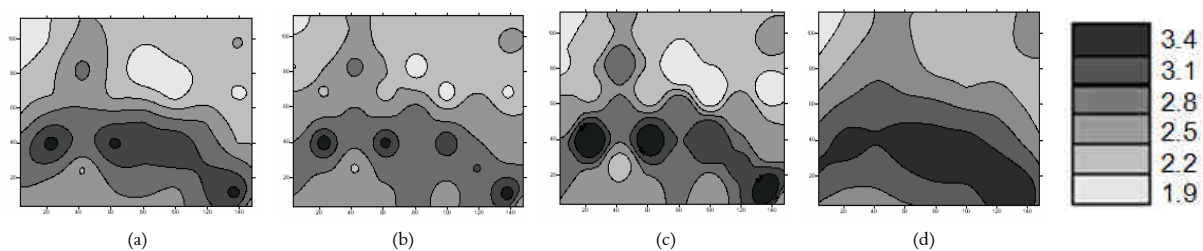
**Figura 3 (continuação).** Semivariogramas omnidirecionais ajustados para a produtividade da soja, no ano de 1998 a 2002, para as grades AASE 128 (a), AASE 64 (b) e AASE 32 (c).



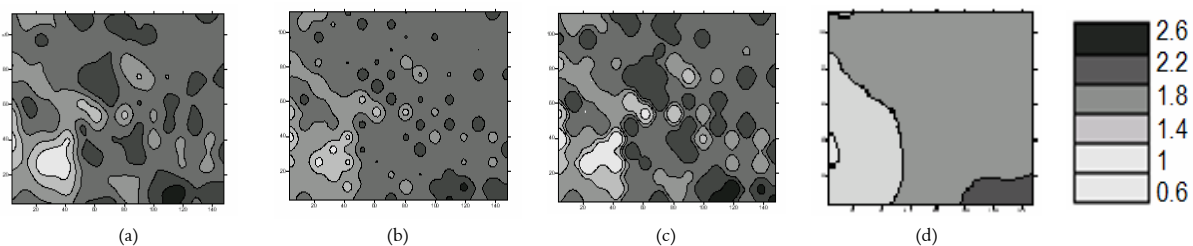
**Figura 4.** Mapas Temáticos da produtividade da soja ( $t\ ha^{-1}$ ), no ano de 1998, com tratamento AASE 128: a) AASE 128 krigagem; b) AASE 128 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 128 inverso da distância; d) AASE 128 polinomial.



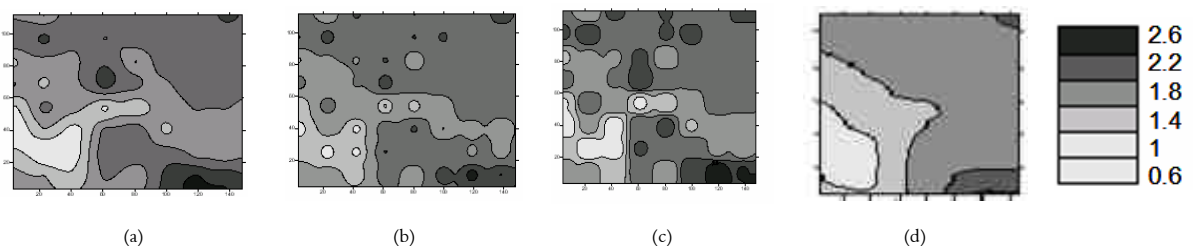
**Figura 5.** Mapas Temáticos da produtividade da soja ( $t\ ha^{-1}$ ), no ano de 1998, com tratamento AASE 64: a) AASE 64 krigagem; b) AASE 64 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 64 inverso da distância; d) AASE 64 polinomial.



