

CARLOS GEORG FERNANDES NUNES

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUE INFLUENCIAM A
PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO IRRIGADO NO MUNICÍPIO DE APODI-RN**

**MOSSORÓ-RN
2008**

CARLOS GEORG FERNANDES NUNES

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUE INFLUENCIAM A
PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO IRRIGADO NO MUNICÍPIO DE APODI-RN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do SemiÁrido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda

**MOSSORÓ – RN
2008**

CARLOS GEORG FERNANDES NUNES

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUE INFLUENCIAM A
PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO IRRIGADO NO MUNICÍPIO DE APODI-RN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semiárido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: ____/____/____

Dr. Neyton De Oliveira Miranda – UFERSA
Orientador

Dr. Paulo César Moura Da Silva - UFERSA
Membro

Dr. José Francismar De Medeiros – UFERSA
Membro

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFERSA**

N972v Nunes, Carlos Georg Fernandes.

Variabilidade espacial de atributos que influenciam a
produção de arroz vermelho irrigado no município de Apodi-
RN / Carlos Georg Fernandes Nunes -- Mossoró, 2012.
56f.:il.

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem. Área de
Concentração em Manejo de solo e água) – Universidade
Federal Rural do Semi-Árido.

Orientador: Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda.

1.Oriza sativa L. 2. Salinidade. 3. Variabilidade espacial.
4. Geoestatística. I.Título.

CDD: 633.18

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB15 120

Aos meus filhos Vítor Carlos Nunes e Vinícius George Carlos Nunes. A minha esposa Lannuce Lana Monteiro Carlos. Aos Meus Pais Nery e Anazilda.

Dedico

Aos agricultores familiares do Vale do Apodi e especialmente os da região semiárida, que com muita luta vem reinventando as diferentes formas de convivência com o semiárido nordestino.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter iluminado meus caminhos com sabedoria.

À Universidade Federal Rural do Semiárido e ao Departamento de Ciências Ambientais pela oportunidade em realizar este curso.

Ao SEAPAC – Serviço de Apoio aos Projetos Alternativos Comunitários pelo apoio na realização deste trabalho.

Aos agricultores familiares do Vale do Apodi Edilson, Márcio e José por permitir as pesquisas em suas áreas.

Ao Colega de trabalho Edimar Teixeira Filho pela contribuição ajuda e incentivo durante o curso.

Ao colega de trabalho Raniere Lira pela contribuição na conclusão do curso.

Ao professor Neyton de Oliveira Miranda, pela orientação, sugestões e dedicação a mim dispensadas durante o curso.

Aos meus colegas de Pós-Graduação pelo companheirismo ao longo do curso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pelos ensinamentos durante o curso.

Aos bolsistas Gledson Góes e André Lima, pela grande contribuição neste trabalho.

A todas as entidades não governamentais que atuam no Município de Apodi em especial ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais e Associação dos Produtores de Arroz, pela contribuição para a realização deste trabalho.

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Nunes, Carlos Georg Fernandes. **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 Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2008.

A cultura do arroz irrigado no vale do rio Apodi, RN, teve um aumento significativo na área plantada devido à construção da barragem de Santa Cruz, que melhorou a disponibilidade hídrica à jusante deste reservatório. Esta cultura vem sofrendo uma série de problemas, passando desde a desorganização dos plantadores, comercialização deficiente, inexistência de valor agregado ao produto, uso indiscriminado de insumos químicos, perda da produtividade, diminuição do vigor das plantas e menor perfilhamento. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo estudar as causas das perdas de produtividade na cultura arroz vermelho irrigado no vale do rio Apodi; em particular estudar os efeitos da água de irrigação utilizada e da salinização do solo sobre a produtividade da cultura e estudar a variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo, irrigado e cultivado com arroz vermelho. O trabalho foi realizado em três pequenas propriedades, em cada uma das quais foi delimitada uma malha de pontos de amostragem georeferenciados com espaçamento regular e, nestes pontos, foram realizadas as coletas de solo e de planta para determinar atributos químicos e físicos do solo e, em duas delas, os componentes de produção do arroz vermelho, permitindo assim o uso da geoestatística para estudar a variabilidade espacial dos atributos. A produtividade do arroz e seus componentes apresentaram dependência espacial sendo possível a construção de mapas de isolinhas das áreas em estudo; constatou-se também variabilidade dos atributos físicos e químicos dos solos estudados e a existência de correlações entre os componentes de produção e alguns destes atributos. As duas áreas em que foram estudados os componentes de produção apresentaram comportamento diferenciado quanto à dependência espacial e as correlações, sendo que na área de Francisco a produtividade apresentou correlações principalmente com a distância da entrada de água na área e com a relação cálcio:magnésio, enquanto que na área de Márcio as correlações mais evidenciadas foram com potássio.

