

## **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e seus efeitos sobre parâmetros de produção de arroz vermelho**

Herlon Bruno Ferreira Barreto<sup>1</sup>, Neyton de Oliveira Miranda<sup>2</sup>, José Francismar de Medeiros<sup>3</sup>,  
José Flaviano Barbosa de Lira<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Mestre em Irrigação e Drenagem – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Bolsista FAPEMIG, Departamento de Engenharia-DEG, Universidade Federal de Lavras, MG. E-mail: foboca@hotmail.com

<sup>2</sup>Eng. Agr. D. Sc., Professor do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas – UFERSA

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo. D. Sc., Professor do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas – UFERSA

<sup>4</sup>Eng. Agr., Mestrando em Manejo de Água e Solo - UFERSA, Bolsista-DTI

**Resumo:** O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo serve de subsídio, para a determinação de estratégias específicas de manejo que aperfeiçoam a produção agrícola. O objetivo do trabalho foi o de estudar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo, e correlacioná-los com a produção do arroz vermelho no Vale do Apodi-RN. O trabalho foi realizado em duas propriedades no município de Apodi-RN, o solo é Neossolo Flúvico, as áreas amostradas foram subdivididas em quinze subáreas, em cada ponto de amostragem as variáveis dependentes foram: o número de panículas, massa de 100 grãos e produtividade; as independentes foram às obtidas nas análises químicas do solo. O coeficiente de correlação de Spearman foi determinado entre as variáveis dependentes e as independentes, foram gerados semivariogramas para caracterizar a dependência espacial e também foram gerados mapas de isozonas. As variáveis: fósforo, potássio, manganês, ferro e matéria orgânica, se correlacionaram positivamente com os componentes de produção e negativamente: cálcio, magnésio, sódio, zinco, cobre e ferro. As variáveis: cálcio, fósforo, sódio, ferro, matéria orgânica, cobre e manganês, apresentaram dependência espacial, variando de forte a moderada.

**Palavras-chave:** atributos químicos do solo, dependência espacial, correlação

### **Spatial variability of soil chemical properties and their effects on production parameters of red rice**

**Abstract:** The knowledge of the spatial variability of soil attributes serves subsidy, for the determination of specific management strategies that improve agricultural production. The objective was to study the spatial variability of soil chemical properties, and correlate them with the production of red rice in Valley Apodi-RN. The study was conducted in two properties in the municipality of Apodi-RN, the soil is Fluvic, the areas sampled were divided into fifteen sub-areas in each sampling point the dependent variables were the number of panicle, 100-grain mass and productivity, the independent were those obtained from chemical analysis of the soil. The Spearman correlation coefficient was determined between the

dependent and independent variables were generated semivariogram to describe the spatial dependence and were also generated maps isozonas. Variables: phosphorus, potassium, manganese, iron and organic matter were positively correlated with yield components and negatively: calcium, magnesium, sodium, zinc, copper and iron. Variables: calcium, phosphorus, sodium, iron, organic matter, copper and manganese, spatial dependence, ranging from strong to moderate.

**Key words:** soil chemical properties, spatially dependent correlation

### Introdução

O arroz é o cereal mais cultivado e consumido pelo homem em todos os continentes (Alonso et al., 2005). Porém, no Brasil, onde predomina a produção do arroz branco, o arroz-vermelho é o tipo de arroz especial que apresenta maior importância (Pereira e Ramos, 2004).

Atualmente a variabilidade do solo tornou-se uma preocupação dos pesquisadores por proporcionar diferenças no desenvolvimento e na produtividade das culturas. Segundo Vieira et al. (2010), a variabilidade espacial do solo, sempre existiu e deve ser considerada toda vez que for realizada a amostragem de campo, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo. Em grande parte dos estudos e aplicações práticas o interesse da análise geostatística não se limita à obtenção de um modelo de dependência espacial, desejando-se também prever valores em pontos não amostrados, onde interesse pode estar em um ou mais pontos específicos da área ou em obter uma malha de pontos interpolados que permitam visualizar o comportamento da variável através de um mapa de isolinhas ou de superfície, para se obter esse maior detalhamento da área em estudo é necessária a aplicação de um método de interpolação, onde o interpolador mais utilizado e indicado é a Krigagem (VIEIRA, 2000).

O conhecimento mais detalhado da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo poderá servir de subsídio, para a determinação de estratégias específicas de manejo que aperfeiçoem a produção agrícola.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi o de estudar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo, e correlacioná-los com a produtividade de arroz vermelho irrigado na região do Vale do Apodi, visando fornecer subsídios para um posterior planejamento da produção.

### Material e métodos

O trabalho foi realizado em duas propriedades no município de Apodi-RN, no ano agrícola 2011-2012, na região conhecida como várzea do rio Apodi, compreendendo a área de abrangência da Associação dos Produtores de Arroz do Vale do Apodi. A Área1, do proprietário Francisco Edilson (5° 43' 33''S e 37° 45' 52''W) se localizava na comunidade Santa Rosa; a Área 2, do proprietário João Batista (5° 40' 19''S e 37° 44' 4''W) se localizava na comunidade Reforma.

O clima predominante é do tipo BSw'h' de Köppen, caracterizado como clima muito quente e semiárido, com a estação chuvosa compreendida entre verão e outono e precipitação média anual ao redor de 700 mm. As temperaturas máximas ocorrem de novembro a dezembro (28,3 °C) e as mínimas (23,5 °C) ocorrem em agosto. A umidade relativa do ar média anual está ao redor de 68% (Lima, 2007).

O solo é Neossolo Flúvico e, em alguns locais, o Neossolo Quartzarênico, devido à influência do afloramento do arenito, onde esta região está situada. Isto facilita a possibilidade de encontrar água no subsolo, onde os poços amazonas são facilmente perfurados, pois abaixo do Neossolo Flúvico encontra-se o afloramento do arenito, com teor de areia bastante elevado, o que favorece uma elevada vazão destes poços. O relevo nas áreas estudadas é plano, o que favorece a irrigação por inundação (Nunes, 2008).

As áreas amostradas foram subdivididas em quinze subáreas demarcadas por piquetes numerados, das quais foram determinadas características químicas do solo. As amostragens e coletas foram realizadas nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, segundo malhas de amostragem com espaçamento regular, o qual foi de 20 x 20 m, na Área1, e de 10 x 10 m na Área 2. As amostras foram referenciadas, segundo coordenadas cartesianas (x,y), permitindo assim o uso da geoestatística para estudar a variabilidade espacial das características.

As análises químicas do solo para as duas áreas em estudo foram realizadas no Laboratório de Solo, Água e Planta da UFERSA seguindo recomendações da EMBRAPA (1997). Entre os macronutrientes determinados, os cátions trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) foram extraídos com solução de KCl e determinados através de complexometria, enquanto que  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  foram extraídos através de solução de HCl e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e determinados por espectrofotometria de chama. O fósforo disponível (P) foi extraído pela solução Mehlich-1 e determinado por fotolorimetria, enquanto que os micronutrientes ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) que também foram obtidos empregando o extrator Mehlich-1 foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O teor de matéria orgânica (MO) presente no solo foi

determinado após oxidação, utilizando-se solução de dicromato de potássio como agente oxidante (Yeomans e Bremner, 1988).