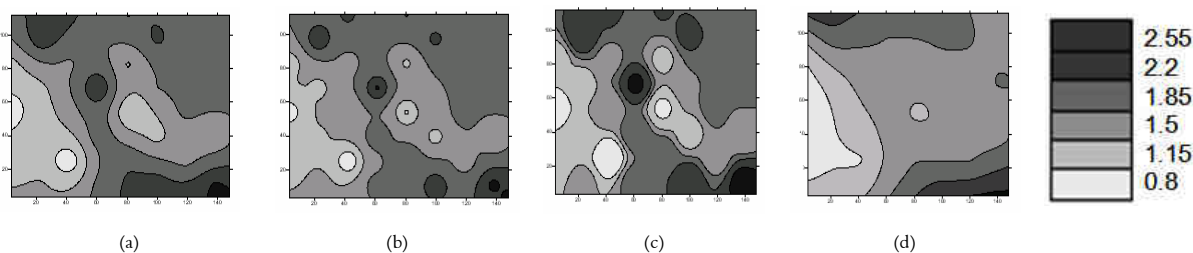
**Figura 6.** Mapas Temáticos da produtividade da soja ( $t\ ha^{-1}$ ), no ano de 1998, com tratamento AASE 32: a) AASE 32 krigagem; b) AASE 32 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 32 inverso da distância; d) AASE 32 polinomial.



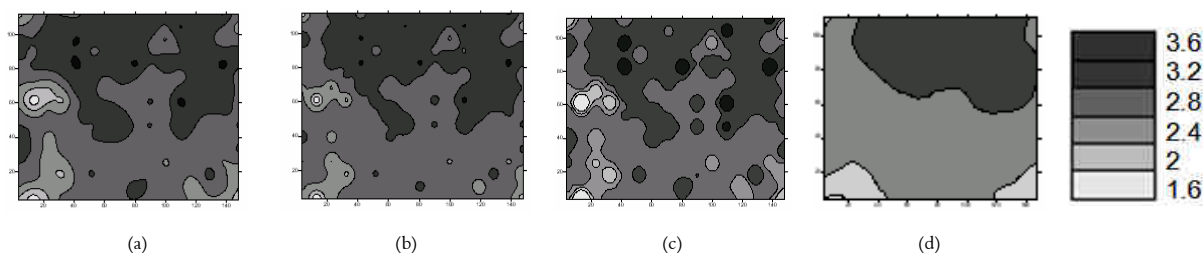
**Figura 7.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 1999, com tratamento AASE 128: a) AASE 128 krigagem; b) AASE 128 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 128 inverso da distância; d) AASE 128 polinomial.



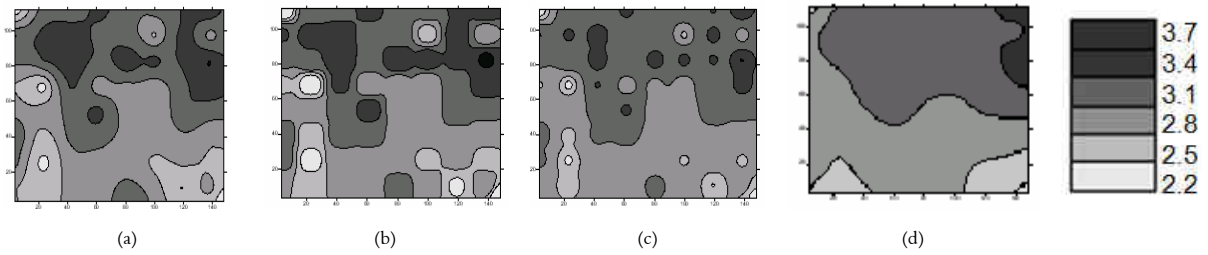
**Figura 8.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 1999, com tratamento AASE 64: a) AASE 64 krigagem; b) AASE 64 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 64 inverso da distância; d) AASE 64 polinomial.



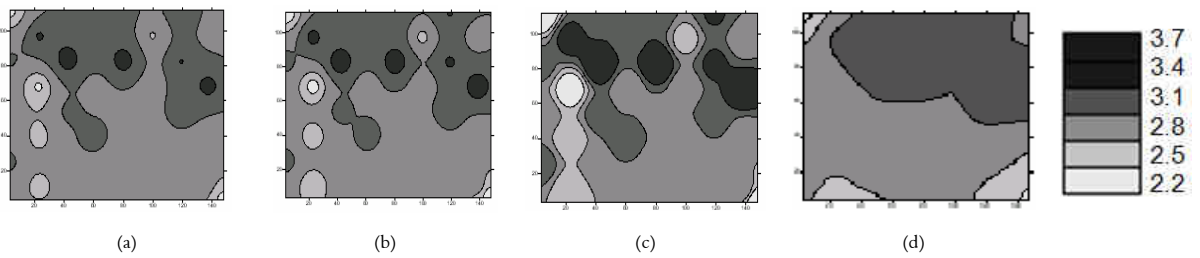
**Figura 9.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 1999, com tratamento AASE 32: a) AASE 32 krigagem; b) AASE 32 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 32 inverso da distância; d) AASE 32 polinomial.