Palavras-chave: *Oriza sativa* L., salinidade, variabilidade espacial, geoestatística.

ABSTRACT

Nunes, Carlos Georg Fernandes. **Spatial variability of soil attributes influencing irrigated red rice production in Apodi-RN, Brazil.** 2008. 56f. Dissertation (Master degree in Irrigation and Drainage) – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2008.

Rice crop area in Apodi River Valley, RN, Brazil, had a significant increase due to construction of Santa Cruz dam, which improved water availability downstream of the reservoir. Rice crop has been adversely affected by problems like disorganization of farmers, inefficient commercialization, product without added value, indiscriminate use of chemical inputs, loss of yield, decrease in plant vigor, and lower tillering. In this context, this work had as objectives to study causes of yield loss in irrigated red rice crop at Apodi River Valley; specifically, to study the effects of irrigation water used in that region and of soil salinity on red rice crop yield, besides to study spatial variability of physical and chemical soil characteristics of soil irrigated and cropped with red rice. The work was carried out in three small farms, where a georeferenced sampling grid was delimited with regular spacing, in which points were taken samples of soil and plants to determinate soil physical and chemical characteristics and, in two areas, yield components of red rice, allowing the use of geostatistics to study spatial variability. Rice yield and its components showed spatial dependence, which allowed the drawing of isovalue maps of the studied areas. Soil physical and chemical characteristics also showed spatial variability and correlated with rice yield components. The two studied areas showed different behavior in relation to spatial dependence and correlations. In the area of Francisco rice yield showed correlations mainly with distance to water inlet and with calcium to magnesium ratio, while in the area of Márcio the better correlation was with potassium.

Key words: *Oriza sativa L.*, soil salinity, spatial variability, geostatistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Semivariograma típico com os principais parâmetros.....	18
Figura 2 -	Malhas de amostragem das três propriedades cultivadas com arroz vermelho: a) Áreas de Francisco, b) José e c) Márcio. Apodi-RN, 2008.....	25
Figura 3 -	Colheita de arroz em quadro de 1m ² na área de Márcio. Apodi-RN, 2008.....	26
Figura 4 -	Semivariogramas experimentais a) Cálcio (Ca), b) Magnésio (Mg), c) Sódio (Na) e d) CEes do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Francisco Edílson. Apodi - RN, 2008.....	34
Figura 5 -	Semivariogramas experimentais de: a) Potássio (K) e b) Fósforo (P) do solo cultivado com arroz vermelho. Área Francisco Edilson. Apodi - RN, 2008...	34
Figura 6 -	Isolinhas de atributos químicos do solo: a) cálcio (mmol dm ⁻³), b) magnésio (mmol dm ⁻³) e c) CEes (dS m ⁻¹) do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Francisco Edílson. Apodi-RN, 2008.....	36
Figura 7 -	Semivariogramas experimentais de: a) Argila, b) Silte e c) Areia do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi-RN, 2008	37
Figura 8 -	Semivariogramas experimentais de: a) produtividade em gramas de arroz por 1m ² , b) peso de 100 grão (g) e em c) peso de grão cheios em 20 panículas do arroz vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi - RN, 2008.....	38
Figura 9 -	Isolinhas de atributos físicos do solo: a) argila, b) silte e c) areia. Área de Francisco Edílson. Apodi-RN, 2008.....	39
Figura 10 -	Figura 10 - Isolinhas de: a) produtividade (g) de arroz vermelho por 1m ² , b) peso (g) de grãos cheios em 20 panículas. Apodi-RN, 2008 Área de Francisco Edílson. Apodi-RN, 2008.....	40
Figura 11 -	Semivariogramas experimentais de: a) Cálcio (Ca), b) Magnésio (Mg), c) Sódio (Na) e d) CEes do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi - RN, 2008.....	41
Figura 12 -	Semivariogramas experimentais de: a) Potássio (K), e b) Fósforo (P), do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi - RN, 2008.....	41
Figura 13 -	Isolinhas de atributos químicos do solo: a) cálcio (mmol dm ⁻³), b) magnésio (mmol dm ⁻³) c) Sódio (mmol dm ⁻³) e d) condutividade elétrica de estrato de saturação do solo (dS m ⁻¹) cultivado com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008.....	43
Figura 14 -	Isolinhas de atributos químicos do solo cultivado com arroz vermelho: a) Potássio (mmol dm ⁻³), b) Fósforo (mg dm ⁻³). Área de Márcio. Apodi-RN, 2008.....	44
Figura 15 -	Semivariogramas experimentais de: a) Argila, b) Silte e c) Areia do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi - RN, 2008.....	45
Figura 16 -	Semivariogramas experimentais de: a) produtividade de arroz vermelho (g) por 1m ² , b) peso de 100 grãos (g) e c) peso de grãos cheios em 20 panículas.	