Em cada ponto de amostragem foram medidos os componentes de produção do arroz vermelho. Para isto, delimitou-se uma área de 0,5 x 0,5 m onde foram cortadas todas as panículas e, após, foram determinados o número de panículas por área, a massa de 100 grãos e a produtividade. A umidade dos grãos foi corrigida para 13 %.

A estatística descritiva foi empregada para, através das medidas da média, desvio padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação (CV), analisar o comportamento geral dos dados e identificar possíveis valores discrepantes. O nível de variabilidade das características analisadas foi classificado conforme o coeficiente de variação (CV), em baixo para CV menor que 15 %, médio para CV entre 15 e 50 % e alto para CV acima de 50 % (Warrick, 1998). A aderência dos dados à distribuição normal foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ).

O coeficiente de correlação de Spearman foi determinado entre as variáveis dependentes e as independentes, para isto considerou-se correlações até o nível de 10 % de probabilidade. As variáveis dependentes foram: o número de panículas, massa de 100 grãos e produtividade; as independentes foram às obtidas nas análises químicas do solo.

As análises estatísticas e geoestatísticas foram realizadas com o auxílio de programas computacionais como o software R, versão 2.3.1, GS+ versão Beta (1998) e planilha eletrônica.

Para as variáveis dependentes e para as independentes que apresentaram correlação, foram gerados semivariogramas para caracterizar a dependência espacial. A escolha do modelo teórico que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi baseada na menor soma de quadrado de resíduos (RSS) e maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), e a confiança do modelo escolhido foi testada pela validação cruzada.

O grau de dependência espacial foi classificado conforme a relação efeito pepita/patamar descrito por Cambardella et al. (1994). Também foram gerados mapas de isozonas obtidos através de interpolação por Krigagem, quando apresentaram dependência espacial, e interpolação pelo inverso do quadrado da distância, quando a dependência espacial não foi observada.

## **Resultados e discussão**

A estatística descritiva dos componentes de produção das áreas de produção de arroz vermelho está exposta na Tabela 1, na qual estão apresentados os valores de produtividade

(PROD), número de panículas (PAN) e massa de 100 grãos (P100). Analisando de forma geral os componentes de produção das duas áreas, observa-se que, para todas as variáveis, as médias da Área 1 apresentam-se superiores às encontradas na Área 2. Observa-se também que os coeficientes de variação das duas áreas não diferem quanto à classificação de média ou baixa.

O número de panículas é um dos componentes mais importantes na avaliação da produtividade na cultura do arroz, segundo Costa et al. (2000), que encontrou número médio de 136 panículas por 0,25 m<sup>2</sup> de arroz branco e em condições edafoclimáticas diferentes, porém servem como referência para discutir os resultados da Área 1 (Tabela 1), enquanto que na Área 2 os valores obtidos são inferiores. Os resultados obtidos para número de panículas são superiores aos encontrados por Nunes (2008), que trabalhou nas mesmas condições edafoclimáticas, da mesma forma que Diniz Filho et al. (2011). O coeficiente de variação do número de panículas é classificado como médio (25,85 % e 19,29 %) para as Áreas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos componentes de produção das Áreas 1 e 2, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho.

Variável	Média		DP		Mínimo		Máximo		CV (%)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
PAN	105,27	85,8	27,21	16,55	66	67	156	116	25,8	19,3
P100 (g)	2,81	1,96	0,2	0,2	2,58	1,73	3,4	2,35	6,9	10,0
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	7.527	3.83	1.79	1.08	4.90	2.18	10.986	5.25	23,7	28,2

Onde: PAN = número de panículas; P100 = massa de 100 grãos; PROD = produtividade; DP desvio padrão; CV coeficiente de variação; A1 = Área de F. Edilson; A2 = Área de João Batista.

A massa de 100 grãos (P100) é outra componente de forte influência sobre a produtividade. Os valores considerados adequados para tal componente estão ao redor de 2,5 g, segundo Costa et al. (2000), sendo que na Área 1 a média encontrada (2,81 g) é superior, enquanto que na Área 2 é inferior (1,96 g). Valores próximos a estes foram obtidos por Nunes (2008) e por Diniz Filho et al. (2011).

Os valores de produtividade diferem nas duas áreas, sendo maiores na Área 1 (7.527 kg ha<sup>-1</sup>) do que na Área 2 (3.832 kg ha<sup>-1</sup>). Resultados semelhantes foram encontrados por Nunes (2008). A produtividade do arroz vermelho no Vale do Apodi – RN (3.550 kg ha<sup>-1</sup>) está acima da média estadual (2.502 kg ha<sup>-1</sup>) e abaixo da nacional que é de 3.868 kg ha<sup>-1</sup>

(IBGE, 2005). Trabalhos de Fageria et al. (2007) e Costa et al. (2000) relatam produtividades médias de 4.559 kg ha<sup>-1</sup> e 4.517 kg ha<sup>-1</sup> trabalhando com irrigação e variedades de ciclo curto. As diferenças encontradas na produtividade das áreas estudadas podem ser atribuídas a diferentes características químicas do solo como também à influência do manejo adotado.

A estatística descritiva dos atributos químicos do solo da Área 1, nas profundidades estudadas (Tabela 2), permitiu observar que não se ajustam à distribuição normal de acordo com o teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ) o potássio, na profundidade 0 a 15 cm, e Mg<sup>2+</sup>, P, Na<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup> e Fe<sup>2+</sup>, de 15 a 30 cm. Segundo a classificação de Warrick (1998), magnésio e zinco apresentam baixo coeficiente de variação, Fe<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup> apresentam alta variação e as demais apresentam média variação dos dados.

**Tabela 2.** Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 1, de características químicas do solo em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho.

Variável	Média		DP		Mínimo		Máximo		CV (%)	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	12,47	29,79	1,59	10,35	9,2	6,3	14,5	40,5	12,71	34,73
Ca <sup>2+</sup> ( cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	21,99	14,62	11,31	1,22	5	12,5	40	17	51,43	8,34
P (mg dm <sup>-3</sup> )	29,43	32,1	6,95	7,27	18,13	21,65	38,71	39,24	23,62	22,66
Na <sup>+</sup> ( mg dm <sup>-3</sup> )	165,58	236,21	68,86	160,12	57,41	71,57	305,09	600,27	41,59	67,79
K <sup>+</sup> ( mg dm <sup>-3</sup> )	92,17	71,23	42,36	35,17	44,09	30,93	212,21	138,28	45,96	49,37
Cu <sup>2+</sup> ( mg dm <sup>-3</sup> )	3,45	2,66	0,57	1,06	2,8	1,81	4,6	5,93	16,47	39,85
Mn <sup>2+</sup> ( mg dm <sup>-3</sup> )	11,92	16,44	5,4	6,12	1,35	7,48	21,12	28,61	45,29	37,24
Fe <sup>2+</sup> ( mg dm <sup>-3</sup> )	39,98	30,71	20,6	20,19	7,4	8,77	73,93	85,73	51,53	65,73
Zn <sup>2+</sup> ( mg dm <sup>-3</sup> )	8,68	8,47	0,94	0,79	6,71	6,86	9,93	10,02	10,84	9,33
MO (g kg <sup>-1</sup> )	10,48	9,08	4,48	3,31	2,76	2,86	17,73	14,78	42,75	36,42

Onde: DP desvio padrão; CV coeficiente de variação; P1 profundidade de 0 a 15 cm; P2 profundidade de 15 a 30 cm. MO matéria orgânica.