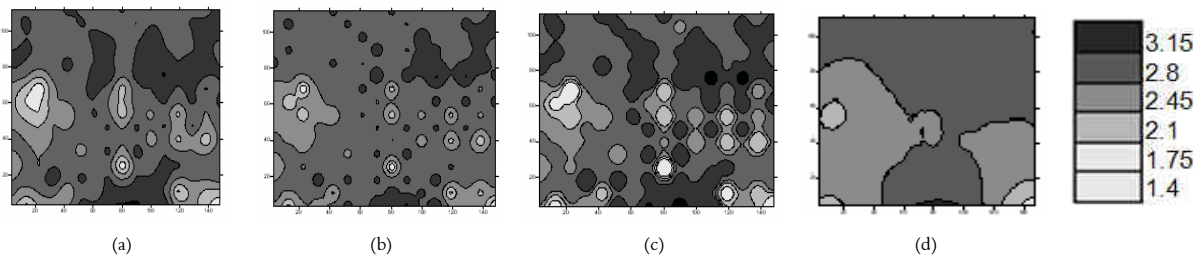
**Figura 10.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 2000, com tratamento AASE 128: a) AASE 128 krigagem; b) AASE 128 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 128 inverso da distância; d) AASE 128 polinomial.



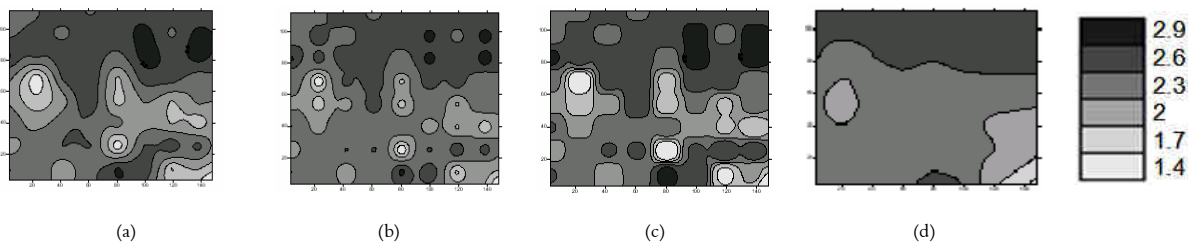
**Figura 11.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 2000, com tratamento AASE 64: a) AASE 64 krigagem; b) AASE 64 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 64 inverso da distância; d) AASE 64 polinomial.



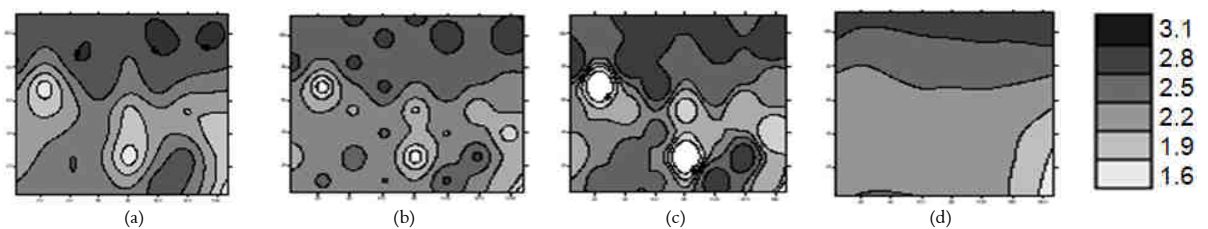
**Figura 12.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 2000, com tratamento AASE 32: a) AASE 32 krigagem; b) AASE 32 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 32 inverso da distância; d) AASE 32 polinomial.



**Figura 13.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 2001, com tratamento AASE 128: a) AASE 128 krigagem; b) AASE 128 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 128 inverso da distância; d) AASE 128 polinomial.