	Área de Márcio, Apodi - RN, 2008.....	46
Figura 17 -	Isolinhas de atributos físicos do solo cultivado com arroz vermelho: a) argila, b) Silte e c) areia. Área de Márcio, Apodi-RN, 2008.....	47
Figura 18 -	Isolinhas de a) produtividade (g) de arroz vermelho por m ² , b) peso de grãos cheios em 20 panículas do arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi - RN, 2008	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Maiores produtores de arroz no mundo em 2006 - Fonte: FAO 2008.....	10
Tabela 2 -	Produção de arroz por Região no Brasil.	11
Tabela 3 -	Características da água de poços amazonas utilizadas para irrigação do Arroz Vermelho nas três propriedades estudadas. Apodi-RN, 2008.....	23
Tabela 4 -	Estatística descritiva de valores medidos na camada de 0 a 20 cm de características químicas e físicas do solo cultivado com Arroz Vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi-RN, 2008.....	28
Tabela 5 -	Estatística descritiva de valores medidos na camada de 0 a 20 cm de características químicas e físicas do solo cultivado com Arroz Vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008.....	29
Tabela 6 -	Estatística descritiva de valores dos componentes de produção do Arroz Vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi/RN,2008.....	30
Tabela 7 -	Estatística descritiva de valores dos componentes de produção do Arroz Vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008.....	30
Tabela 8 -	Correlações de Spearman entre atributos do solo e alguns componentes de produção do arroz vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi, RN, 2008.....	31
Tabela 9 -	Tabela 9 - Correlações de Spearman entre atributos do solo e alguns componentes de produção do arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi, RN, 2008.....	33
Tabela 10 -	Parâmetros de modelos ajustados aos semivariogramas de atributos químicos do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi-RN, 2008.....	34
Tabela 11 -	Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos atributos físicos do solo e dos componentes de produção do arroz vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi-RN, 2008.....	36
Tabela 12 -	Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos atributos químicos do solo cultivados com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008.....	41
Tabela 13 -	Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos atributos físicos do solo e dos componentes de produção do arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1 CONJUNTURA ATUAL DA CULTURA DO ARROZ.....	9
2.2. FATORES DO SOLO E DE MANEJO QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE DO ARROZ.....	11
2.3. VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS.....	12
2.4 A GEOESTATÍSTICA	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA.....	22
3.2 PREPARO DA ÁREA.....	22
3.3 IMPLANTAÇÃO DA CULTURA.....	23
3.4 TRATOS CULTURAIS.....	23
3.5 ESQUEMA EXPERIMENTAL.....	24
3.6 AMOSTRAGEM E ANÁLISES.....	24
3.6.1 Análises de solo.....	24
3.6.2 Produtividade.....	26
3.6.3. Características avaliadas em cada quadrado de 1 m²	26
3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA	28
4.1.1 Variabilidade espacial de atributos do solo.....	28
4.1.2 Variabilidade espacial da produção e seus componentes.....	28
4.1.3 Correlações de atributos do solo com produção.....	31
4.2. ANÁLISE POR MEIO DA GEOESTATÍSTICA	33
4.2.1 Semivariogramas e krigagem da área de Francisco Edilson.....	33
4.2.1.1 Atributos químicos do solo da área de Francisco Edilson.....	33
4.2.1.2 Atributos físicos do solo e componentes de produção na área de Francisco Edilson.....	36
4.2.2 Semivariogramas e krigagem área de Márcio.....	40
4.2.2.1 Atributos químicos do solo na área de Márcio	40
4.2.2.2 Atributos físicos do solo e componentes de produção na área de Márcio	44
5 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O arroz vermelho mais encontrado é a forma espontânea da espécie *Oriza sativa L.*, pouco cultivada no mundo e considerada planta invasora nas lavouras de arroz branco. No Brasil a região Nordeste é onde se encontra sua maior produção, sendo os Estados da Paraíba e o Rio Grande do Norte os maiores produtores. Este tipo de arroz é bastante utilizado na dieta dos nordestinos cozido no leite, dando origem a um dos pratos típicos da região o chamado arroz de leite.