Os valores de cálcio (Tabela 2), na profundidade de 0 a 15 cm (21,99 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), apresentam-se altos, assumindo-se Malavolta et al. (1997) consideram altos os teores de cálcio no solo acima de 4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Valores semelhantes foram obtidos por Nunes (2008) quando trabalhou com arroz vermelho em um dos solos amostrados neste trabalho. Enquanto que apenas o potássio não segue a distribuição normal na profundidade de 0 a 15 cm; na profundidade de 15 a 30 cm, as variáveis cálcio, potássio, manganês, zinco e matéria orgânica ajustam-se à distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ). O coeficiente de variação é classificado como baixo para cálcio e zinco; médio para magnésio, fósforo, potássio, cobre, manganês e matéria orgânica; e alto somente para sódio e ferro, segundo

classificação de Warrick (1998). Os valores de magnésio encontrados são classificados como altos segundo, Malavolta et al. (1997), sendo observados valores de até 29,79  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na profundidade de 15 a 30 cm.

O fósforo apresentou valores médios de 29,43 e 32,1  $\text{mg dm}^{-3}$  (Tabela 2), os quais são considerados altos conforme Malavolta et al. (1997), e encontram-se próximos aos encontrados por Diniz Filho et al. (2011), em estudos na mesma região. Os valores altos de cálcio e de magnésio podem ser atribuídos a altos teores de argila presentes no solo, o qual possui alto poder de adsorção desses nutrientes, além da presença na água de irrigação. Os valores de potássio na profundidade de 15 a 30 cm estão de acordo com os valores encontrados por Diniz Filho et al. (2011) e são considerados altos conforme Lopes (1998). Em solos irrigados por inundação, ocorre o processo de redução, no qual a falta de oxigênio e a ação de microrganismos anaeróbicos resultam em uma série de modificações físicas, químicas e físico-químicas, destacando-se o aumento da disponibilidade de vários nutrientes essenciais, dentre eles o P, e perda de outros, principalmente de N, pelos vários processos envolvidos (Scivittaro e Machado, 2004).

Os teores médios de sódio, no presente estudo, alcançaram 236,21  $\text{mg dm}^{-3}$  na Área 1 (Tabela 2) e 551,15  $\text{mg dm}^{-3}$  na Área 2 (Tabela 3), isto pode acontecer em solos com alto teor de argila e pela atividade da fração argila que apresenta uma estreita relação com a retenção de nutrientes e água (Oliveira, 2008), e também ao cultivo sucessivo com adubações elevadas e má drenagem do solo, que não permite a lixiviação destes elementos. Os solos sódicos e solos salinos predominam na região semiárida nordestina, segundo Oliveira (2008), devendo-se tomar cuidados para evitar a salinização, especialmente com a cultura do arroz irrigado por inundação que requer mais água. Amaral et al. (1992) relatam que o sódio pode ocasionar decréscimo na produção do arroz, que pode chegar a 12% com o incremento de 56 ppm para 318 ppm de sódio no solo. Segundo Amaral & Gonçalves (1993), a partir de 400 ppm de Na no solo ocorre decréscimo na produtividade, podendo ocorrer perdas superiores a 50% da produtividade quando o teor de Na no solo chegar a 625 ppm.

Os teores de ferro e zinco na área 2 (Tabela 3) foram superiores aos da área 1, sendo na área 2 de 161,09  $\text{mg dm}^{-3}$  e 10,94  $\text{mg dm}^{-3}$ , para ferro e zinco, respectivamente, na profundidade de 0 a 15 cm. Em solo alagado, a atividade microbiana provoca alterações no pH e reações de redução de nitrato, sulfato e óxidos de ferro e de manganês do solo (Camargo e Tedesco, 2004), o que desencadeia as demais alterações químicas neste ambiente. Entre os elementos que não se ajustaram à distribuição normal, observa-se o cobre na profundidade de

0 a 15 cm, magnésio, sódio e potássio na profundidade de 15 a 30 cm e manganês nas duas profundidades.

**Tabela 3.** Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 2, de características químicas do solo em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho.

Variável	Média		DP		Mínimo		Máximo		CV (%)	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,97	3,27	1,32	1,12	1,1	1,9	5,7	6,5	44,59	34,14
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	14,88	15,83	2,53	2,24	9,2	12,1	19	19,7	17	14,14
P (mg dm <sup>-3</sup> )	20,18	25,13	8,52	18,96	6,15	4,06	40,51	64,16	42,23	75,44
Na <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	487,00	551,15	217,79	203,36	188,83	353,61	917,7	919,72	44,72	36,9
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	100,43	67,67	38,9	35,09	35,99	29,91	178,79	153,47	38,74	51,85
Cu <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	1,38	1,35	0,64	0,72	0,66	0,59	2,58	2,73	46,07	53,34
Mn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	126,96	102,65	44,96	93,35	46,29	32,25	206,79	387,59	35,41	90,95
Fe <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	161,09	116,46	89,91	73,72	57,48	29,4	337,33	232,83	55,81	63,3
Zn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	10,94	14,25	9,48	9,61	2,73	2,4	22,92	23,38	86,61	67,46

Onde: DP desvio padrão; CV coeficiente de variação; P1 profundidade de 0 a 15 cm; P2 profundidade de 15 a 30 cm. MO matéria orgânica.

Os teores de magnésio observados são classificados como médios segundo Malavolta et al. (1997), porém os valores máximos observados na Tabela 3 (5,7 e 6,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) são considerados altos. Os valores de matéria orgânica (MO) nas duas áreas estão ao redor de 1%, considerados baixos, condizentes com as características de solo e clima da região e aos cultivos sucessivos, porém ocorrem valores máximos de até 2,2% na camada de 0 a 15 cm da Área 2 (Tabela 3). Sabe-se que em solos ricos em matéria orgânica os teores podem alcançar 3%, dificilmente chegando a 5 %. Segundo Argenta et al. (2002), na maioria das recomendações de adubação nitrogenada das culturas, o teor de matéria orgânica do solo é um indicativo da disponibilidade de N durante o ciclo da cultura. O N disponível no solo é praticamente todo proveniente da decomposição e mineralização da matéria orgânica e a sua baixa disponibilidade é decorrente de que 95% ou mais do N do solo encontra-se complexado na forma orgânica, sendo somente uma pequena parte mineralizada pela microbiota do solo durante o ciclo da cultura (Scivittaro e Machado, 2004; Camargo et al., 1999).