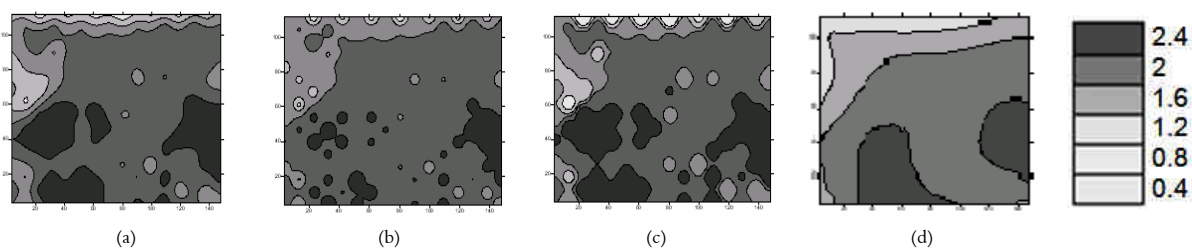


**Figura 14.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 2001, com tratamento AASE 64: a) AASE 64 krigagem; b) AASE 64 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 64 inverso da distância; d) AASE 64 polinomial.

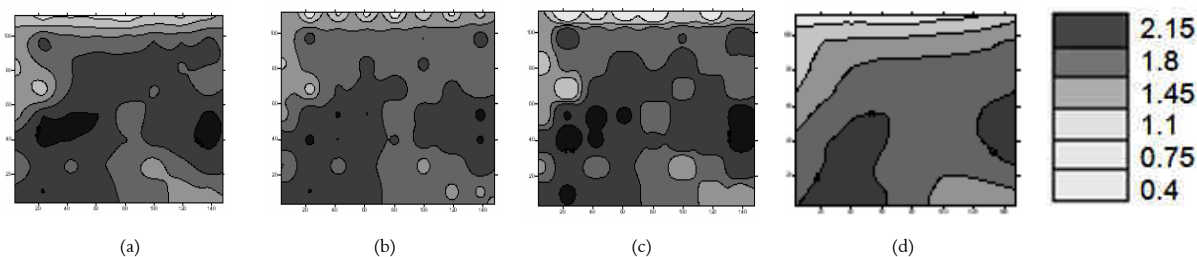


**Figura 15.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 2001, com tratamento AASE 32: a) AASE 32 krigagem; b) AASE 32 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 32 inverso da distância; d) AASE 32 polinomial.

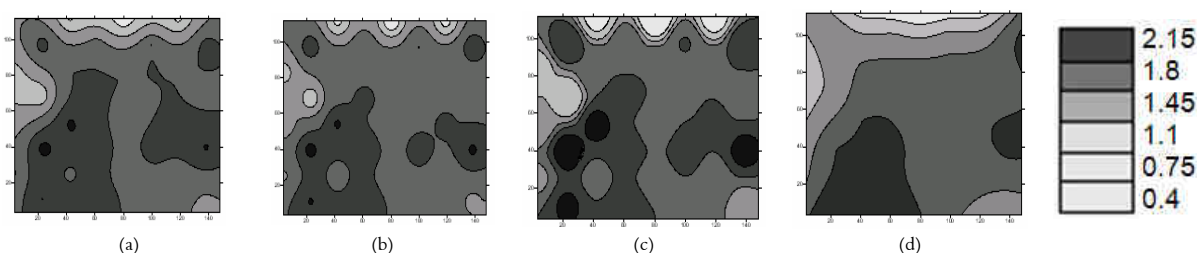




**Figura 16.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 2002, com tratamento AASE 128: a) AASE 128 krigagem; b) AASE 128 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 128 inverso da distância; d) AASE 128 polinomial.



**Figura 17.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 2002, com tratamento AASE 64: a) AASE 64 krigagem; b) AASE 64 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 64 inverso da distância; d) AASE 64 polinomial.



**Figura 18.** Mapas Temáticos da produtividade da soja, no ano de 2002, com tratamento AASE 32: a) AASE 32 krigagem; b) AASE 32 inverso da distância ao quadrado; c) AASE 32 inverso da distância; d) AASE 32 polinomial.

