

VARIABILIDADE E CORRELAÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO

AZIZ RACHID JUNIOR¹, MIGUEL ANGEL URIBE-OPAZO², EDUARDO GODOY DE SOUZA³,
JERRY ADRIANI JOHANN⁴

1 Engº Civil, Mestre Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do oeste do Paraná UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GGEA, Cascavel - PR.

2 Estatístico, Prof. Associado, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GGEA, Cascavel, PR. Fone: (0XX45) 3220-3228, mopazo@unioeste.br

3 Engº Mecânico, Prof. Associado, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GROSAP, Cascavel, PR.

4 Engenharia Agrícola, Prof. Assistente, Ciências Exatas e Tecnológicas da UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GGEA, Cascavel - PR.

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

RESUMO: As adequações da utilização de insumos dentro das reais necessidades de cada tipo de solo e para cada tipo de cultura são fundamentais para a sustentabilidade do setor, tanto no nível econômico como no ambiental. Para que isto aconteça é importante conhecer a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo, em suas características químicas, mapeá-las e correlacioná-las com a produtividade, evitando a aplicação desnecessária de nutrientes, o que evita a saturação das áreas de plantio e despesas desnecessárias, contribuindo também para a redução dos impactos ambientais causados. Neste trabalho foram analisados os dados dos anos de 1998 e 1999 de uma área experimental de 1,74 ha que foi subdividida em 256 parcelas, pertencente a COODETEC em Cascavel-PR. O objetivo foi fazer, através de métodos geoestatísticos, análises espaciais da produtividade da soja com os principais atributos químicos do solo (P^+ , K^+ , MO, pH, S, e V%). Como resultados, obteve-se os mapas da produtividade da cultura e das condições químicas do solo. Os mapas das condições químicas do solo foram espacialmente correlacionadas com a produtividade da soja, obtendo-se como resultado a verificação de quanto à deficiência ou não de determinados níveis de atributos químicos do solo, afetam na baixa ou alta produtividade da cultura. Alguns atributos não mostraram correlação significativa e outros apresentaram fraca correlação com a produtividade, provavelmente porque o solo apresentava um bom padrão de fertilidade. Assim, em função disto, o gerenciamento localizado da aplicação dos nutrientes poderá contribuir no sentido de melhor distribuir os fertilizantes no campo, colocando o necessário em cada parte do talhão estudado.

PALAVRAS-CHAVE: geoestatística, semivariogramas, mapas temáticos.

SPATIAL VARIABILITY AND CORRELATION OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN THE SOYBEAN YIELD FOR PRECISION AGRICULTURE

ABSTRACT: The adequacy of the use of agricultural inputs inside of the real needs of each soil and each culture type are fundamental for the sustainability of the agriculture, so much in the economical as in the environmental level. So that this happens is important to know the spatial and temporal variability of the soil attributes, in their chemical characteristics, to map them and to correlate them with the yield, avoiding the unnecessary application of nutrients, what avoids the saturation of the planting areas and unnecessary expenses, also contributing to the reduction of the environmental impacts. In this work the data of the years of 1998 and 1999 of an experimental area (1,74 ha), subdivided in 256 plots, were analyzed. That area belongs to the COODETEC Company located in Cascavel-PR, Brazil. The objective was to carry, through geostatistics methods, spatial analyses of the soybean yield with the soil main chemical attributes (P^+ , K^+ , organic matter, pH, S, and soil base saturation). As results, it was obtained the culture yield maps and the soil chemical conditions maps. The maps of the soil chemical conditions were spatially correlated with the soybean yield, as resulted the verification of how much the deficiency or not of determined levels of soil chemical attributes can affect in low or high culture yield. Some attributes did not show significant correlation and others presented weak correlation with the yield, probably because the soil presented good fertility. Thus, in function of this, the located management of the application of the nutrients will be able to contribute in the direction of better distributing fertilizers in the field, placing the necessary one in each part of the area studied.

KEY WORDS: geostatistics, semivariogram, thematic maps.