As correlações de atributos químicos do solo com o número de panículas por metro quadrado (PAN) do arroz vermelho, nas duas áreas estudadas, estão expostas na Tabela 4. Em

geral, o sistema de irrigação por inundação dificulta a obtenção de relações entre características do solo antes do alagamento e o comportamento do arroz no solo alagado (Vahl e Sousa, 2004). Isto se deve a processos específicos de cada situação, por isto, algumas vezes são encontradas baixas correlações entre métodos de determinação da quantidade disponível de um determinado nutriente e a resposta da cultura em produtividade (Ranno, 2004). Na Área 1, de 0 a 15 cm, apenas o zinco correlacionou-se com PAN ( $p < 0,05$ ), de forma negativa, o que indica que a cultura pode ter sido prejudicada nos locais com maiores teores de zinco.

**Tabela 4.** Correlações de Spearman e parâmetros das regressões múltiplas entre atributos químicos do solo e o número de panículas por metro quadrado de arroz vermelho em duas áreas de produção.

Correlações de Número de Panículas					
Área 1			Área 2		
Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm	Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm
Zn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	-0,54*	-	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-	-0,58*
Cu <sup>2+</sup> ( mg dm <sup>-3</sup> )	-	-0,49 <sup>+</sup>	MO (g kg <sup>-1</sup> )	-	0,52*

\*\* Significativo a 1% de probabilidade; \* Significativo a 5% de probabilidade; <sup>+</sup> Significativo a 10% de probabilidade; MO = matéria orgânica.

Na área 2 não foram obtidas correlações significativas na profundidade de 0 a 15 cm. Entretanto, na profundidade de 15 a 30 cm, a matéria orgânica apresenta correlação positiva e significativa a 5% de probabilidade, indicando uma grande influencia sobre o número de panículas. A correlação negativa obtida para o teor de magnésio ( $p < 0,05$ ) pode ser devida à concentração elevada deste nutriente, apesar de Durigon (2007) ter encontrado correlações positivas de cálcio e magnésio com a produtividade do arroz irrigado, trabalhando com variedades de arroz branco em condições edafoclimáticas diferentes. Segundo Moraes & Dynia (1992), estudando alterações decorrentes da inundação em um solo Glei-Húmico, o magnésio da solução do solo aumentou com a inundação, tendo sido deslocado pelo ferro e manganês.

Na Tabela 5 relaciona-se os atributos químicos do solo com a massa de 100 grãos, entre os nutrientes, somente o sódio influenciou negativamente, indicando possível salinização do solo. Reduções na emissão de perfilhos e da área foliar fotossinteticamente ativa, assim como o aumento da esterilidade de espiguetas, são alguns dos danos relacionados

à salinidade e que reduzem o rendimento do arroz (Ehrler, 1960). O elemento de maior correlação foi o potássio ( $p < 0,01$ ), seguido do fósforo e do ferro ( $p < 0,05$ ), todos com correlação positiva. A liberação de potássio não trocável do solo ocorre devido ao aumento da difusão e deslocamento de  $K^+$  do complexo de troca por  $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ , cujas concentrações aumentam na solução do solo devido ao alagamento e conseqüente redução do solo (Ponnamperuma, 1972; Barber, 1995). Assim, o  $K^+$  provém da estrutura de feldspatos e micas e do K retido entre camadas de alguns argilominerais expansivos, ou seja, as formas não trocáveis passam a atuar como fontes de  $K^+$  às plantas (Fraga, 2009). Na Área 2, as variáveis correlacionadas foram ferro ( $p < 0,05$ ) e zinco ( $p < 0,10$ ), ambas na camada de 0 a 15 cm e negativamente. Uma indicação da causa está na Tabela 3, onde estão expostos os teores de ferro e zinco bastante superiores aos da Área 1, valores muito baixos destes elementos vão causar deficiência, já valores elevados causam toxicidade.

**Tabela 5.** Correlações de Spearman entre atributos químicos do solo e a massa de 100 grãos de arroz vermelho em duas áreas de produção.

Correlações de Massa de 100 grãos (g)					
Área 1			Área 2		
Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm	Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm
P ( $mg\ dm^{-3}$ )	-	0,55*	$Fe^{2+}$ ( $mg\ dm^{-3}$ )	-0,51*	-
$Na^+$ ( $mg\ dm^{-3}$ )	-	-0,47 <sup>+</sup>	$Zn^{2+}$ ( $mg\ dm^{-3}$ )	-0,45 <sup>+</sup>	-
$K^+$ ( $mg\ dm^{-3}$ )	-	0,73**	-	-	-
$Mn^{2+}$ ( $mg\ dm^{-3}$ )	-	0,47 <sup>+</sup>	-	-	-
$Fe^{2+}$ ( $mg\ dm^{-3}$ )	-	0,59*	-	-	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade; \* Significativo a 5% de probabilidade; <sup>+</sup> Significativo a 10% de probabilidade.

As correlações com produtividade, na Área 1, predominaram na camada de 0 a 15 cm (Tabela 6), destacando-se a correlação negativa de cálcio, que apresentava teor muito alto no solo (Tabela 3). Fósforo e matéria orgânica ( $p < 0,05$ ) obtiveram correlação positiva, na profundidade de 15 a 30 cm. Nunes (2008) obteve correlações positivas de cálcio e da relação cálcio:magnésio, com as variáveis de produção do arroz vermelho em duas das áreas amostradas neste trabalho. Na camada de 15 a 30 cm, o magnésio também apresenta correlação negativa, explicada pelos altos teores no solo. Outra variável se correlaciona de forma positiva, a matéria orgânica ( $p < 0,05$ ), o qual ressalta a influência de tal característica do solo sobre a produtividade do arroz vermelho.

**Tabela 6.** Correlações de Spearman e parâmetros das regressões múltiplas entre atributos do solo e a produtividade de arroz vermelho em duas áreas de produção.

Correlações de Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )					
Variáveis	Área 1		Variáveis	Área 2	
	0 a 15 cm	15 a 30 cm		0 a 15 cm	15 a 30 cm
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	-0,44 <sup>+</sup>	-	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	-	-0,45 <sup>+</sup>
P(mgdm <sup>-3</sup> )	0,44 <sup>+</sup>	-	Mn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	-	0,46 <sup>+</sup>
MO (g kg <sup>-1</sup> )	0,50*	-	MO (g kg <sup>-1</sup> )	-	0,58*

\*\* Significativo a 1% de probabilidade; \* Significativo a 5% de probabilidade; <sup>+</sup> Significativo a 10% de probabilidade; MO = matéria orgânica.

Apesar dos resultados distintos obtidos nas duas áreas, a análise permite destacar variáveis que se repetem como possíveis causas da variação da produção. A matéria orgânica, como se pode esperar, tem boa indicação de influenciar a produção. Entre os micronutrientes, ferro e zinco parecem influenciar de forma negativa e, entre o macronutrientes, fósforo e potássio parecem beneficiar a produção, como se poderia esperar, enquanto que o magnésio destaca-se pela influência negativa, tendência também observada para o cálcio. Durigon (2007) estudou a cultura do arroz branco na região sul do país e confirmou a não repetição das correlações de uma área para a outra. Fatores de manejo e/ou características do solo e da água de irrigação podem causar este comportamento.