O cultivo do arroz vermelho no Nordeste do Brasil é realizado tanto de sequeiro, aproveitando os locais onde ocorrem alagamentos no período chuvoso, ou seja, baixios e várzeas de açudes, ou o cultivo irrigado, utilizado principalmente nos vales úmidos de rios da região, nos quais se cultiva até duas safras por ano; a primeira aproveitando o período chuvoso, sendo usada a irrigação como complemento, e outra no segundo semestre do ano, com total dependência da irrigação.

A construção da barragem de Santa Cruz perenizou o Rio Apodi, RN, a partir de 2004 quando, após sangria da barragem, o vale úmido do rio passou a propiciar um aumento significativo na área plantada de arroz, produção esta desenvolvida em pequenas áreas por agricultores familiares, organizados em associações comunitárias. Estes produtores já desenvolvem esta atividade no vale há muitos anos, entretanto a área plantada passou a crescer após a melhoria nas condições de umidade do solo, provocada pela barragem. Além disso, o preço do alqueire de arroz (115 kg) atingiu valores em torno de R\$ 100,00 (cem reais), fazendo desta uma das atividades mais lucrativas e seguras para os agricultores do vale de Apodi.

Apesar das condições favoráveis, a cultura está se desenvolvendo de forma desorganizada, no processo produtivo e na comercialização, devido à forte influência dos atravessadores que financiam os pequenos produtores em todas as fases da cultura e incentivam o uso de agrotóxicos e adubos químicos. Em consequência pode estar ocorrendo a contaminação do meio ambiente e exaurindo o solo.

Uma tentativa de organização destes agricultores foi iniciada em 2005, pelo SEAPAC (Serviço de Apoio aos Projetos Alternativos Comunitários) juntamente com o Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Apodi e a COOAFAP (Cooperativa dos agricultores familiares de Apodi), nesta época foi criada a Associação dos Plantadores de Arroz do Vale do Apodi, que iniciou um processo de discussão juntamente com estas

entidades e plantadores enumerando uma série de problemas que estão sendo enfrentados por esta atividade.

Além dos problemas relacionados à desorganização destes agricultores, foram relatados sérios problemas relacionados à diminuição do perfilhamento das plantas e queda da produtividade, sendo necessário um estudo mais aprofundado sobre as possíveis causas, entre as quais o manejo utilizado na condução do plantio, qualidade da água de irrigação, tipo de solo e ocorrência de salinização do solo.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo estudar as causas da queda em produtividade na cultura arroz vermelho irrigado no vale do rio Apodi; determinar os efeitos da salinização do solo sobre o rendimento da cultura do arroz e determinar a variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo, irrigado e cultivado com arroz vermelho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONJUNTURA DA CULTURA DO ARROZ

O arroz, fonte principal de calorias para aproximadamente metade da população mundial, é ponto de apoio para as populações rurais e pilar de segurança alimentar em países em desenvolvimento, sendo cultivado principalmente por camponeses em áreas inferiores a um hectare. Desde os anos 1990, o crescimento na produção de arroz tem sido marginal em relação ao crescimento demográfico. Neste período, os preços deste cereal tiveram forte aumento com taxa de crescimento de 7% ao ano (FAO, 2008a).