INTRODUÇÃO: Com o emprego de novas tecnologias, a agricultura nacional tem se desenvolvido de uma forma bastante intensa, obtendo grandes avanços, buscando cada vez mais aumento de produtividade. Tais avanços acontecem em função da evolução de outros setores tecnológicos, bem como a aplicação de novos conceitos de manejo do solo, objetivando a identificação da variabilidade espacial e no tempo áreas de produção e, permitindo um melhor gerenciamento dos processos produtivos a luz da variabilidade detectada. A adequação da utilização de insumos dentro das reais necessidades de cada tipo de solo e para cada tipo de cultura são fundamentais para a sustentabilidade do setor, tanto no nível econômico como no ambiental. Com a utilização de insumos de uma forma racional tem-se a redução dos impactos causados pelo uso excessivo dos mesmos nas áreas de plantio. O objetivo deste trabalho foi fazer análise espacial da produtividade da soja com as condições dos atributos químicos do solo nos anos de 1998 e 1999 em uma área agrícola, por meio da utilização dos métodos geostatísticos.

MATERIAL E MÉTODOS: O levantamento dos dados foi realizado em uma área da COODETEC - Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. A referida área é de 1,74 ha, tem solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, e está localizado na BR 467 km 98, em Cascavel - PR. Na coleta do solo para análise foram demarcados 256 pontos conforme uma malha de pontos de 7,2 x 7,2 m. A área experimental ainda foi subdividida para fins de tratamento localizado, caracterizando a prática de agricultura de precisão em 128 parcelas com manejo químico localizado (CML) e 128 parcelas sem manejo químico localizado (SML). Foram realizados levantamentos dos principais atributos químicos do solo, determinados em laboratórios, em pontos georeferenciados. Estudada a estrutura de dependência espacial de cada atributo químico no software GEOCAC, realizou-se a interpolação por krigagem ordinária das observações não amostradas no software SURFER 6, resultando em mapas temáticos dos atributos do solo e a produtividade da soja, correspondente aos anos 1998 e 1999. A distância máxima da área em estudo foi de 190,08 m. Os atributos químicos do solo estudados foram: teor de fósforo (P⁺) [mg dm⁻³], teor de potássio (K⁺) [cmol_c dm⁻³], teor de matéria orgânica (MO) [g dm⁻³], potencial de hidrogênio (pH) [CaCl₂], soma das bases (S) [cmol_c dm⁻³] e saturação das bases (V%) [%], assim como produtividade da soja (Prod) [Mg ha⁻¹]. Os mapas temáticos construídos apresentaram as condições químicas dessa área, que foram comparados com os níveis regionais do IAPAR (1998). Correlacionaram-se espacialmente os atributos químicos do solo com a produtividade da soja pelo semivariograma cruzado. Desta maneira, houve a possibilidade de verificar se em áreas com deficiência de produtos químicos, havia maior ou menor produtividade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1, são apresentadas as estatísticas dos atributos químicos do solo e da produtividade da soja. Para os dados do ano de 1998-SML, constatou-se existir homogeneidade dos dados do potencial de hidrogênio (pH) uma vez que o coeficiente de variações (CV) tem um valor abaixo de 10% (GOMES, 2000). No ano de 1999, tanto no sistema SML como no CML, os atributos químicos que apresentaram homogeneidade foram: matéria orgânica (MO) e potencial de hidrogênio (pH), uma vez que os seus CV foram menores que 10%. Pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilks, ao nível de 5% de significância, verificou-se que os atributos: matéria orgânica (MO), saturação das bases (V%) e somas das bases (S) nos anos de 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML apresentaram distribuições normais.