Os semivariogramas e mapas de isozonas foram confeccionados apenas para as variáveis que apresentaram correlação com os componentes de produção, em cada área e profundidade. A interpolação por Krigagem foi realizada apenas para as variáveis que apresentaram dependência espacial, as demais foram interpoladas pelo inverso do quadrado da distância. A variável química da Área 1 que apresentou correlação espacial com os parâmetros de produção foi o cálcio, na profundidade de 0 a 15 cm (Tabela 7). A falta de dependência espacial, nesta profundidade, pode indicar as diversas modificações ocorridas em função do preparo do solo e da irrigação.

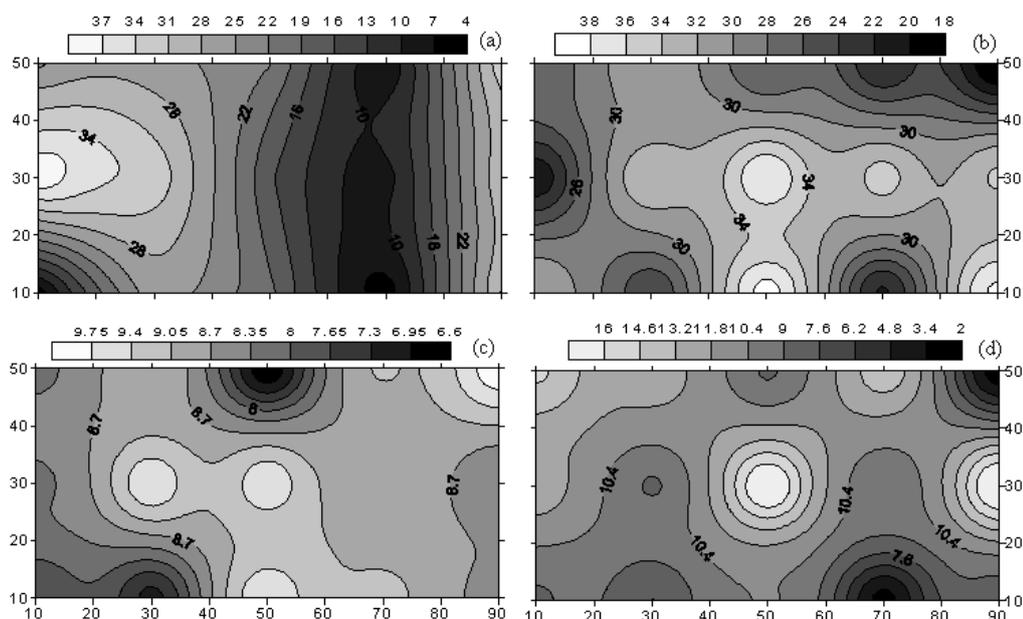
A Tabela 7 também expõe o modelo esférico como de melhor ajuste para cálcio, com grau de dependência espacial forte, segundo Cambardella et al. (1994). O alcance obtido (27,3 m) indica a distância na qual esta variável é espacialmente dependente. Por isto, foi possível realizar a interpolação por Krigagem, estimar valores em locais não amostrados e confeccionar mapas de isozonas. As variáveis, fósforo, zinco e matéria orgânica (Tabela 7), apresentaram efeito pepita puro, que indica um grau de dependência espacial

infinitesimalmente pequeno, no qual os semivariogramas permanecem constantes independentemente da distância entre amostras, ou seja, para a distância de amostragem utilizada, a variação nos dados tem causas aleatórias, de modo que, para gerar mapas de isozonas utilizou-se a metodologia do inverso do quadrado da distância.

**Tabela 7.** Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 0 a 15 cm da Área 1: (a) Cálcio; (b) Fósforo; (c) Zinco e (d) Matéria orgânica.

Parâmetros dos modelos de semivariogramas
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ): Esférico ; Co = 28,2; (Co+C) = 126,8; Ao = 27,3; GD% = 22,24
P (mg dm <sup>-3</sup> ): Efeito Pepita
Zn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ): Efeito Pepita
MO (g kg <sup>-1</sup> ): Efeito Pepita

Os mapas de isozonas da profundidade de 0 a 15 cm na Área 1 permitem observar a distribuição espacial de valores das variáveis, cálcio, fósforo, zinco e matéria orgânica (Figura 1). Analisando-se o comportamento do cálcio, observa-se uma faixa vertical de valores baixos na abscissa de 70 m, os quais aumentam para os dois lados. Isto pode indicar uma distribuição do elemento nas duas direções, levado pela água de irrigação.



**Figura 1.** Mapa de isozonas para a profundidade de 0 a 15 cm, na Área 1, das variáveis:(a) Cálcio; (b) Fósforo; (c) Zinco e (d) Matéria orgânica.

As variáveis, fósforo e zinco (Figura 1b,c) são semelhantes na distribuição central dos maiores valores e diminuição para as extremidades, isto pode ser devido a serem mais depositados naqueles locais. Segundo Fageria (2000), a maioria dos solos brasileiros é deficiente em fósforo e a aplicação de fertilizante para corrigir sua deficiência pode contribuir para a escassez de Zn, devido ao antagonismo entre estes nutrientes. O acúmulo de matéria orgânica no centro da área (Figura 1b), com os teores diminuindo progressivamente em direção às extremidades, pode indicar a existência de área mais baixa no centro, onde a água se acumula por mais tempo, diminuindo a taxa de decomposição da matéria orgânica.

Os semivariogramas das variáveis químicas do solo na profundidade de 15 a 30 cm da Área 1, indicam que apenas o potássio (Tabela 8) apresentou efeito pepita puro. Como as outras variáveis apresentaram dependência espacial, os efeitos da mobilização do solo e da irrigação, nesta profundidade, parecem ser menores.