A média dos coeficientes de desvio relativo (CDR) dos mapas temáticos analisados ficou entre 3,6 e 10,2% (Tabela 3). Este valor representa a diferença média em módulo dos valores interpolados em cada grade em relação à grade considerada como referência, AASE 128 krigagem. Nota-se que o melhor resultado por tipo de interpolador foi para a krigagem (5,3%) seguido pelo inverso da distância ao quadrado (6,4%) e inverso da distância (7,1%), significando que os interpoladores inverso da distância ao quadrado, inverso da distância e polinomial desviaram em média 5,3; 6,4 e 7,1% dos valores interpolados pela grade AASE 128 krigagem.

Com relação ao tipo de amostragem, o melhor resultado foi da grade AASE 128 (3,7%), seguida pela AASE 64 (7,4%). O pior resultado foi para a grade AASE 32 (9,3%). A média da grade AASE 128 inverso da distância foi de 3,6% sendo a que mais se aproximou da AASE 128 krigagem, considerada como referência. Para as grades AASE 64 e AASE 32,

o interpolador inverso da distância ao quadrado obteve melhor desempenho que krigagem (menor CDR). Não foi possível comparar com dados da bibliografia, porque o coeficiente utilizado (CDR) calcula a diferença média em módulo dos valores interpolados em um mapa temático quando comparado com um mapa assumido como referência, e não como é realizado na bibliografia, estimando o erro médio da interpolação com os pontos amostrados.

**Tabela 3.** Valores médios dos coeficientes de desvio relativo (CDR, %) para os mapas da produtividade da soja de 1998 a 2002.

Tipo de Interpolador	Tipo de Amostragem			Média por tipo de interpolador
	AASE 128	AASE 64	AASE 32	
Krigagem	0 %	6,8 %	9,0 %	5,3 %
Inverso da distância ao quadrado	4,0 %	6,5 %	8,7 %	6,4 %
Inverso da distância	3,6 %	7,5 %	10,2 %	7,1 %
Polinomial	7,3 %	8,6 %	9,4 %	8,5 %
Média por tipo de amostragem	3,7 %	7,4 %	9,3 %	---

### Conclusão

Com base nos resultados obtidos nas análises, foi possível concluir que o coeficiente de desvio relativo (CDR), proposto neste trabalho, mostrou-se eficiente na comparação de mapas e possibilitou concluir que, para utilizar todo o potencial da krigagem e recomendar o método, é necessário ter muitos pontos para que um bom semivariograma seja construído.

A diminuição do número de amostras correspondeu a aumento no CDR e, portanto, a mapas mais dissimilares em relação à referência. A amostragem que obteve o melhor resultado utilizou o interpolador inverso da distância.

### Referências

- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991.
- GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. São Paulo: Fealq, 2002.
- JONES, N. L.; DAVIS, R. J.; SABBAH, W. A comparison of three-dimensional interpolation techniques for plume characterization. **Ground Water**, v. 41, n. 4, p. 411-419, 2003.
- LASLETT, G. M. Kriging and splines: An empirical comparison of their predictive performance in some applications. **Journal of the American Statistical Association**, v. 89, n. 426, p. 391-409, 1994.
- MILANI, L. ; SOUZA, E. G. ; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.
- PHILIPS, D. L.; LEE, E. H.; HERSTROM, A. A.; HOGSETT, W. E.; TINGEY, D. T. Use of auxiliary data for spatial interpolation of ozone exposure in southeastern forests. **Environmetrics**, v. 8, n. 1, p. 43-61, 1997.
- SOUZA, E. G.; JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; RIBEIRO, S. R. A.; SILVA, M. S.; OPAZO, M. A. U.; MOLIN, J. P.; OLIVEIRA, E. F.; NÓBREGA, L. H. P. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em um Latossolo Roxo distrófico na região de Cascavel - PR. **Engenharia Agrícola**, v. 8, n. 3, p. 80-92, 1999.
- SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.
- VIEIRA, S. **Estatística experimental**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- ZIMMERMAN, D.; PAVLIK, C.; RUGGLES, A.; ARMSTRONG, M. P. An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting. **Mathematical Geology**, v. 31, n. 4, p. 375-390, 1999.

*Received on June 13, 2007.*

*Accepted on February 22, 2008.*

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.