Tabela 1. Análise dos dados na área experimental nos anos 1998-SML, 1999-SML e 1999-CML

Variáveis	N	Média	D.P.	CV(%)	Variáveis	N	Média	D.P.	CV(%)	Variáveis	N	Média	D.P.	CV(%)
P ⁺	256	4,03	1,28	31,81	P ⁺	128	3,40	1,40	41,12	P ⁺	128	3,32	1,11	33,49
K ⁺	256	0,33	0,09	26,21	K ⁺	128	0,26	0,08	32,10	K ⁺	128	0,32	0,08	26,64
MO*	256	52,55	6,27	11,94	MO *	128	44,38	3,43	7,74	MO*	128	44,46	3,01	6,76
pH	256	5,11	0,46	8,98	pH	128	5,46	0,46	8,43	pH	128	5,52	0,41	7,42
S	256	8,23	1,93	23,40	S	128	7,75	1,50	19,32	S	128	7,94	1,43	18,04
V%*	256	54,85	12,30	22,43	V%*	128	60,57	10,52	17,37	V%*	128	61,70	9,25	14,99
Prod. *	256	2,75	0,49	17,86	Prod	128	2,17	0,42	19,57	Prod	128	2,14	0,37	17,17

D.P.: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; N: número de amostras; *: os dados apresentam distribuição normal ao nível de 5% de significância pelo teste de Shapiro-Wilks.; SML: Sem Manejo Localizado; CML: Com Manejo Localizado.

Para a análise da estrutura de dependência espacial dos dados utilizou-se a semivariância estimada de Matheron (1963), para as variáveis que apresentam distribuição normal de probabilidade e a semivariância estimada de Cressie & Hawkins (1980), para as variáveis que não apresentam

distribuição normal de probabilidades (CRESSIE, 1993). Na Tabela 2 são apresentados os modelos teóricos ajustados aos semivariogramas experimentais e seus respectivos parâmetros estimados. Nas Figuras 1 a 7 foram construídos mapas temáticos utilizando a krigagem ordinária. Estes mapas temáticos foram reclassificados segundo IAPAR (1998) e EMBRAPA (2000).

Tabela 2. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados para as variáveis do ano 1998-99

1998 SML	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	a	1999 SML	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	a	1999 CML	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	a
K ⁺	<i>Esf</i> *	0,002	0,008	37,7	K ⁺	<i>Esf</i> *	0,002	0,008	49,3	K ⁺	<i>Esf</i> *	0,002	0,008	45,1
P ⁺	<i>Gaus</i> *	0,6	1,37	60,0	P ⁺	<i>Esf</i> *	0,67	1,19	34,8	P ⁺	<i>Gaus</i> *	0,71	1,11	71,8
PH	<i>Gaus</i> *	0,05	0,23	82,6	pH	<i>Gaus</i> *	0,08	0,21	82,6	pH	<i>Exp</i> *	0,08	0,13	74,6
MO	<i>Esf</i> **	16,04	46,66	100,0	MO	<i>Exp</i> **	6,83	11,80	39,1	MO	<i>Gaus</i> *	6,11	9,97	100,0
S	<i>Esf</i> *	1,56	3,64	30,4	S	<i>Exp</i> *	1,35	2,30	48,0	S	<i>Exp</i> *	1,26	1,89	55,6
V%	<i>Esf</i> **	70,49	156,65	76,8	V%	<i>Esf</i> **	57,44	94,79	83,4	V%	<i>Esf</i> **	46,45	114,5	109,3
Prod	<i>Gaus</i> **	0,19	0,23	76,8	Prod	<i>Esf</i> *	0,16	0,21	76,8	Prod	<i>Gaus</i> *	0,15	0,19	149,2

Estimador de Cressie & Hawkins (*); Estimador de Matheron (**); Co: efeito peripita; Co+C₁: Patamar; a: Alcance. *Esf*: Modelo Esferido; *Gaus*: Modelo Gaussiano e *Exp*: Modelo exponencial.

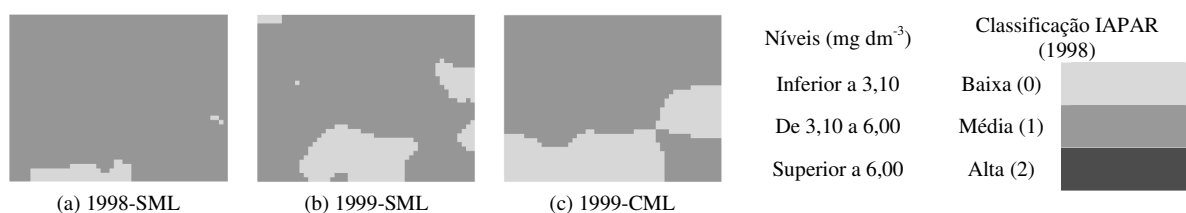


Figura 1. Distribuição espacial reclassificada do Fósforo (P⁺).