Segundo IRRI (2008), o preço do arroz registrou alta de até 70% em 2007, devido ao desequilíbrio entre fornecimento e demanda, claramente indicado pela diminuição do estoque. Vários fatores são responsáveis pelo aumento no preço do arroz, entre estes: o consumo maior do que a produção; a carência de pesquisas visando aumentar a produtividade do arroz; perdas de terras para produção de arroz e de água para irrigação, devido à industrialização e à urbanização; ocupação de terras, antes voltadas para a produção de arroz, para produzir de carne e laticínios, principalmente na crescente classe média de países como Índia e China; fatores climáticos como inundações na Indonésia e Bangladesh e o recente clima frio no Vietnã e na China; substituição de arroz por culturas para produção de biodiesel e restrições às exportações por parte dos grandes produtores de arroz, China, Vietnã, Egito e Índia. Segundo a FAO (2008b), no período de março de 2007 a março de 2008, o preço da tonelada de arroz branco tipo B teve um aumento de quase três vezes, passando de 325,00 euros para 963 euros por tonelada.

Segundo a FAO (2008c), a produção de arroz em casca no mundo dobrou no período de 1970 a 2006, passando 316,3 milhões de toneladas para 634,3 milhões de toneladas, significando uma taxa de crescimento anual de 2,79%. A mesma proporção de crescimento não foi verificada na área plantada, a qual no mesmo período cresceu 16,1%. Desta forma, a maior contribuição para o aumento na produção mundial foi o aumento na produtividade, que passou de 2380,8 kg ha⁻¹ em 1970 para 4112,2 kg ha⁻¹ em 2006, significando um aumento de 72,7%.

No mesmo período a produção de arroz em casca no Brasil cresceu 52,4%, passando de 5,55 milhões de toneladas para 11,5 milhões de toneladas; devendo-se salientar que nos últimos anos a produção brasileira deste cereal vem decrescendo; em 2004 a mesma alcançava 13,2 milhões de toneladas. A causa da queda na produção é a

redução na área plantada, que em 1970 era de 4,98 milhões de hectares e reduziu-se para 2,98 milhões em 2006, numa percentagem de 40,26%. No mesmo período, houve um forte aumento na produtividade da cultura, superior ao aumento do rendimento do resto do mundo, tendo passado de 1516,3 kg ha⁻¹ em 1970 para 3867,9 kg ha⁻¹, ou seja, 155,1%. O crescimento em produtividade evitou uma queda ainda maior da produção de arroz no Brasil (FAO 2008c).

A China ocupa a primeira posição no ranking dos maiores produtores mundiais de arroz, respondendo por aproximadamente 30% da produção mundial (Tabela 1), o Brasil ocupa a nona posição, sendo o maior produtor de arroz do Ocidente e, atualmente, autossuficiente na produção (Gameiro et al. 2005). Em relação à produtividade considerando apenas os dez países com maior produção o Brasil fica na 4ª posição com 3868 kg ha⁻¹ enquanto o Egito e a Grécia apresentam as maiores produtividades de arroz em casca com 10598 kg ha⁻¹ e 9118 kg ha⁻¹, respectivamente (FAO 2008c).

Tabela 1 - Maiores produtores de arroz no mundo em 2006

Ordem	País	Produção (t)	Área (ha)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
1	China	184.070.000	29.380.000	6.265
2	Índia	136.510.000	43.700.000	3.124
3	Indonésia	054.400.000	11.400.000	4.772
4	Bangladesh	43.729.000	11.200.000	3.904
5	Vietnã	35.826.800	7.324.400	4.891
6	Tailândia	29.268.959	10.072.506	2.906
7	Myamar	25.200.000	7.200.000	3.500
8	Filipinas	15.326.706	4.159.930	3.684
9	Brasil	11.505.327	2.974.596	3.868
10	Japão	10.695.000	1.688.000	6.336

Fonte: FAO 2008c

Segundos dados do IBGE (2005), no Brasil a região Sul é responsável por 55,3% da produção de arroz (Tabela 2), seguido pela região Centro Oeste com 21,7%, a Região Norte com 11,23%, Nordeste com 9,01% e Sudeste com 2,75%. No Nordeste, o Estado do Maranhão é o maior produtor, respondendo por 56,62% da produção, e o Rio Grande do Norte é o estado com a menor produção (0,26%). No Rio Grande do Norte, o Município de Apodi é responsável por 80,66% da produção do Estado, com produtividade média de 3550 kg/ha, bem acima da produtividade do estado, que é de 2502 kg ha⁻¹, e pouco inferior a produtividade nacional de 3868 kg ha⁻¹.