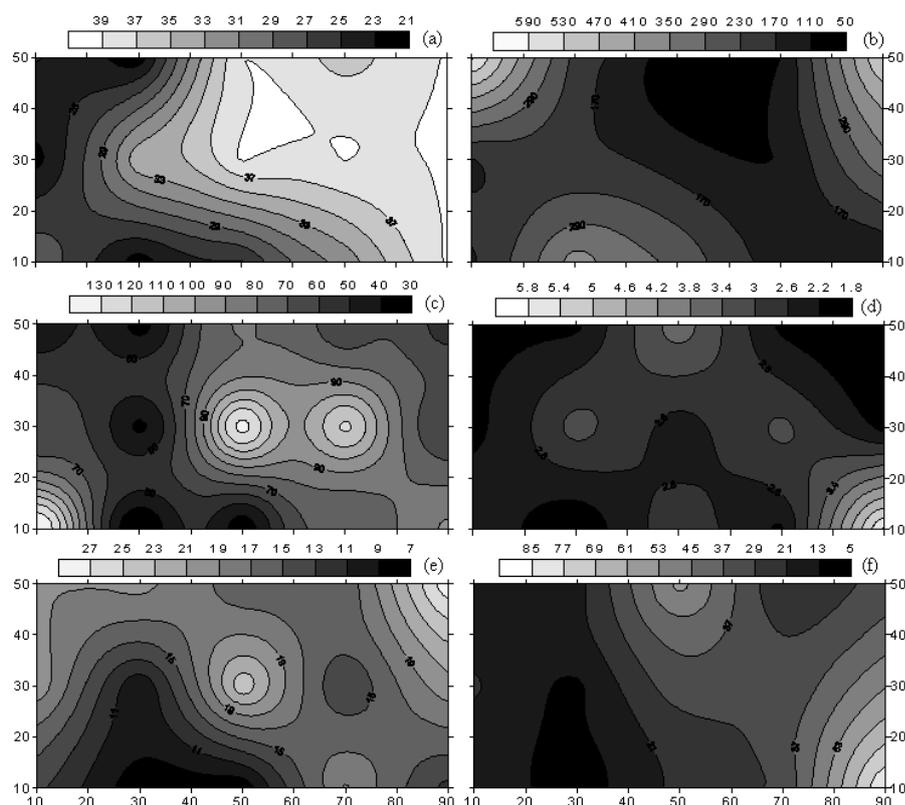
**Tabela 8.** Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 15 a 30 cm da Área 1: (a) Fósforo; (b) Sódio; (c) Potássio; (d) Cobre; (e) Manganês.

Parâmetros dos modelos de semivariogramas
P(mg dm <sup>-3</sup> ): Modelo = Esférico; Co = 5,5; (Co+C) = 92; Ao = 106,7 m; GD%=5,98 %
Na <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ): Modelo = Esférico; Co = 4510; (Co+C) = 29920; Ao = 59,4 m; GD%=15,07
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ): Modelo =Efeito Pepita
Cu <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ): Modelo = Esférico; Co = 0,35; (Co+C) = 1,27; Ao = 72,7 m; GD%=27,56
Mn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ): Modelo = Exponencial; Co = 11,59; (Co+C) = 39,82; Ao = 11,2 m; GD%=29,11
Fe <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ): Modelo = Linear; Co = 0,1; (Co+C) = 244,8; Ao = 26,6 m; GD%=0,04

As variáveis, fósforo, sódio e cobre (Tabela 8), ajustaram-se ao modelo esférico, com grau de dependência espacial forte para fósforo e sódio e moderado para cobre. As variáveis manganês e ferro (Tabela 8) apresentam, respectivamente, modelo exponencial e linear com moderado e forte grau de dependência espacial. Em estudos sobre variabilidade espacial de características químicas do solo é comum serem obtidos modelos esférico e exponencial (Carvalho et al. 2002; Silva et al. 2003; Miranda et al., 2004). O alcance variou de 11,2 m, para o manganês, até 106,7 metros, para o fósforo.

Observa-se nos mapas de isozonas da profundidade de 15 a 30 cm da Área 1, que os valores mais baixos de sódio e cobre (Figura 2b,d) ocupam maior proporção da área, tendência que é menos acentuada para o ferro (Figura 2f). Isto poderia ser explicado pela pequena mobilidade destes elementos no solo, como o sódio, que apresenta grande capacidade de lixiviação, mas não apresenta mobilidade devido a restrições como a baixa drenagem do

solo.



**Figura 2.** Mapas de isozonas na Área 1, na profundidade de 15 a 30 cm de: (a) Fósforo; (b) Sódio; (c) Potássio; (d) Cobre; (e) Manganês e (f) Ferro.

Os mapas de isozonas de fósforo (Figura 2a) permitem verificar tendência de que os valores maiores ocupem maior proporção da área, além de se observar claramente a transição dos valores mais baixos observados, no lado esquerdo da área, para os maiores valores, no lado direito, novamente indicando os efeitos da distribuição na água de irrigação. Quanto à distribuição dos teores de sódio, pode-se observar uma inversão em relação aos de fósforo, de maneira que os locais com os maiores de teores de fósforo parecem ser onde estão os menores teores de sódio. As variáveis, potássio e manganês (Figura 2c,e) também apresentam, no centro da área, predominância dos maiores valores observados.

Os semivariogramas da Área 2, indicam, na profundidade de 15 a 30 cm, haver dependência espacial apenas das variáveis manganês e matéria orgânica (Tabela 9), ajustadas ao modelo esférico, com forte dependência espacial e alcance entre 34 a 41 m, raios dentro dos quais todos os vizinhos podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (Vieira e Lombardi Neto, 1995). Outros pesquisadores também obtiveram, em seus trabalhos, forte dependência espacial de características químicas do solo (Silva e Chaves, 2001; Silva et al., 2003; Miranda et al., 2004).

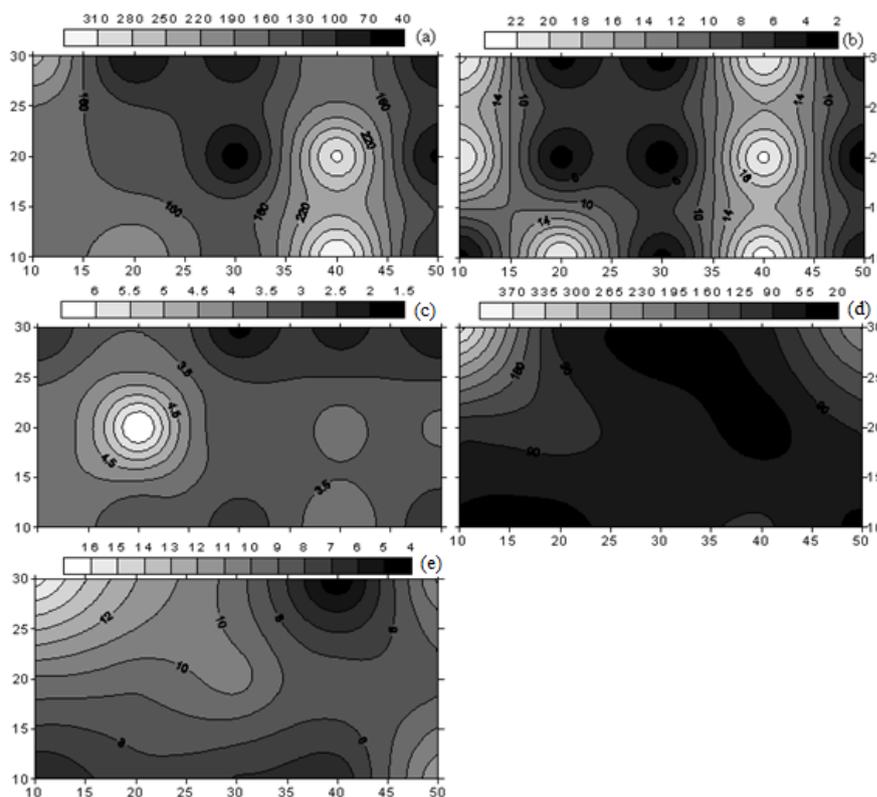
**Tabela 9.** Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 0 a 15 cm na Área 2, de: (a) Ferro e (b) Zinco; e na profundidade de 15 a 30 cm, de: (c) Magnésio; (d) Manganês; (e) Matéria orgânica.