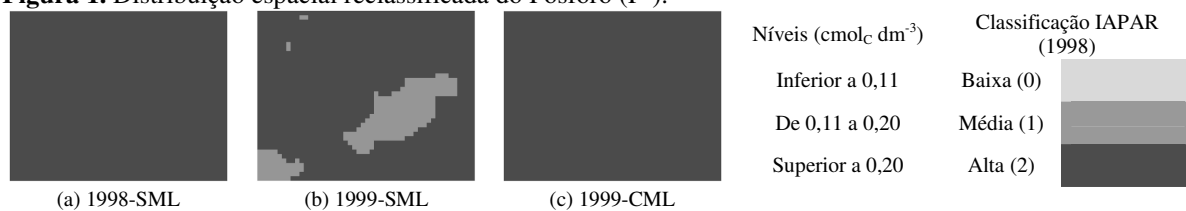


Figura 2. Distribuição espacial reclassificada do Potássio (K⁺).

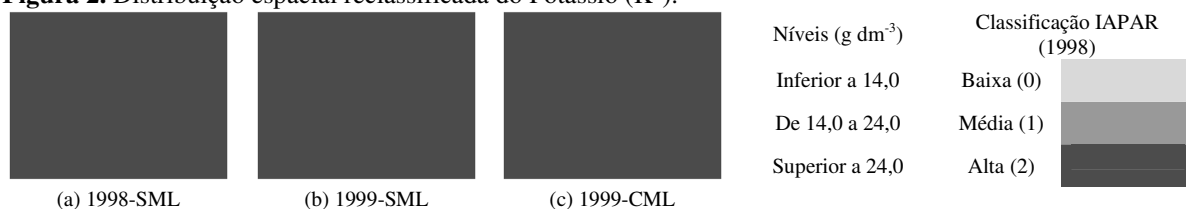


Figura 3. Distribuição espacial reclassificada da Matéria Orgânica (MO).

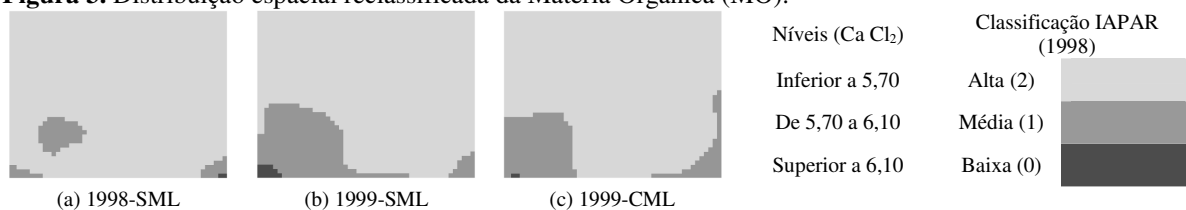


Figura 4. Distribuição espacial reclassificada do Potencial de Hidrogênio (pH).



Figura 5. Distribuição espacial reclassificada da Soma de Bases (S).



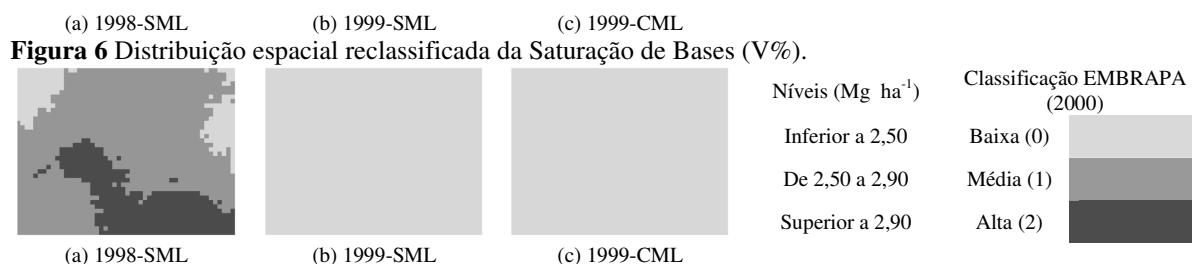


Figura 7. Distribuição espacial reclassificada da Produtividade (Prod).

Após a confecção dos mapas reclassificados na Tabela 5 quantificou-se o percentual (%) referente a cada um dos três níveis de classificação (baixo, médio, alto) em cada mapa gerado.

Tabela 5. Percentual da área nos níveis de classificação do IAPAR (1998) e EMBRAPA (2000)

Variáveis e Períodos	Nível Baixo (0)	Nível Médio (1)	Nível Alto (2)
P⁺ (mg dm⁻³)	< 3,10	De 3,10 a 6,00	> 6,00
1998-SML	4,3%	95,7%	-
1999-SML	18,2%	81,8%	-
1999-CML	27,8%	72,2%	-
K⁺ (cmol_c dm⁻³)	< 0,11	De 0,11 a 0,20	>0,20
1998-SML e 1999-CML	-	-	100%
1999-SML	-	14,6%	85,4%
MO (g dm⁻³)	< 14,0	De 14,0 a 24,0	> 24,0
1998-SML; 1999-SML e 1999-CML	-	-	100%
pH (Ca Cl₂)	> 6,10	De 5,70 a 6,10	< 5,70
1998-SML	0,1%	5,2%	94,7%
1999-SML	0,8%	17,1%	82,0%
1999-CML	0,1%	15,6%	84,3%
S (cmol_c dm⁻³)	< 2,61	De 2,61 a 5,40	>5,40
1998-SML; 1999-SML e 1999-CML	-	-	100%
V (%)	< 51,0	De 51,0 a 70,0	>70,0
1998-SML	14,7%	82,7%	2,6%
1999-SML	6,5%	88,2%	5,3%
1999-CML	-	96,2%	3,8%
Produtividade (Mg ha⁻¹)	< 2,50	De 2,50 a 2,90	>2,90
1998-SML	10,8%	67,6%	21,6%
1999-SML e 1999-CML	100%	-	-

No estudo da correlação espacial no ano 1998-SML apresentaram-se fraca as correlações entre a produtividade da soja com os atributos K⁺, pH, e MO. No ano de 1999-SML as correlações espaciais apresentaram-se também fraca entre a produtividade da soja com S e V%. No ano de 1999-CML apresentou-se correlação espacial fraca entre a produtividade da soja com pH, S e V%. Os outros atributos não apresentarão correlação espacial com a produtividade.

CONCLUSÕES: Os mapas temáticos gerados e reclassificados permitem uma melhor visualização espacial de cada variável, facilitando desta forma o gerenciamento da propriedade. Como os atributos químicos analisados apresentaram-se com altos teores, observa-se que a área tem um bom padrão de fertilidade e o gerenciamento localizado da aplicação dos nutrientes (CML) pode diminuir os gastos como fertilizantes, aumentando assim, a lucratividade da área, visto que provavelmente algumas regiões da área não necessitam de nutrientes.

AGRADECIMENTOS: a CNPq, Fundação Araucária e COODETEC pelo apoio financeiro e técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data**. New York: Editora: John Wiley & Sons, 1993. 898 p.
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Agricultura de precisão para a recomendação de adubação da soja sob plantio direto. Publicado no site em 07/08/2000, disponível em <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj04/proj04.html>. Acesso em 29/07/2004.

GOMES, F.P. Estatística Experimental. 14 ed. 2000, 412p.

IAPAR - INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ - Níveis de Interpretação de Resultados, In: Análises do Solo; tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados. EMATER-Paraná, Curitiba, 1998. 5ª edição. 64p.