Parâmetros dos modelos de semivariogramas
Fe <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ) : Modelo = Efeito Pepita
Zn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ) : Modelo = Efeito Pepita
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) : Modelo = Efeito Pepita
Mn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ) : Modelo= Esférico; Co= 600; (Co+C) = 12110; Ao = 41,15 m; GD%= 4,95%
MO (g kg <sup>-1</sup> ): Modelo= Esférico; Co= 0,56; (Co+C) = 12,56; Ao = 34,07 m; GD%= 4,46%

As demais variáveis expostas na Tabela 9 apresentaram efeito pepita puro, podendo-se assumir que a distribuição é aleatória e existe independência entre amostras e a estatística clássica pode ser aplicada ao conjunto de dados, os quais serão representados pela média aritmética. Nestes casos, é provável que a dependência espacial ocorra em distância menor do que a utilizada entre os pontos de amostragem (Vieira, 2000). O efeito pepita puro para magnésio também foi encontrado por Mendes et al. (2007) em Cambissolo no Rio Grande do Norte.

Através dos mapas de isozonas da área 2, profundidade de 15 a 30 cm, apresentados, observa-se que a variável manganês (Figura 3d) apresenta pequena variação dentro da área e maior proporção da área ocupada pelos valores mais baixos, o mesmo ocorre com o magnésio (Figura 3c), enquanto o zinco na camada de 0 a 15 cm, apresenta predominância de menores valores no centro da área. Para matéria orgânica (Figura 3e), observa-se decréscimo nos valores no sentido da extremidade da área para o centro.

Os parâmetros dos semivariogramas ajustados às variáveis de produção estão apresentados na tabela 10, para Área 1 observa-se o ajuste do modelo esférico para o número de panículas, com forte dependência espacial e um alcance desta dependência de 28,4 metros. Para a massa de 100 grãos (Tabela 10) o modelo ajustado foi o exponencial, também com forte dependência espacial, e com um alcance de 0,5 metros; enquanto que a produtividade apresentou efeito pepita puro.



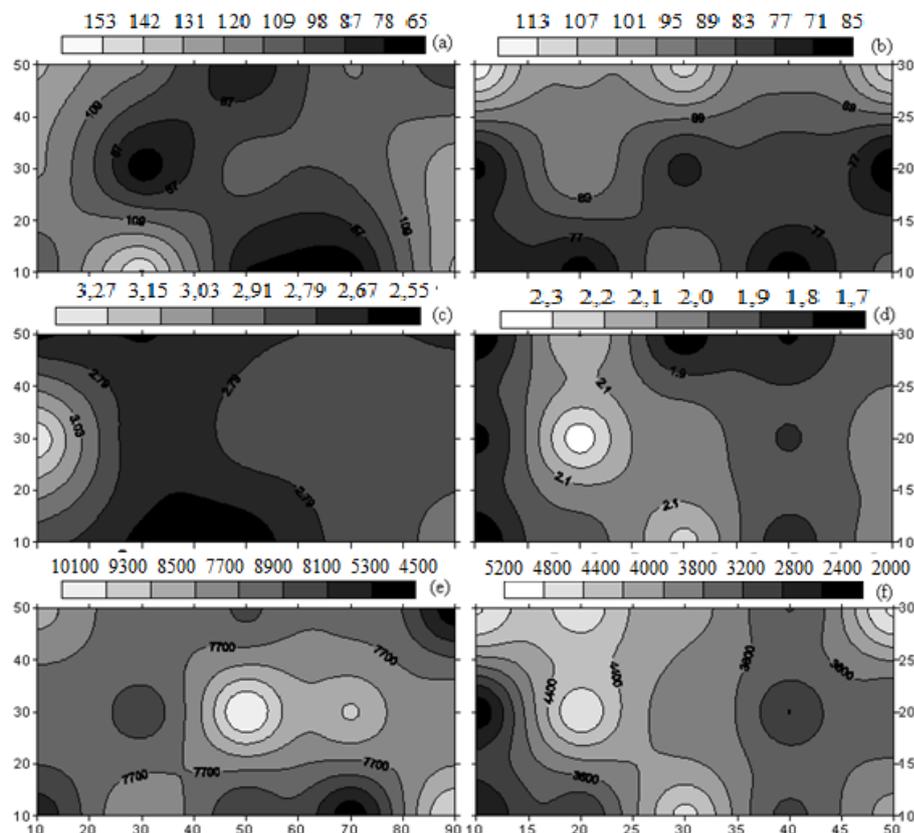
**Figura 3.** Mapas de isozonas da profundidade 0 a 15 cm na Área 2, das variáveis: (a) Ferro e (b) Zinco; na profundidade 15 a 30 cm de: (c) Magnésio; (d) Manganês e (e) Matéria orgânica.

Observa-se que para Área 2 não houve ajuste de modelo para os semivariogramas, o que pode ser atribuído ao reduzido número de pontos amostrais, e a problemas de manejo da cultura, os quais se manifestaram nos baixos valores dos componentes de produção.

**Tabela 10.** Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste de: (a) Número de panículas na Área 1; (b) Número de panículas na Área 2; (c) Massa de 100 grãos na Área 1; (d) Massa de 100 grãos na Área 2; (e) Produtividade na Área 1 e (f) Produtividade na Área 2.

Parâmetros dos modelos de semivariogramas
Número de panículas A1: Modelo Esférico; Co - 178; (Co+C) - 784.2; Ao - 28.4 m; GD% = 22.7
Massa de 100 grãos A1: Modelo Exponencial; Co - 0.008; (Co+C) - 0.038; Ao -0.5 m; GD%=21.05
Produtividade A1: Modelo Efeito Pepita Puro
Número de panículas A2: Modelo Efeito Pepita Puro
Massa de 100 grãos A2: Modelo Efeito Pepita Puro
Produtividade A2: Modelo Efeito Pepita Puro

Analisando a produtividade encontrada nas duas áreas (Figura 4e,f), observa-se que a Área 1, apresenta produtividade média maior que na Área 2, e os valores de massa de 100 grãos e número de panículas também são superiores. Os resultados de produtividade, número de panículas, e massa de 100 grãos, são semelhantes aos encontrados por Nunes (2008) e por Diniz Filho et al. (2011), quando realizaram pesquisas na mesma região. Observa-se nos mapas que a massa de 100 grãos, na área 1, apresenta baixa variação dentro da área, maior proporção dela ocupada pelos valores menores, já na área 2 essa variação é maior e os maiores valores predominam no centro da área. Observa-se na área 1 uma maior uniformidade da produtividade, com maior proporção da área ocupada por valores mais altos, em relação à área 2.



**Figura 4.** Mapa de isozonas para as variáveis: (a) Número de panículas na Área 1; (b) Número de panículas na Área 2; (c) Massa de 100 grãos da Área 1; (d) Massa de 100 grãos da Área 2; (e) Produtividade da Área 1 e (f) Produtividade da Área 2.

O mapa de isozonas do número de panículas da área 1 (Figura 4a) apresenta pequenas manchas com valores baixos, e predominância de valores mais altos em proporção da área. Na área 2 (Figura 4b) destaca-se uma região com valores mais baixos de número de panículas, na

metade inferior do mapa. Quanto à massa de 100 grão, na área 1 (Figura 4c) observa-se pouca variação de valores, com menores valores que não são considerados baixos, predominando em uma faixa vertical correspondente à abscissa de 30 a 50 m.

A produtividade das áreas (Figura 4e,f) apresentam suavemente predominância de maiores valores observados, com pequenas manchas dos valores mais baixos, porém, deve-se ressaltar que os valores mais altos da área 2, correspondem a metade dos valores mais altos da área 1, onde existe uma mancha central com produtividades ao redor de 10.000 kg.ha<sup>-1</sup>.

### Conclusões

As produtividades médias foram de 7.527 kg ha<sup>-1</sup> e 3.832 kg ha<sup>-1</sup>, para área 1 e 2, respectivamente.

As variáveis químicas do solo que se correlacionaram positivamente com os componentes de produção foram: fósforo, potássio, manganês, ferro e matéria orgânica; e negativamente: cálcio, magnésio, sódio, zinco, cobre e ferro.

As variáveis: cálcio, fósforo, sódio, ferro, matéria orgânica, cobre e manganês, apresentaram dependência espacial, variando de forte a moderada, entre as duas áreas e profundidades analisadas.

Os mapas de isozonas confeccionados permitiram visualizar a distribuição de cada elemento que influencia os parâmetros de produção do arroz vermelho, cultivado no Vale do Rio Apodi – RN, se tornando uma importante ferramenta para o planejamento da produção dessas áreas.

### Referências

ALONSO, S. A.; SANTOS, A. B.; GOMES, A. S. Cultivo do arroz irrigado no Brasil. Pelotas RS: **Embrapa Clima Temperado**, 2005. Versão Eletrônica disponível em:<<http://www.embrapa.cnfap.br>>. Acesso em 17 de abril de 2012.

AMARAL, A. dos S; GONÇALVES, A. R. e GARDELLINO, R. A. Produção de arroz em função do teor de sódio no solo. **Lavoura Arrozeira**. v.45, n. 403, p.16-19. 1992.

AMARAL, A. S.; GONÇALVES, A. R. Efeito da salinidade do solo na produção de arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.46, n.411, p.8-12, 1993.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI, C.G. Parâmetros e planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.519-527, 2002.

BARBER, S. Soilbioavailability: A mechanistic approach. **New York, John Wiley & Sons**, 1995.414p.

CAMARGO, F. A. O. et al. Nitrogênio orgânico do Solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre - RS: **Gênesis**, 1999. p.117-137.

CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J. Solos alagados. In: BISSANI, C. A. et al. (Eds). **Fertilidade dos Solos e Adubação das culturas**. 1. ed. Porto Alegre: **Gênesis**, 2004. p.187-193.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, J. R. P. de; SILVEIRA, P. M. da; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

COSTA, E. G. C; SANTOS dos, A. B; ZIMMERMANN, F. J. P. Características agronômicas da cultura principal e da soca de arroz irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24 (Edição Especial), p.15-24, 2000.

DINIZ FILHO E. T.; MARACAJÁ P. B.; MEDEIROS, M. A.; MADALENA, J. A. S.; SOUSA, L. C. F. S., Produção de arroz vermelho utilizando práticas agroecológicas no município de Apodi – RN, **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.4, p. 157 – 166 outubro/dezembro de 2011.

DURIGON, R. Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, PPEA, RS, 2007.

EHRLER, W. Some effects of salinity on rice. **Bot. Gazette**, 122:102-104, 1960.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

Fageria N. K.; Santos A. B.; Cutrim V. A., Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2007, vol.42, pg.1029-1034.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na Produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.390-395, 2000.

FRAGA, T. I.; GENRO JUNIOR, S. A.; INDA, A. V.; ANGHINONI, I. Suprimento de potássio e mineralogia de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, vol.33 no.3 Viçosa March/June 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. **Produção Agrícola Municipal 2005**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 01/10/2011.

LIMA, K. S. D. de. **Alterações dos parâmetros climáticos no município de Apodi-RN, antes e após a construção da Barragem Santa Cruz do Apodi, e formação do lago**. Natal, 2007. 931. (Dissertação de Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

LOPES, A. S. **Manual de interpretação de fertilidade do solo**. 2ª Ed. Piracicaba, Potofos, 1998, 177 p.

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicação**. 2ª Ed. Piracicaba, Potafos, 1997, p. 319.

MENDES, A. M. S., DUDA, G. P., LIMA, J. A. G., AMORIM, L. B, Variabilidade espacial e características químicas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do Rio Grande do Norte. **Revista de biologia e ciências da terra**. Volume 7 - Número 2 - 2º Semestre 2007. P. 169-174.

MIRANDA, N.O.; OLIVEIRA, T.S.; LEVIEN, S.L.A.; MEDEIROS, J.F. Variabilidade espacial da produção do meloeiro irrigado por gotejamento na fazenda Santa Júlia em Mossoró-RN. **Caatinga**, v.17, p.121-128, 2004.

MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley Pouco Húmico sob inundação e após drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.223-235, fev. 1992.

NUNES, C. G. F. **Variabilidade espacial de atributos que influenciam a produção de arroz vermelho irrigado no município de Apodi-RN. 2008**. 56f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2008.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592 p.

PEREIRA, J. A. **O arroz vermelho cultivado no Brasil**. Teresina: EMBRAPA Meio Norte. 90 p. 2004.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.*, 24:29-96, 1972.

R Development Core Team (2006). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

RANNO, S. K. **Estimativa da disponibilidade de fósforo para a cultura do arroz irrigado em solos do RS**. 2004. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ROBERTSON, G.P. GS+: **Geostatistics for the environmental sciences**. Michigan: Gamma Design Software Plainwell, 1998. 152 p.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília - DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004, p.259-303. cap. 9.

SILVA, P.C.; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.431-436, 2001.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.27, p.1013-1020, 2003.

VAHL, L. C.; SOUZA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Embrapa, Brasília - DF, 2004, cap. 4, p. 97-118.

VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BOREM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: **Editora UFV**, 2000. p.93-108.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, p. 405-412, 1995.

VIEIRA, Sidney Rosa;. CARVALHO, José Ruy Porto de e González, Antonio Paz **Jack esfaqueando para validação semivariograma** . *Bragantia* [online]. 2010, vol.69, suppl., Pp 97-105. ISSN 0006-8705.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego: **Academic Press**, 1998. p. 655-675.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M.A. Rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

---

**Recebido para publicação em:** 12/05/2014

**Aceito para publicação em:** 06/10/2014