Tabela 2. Produção de arroz no Brasil, por Região

Regiões	Área (ha)	Produção (t)	Produtividade (kg/ha)	Valor (1 000 R\$)
Brasil	3 915 855	13 192 863	3 369	5 014 251
Norte	654 803	1 481 872	2 263	524 284
Nordeste	805 524	1 189 173	1 476	484 201
Sudeste	148 623	363 030	2 442	178 893
Sul	1 216 686	7 295 967	5 996	2 915 513
Centro-Oeste	1 090 219	2 862 821	2 625	911 360

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção Agrícola Municipal 2005.

A área plantada em Apodi é de 700 ha, toda na região da várzea do Rio Apodi-Mossoró, uma várzea úmida e composta por dezenas de agricultores familiares com áreas de propriedades muito reduzidas, predominando áreas inferiores a 20 ha. O arroz que é plantado pelos agricultores familiares é predominantemente do tipo vermelho. O arroz vermelho cultivado no vale do rio Apodi, que dá origem ao chamado “arroz da terra”, que será o objeto deste estudo, é considerado em outras regiões do país como erva daninha nas lavouras de arroz branco (Agostinetto et al., 2004).

2.2 FATORES DO SOLO E MANEJO QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO ARROZ

De acordo com Fageria & Zimmermann (1996), após dois ou três cultivos de arroz ocorre diminuição da fertilidade do solo, tornando-se necessária uma adubação corretiva para obter boas produtividades. De acordo com os mesmo autores, a cultura responde bem à adubação, podendo aumentar a produção de grãos em até 232% quando feita adubação com N-P-K. Dentre muitos fatores responsáveis pela diminuição da produtividade do arroz, pode-se destacar o teor de sódio no solo, o qual causa redução a partir do teor de 400 mg dm^{-3} , com perdas que podem ser superiores a 50% para um o teor de Na no solo de 625 mg dm^{-3} (Amaral & Gonçalves, 1993). Enquanto isto, Amaral et al. (1992) citam que o decréscimo na produção do arroz pode chegar a 12% quando o teor sódio passa de 56 para 318 mg dm^{-3} .

Segundo Silveira et al. (1998), no arroz de sequeiro ocorre a diminuição do rendimento de grãos em cultivos consecutivos na mesma área, sendo este efeito diminuído quando usado sucessão com outra cultura, como também quando plantado no sistema plantio direto. Farinelli et al. (2004), estudando os efeitos da adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura de arroz, observaram que diversas características produtivas foram beneficiadas positivamente pela adubação nitrogenada e potássica. A melhor combinação de doses seria em torno de 65 kg ha^{-1} de N e 20 kg ha^{-1}

de K₂O, resultando em maiores valores de produtividade e proteína bruta por hectare.

Em relação ao manejo de irrigação, a cultura do arroz é, em geral, irrigada por inundação contínua. Esta irrigação proporciona maiores produtividades como também melhora a qualidade industrial dos grãos. A aplicação de lâmina constante no sistema de irrigação por inundação na cultura do arroz tem influência em muitas características químicas do solo, podendo aumentar o pH em solos ácidos (Beltrame et al., 1991). De acordo com os mesmos autores, a percolação da água de irrigação tem elevada correlação com a lixiviação de nutrientes, sendo o nitrogênio na forma de nitrato o mais facilmente lixiviado. Em condições de irrigação por inundação, parte do ferro do solo passa da forma oxidada (Fe⁺³) para a forma reduzida (Fe⁺²), mais solúvel, que é a forma pelo qual o ferro é absorvido pelas plantas, podendo causar toxidez (Fischer et al., 1990). Nas mesmas condições, outros micronutrientes podem provocar toxidez na cultura do arroz, entre eles Na, Cl e B (Macedo et al., 2006).

2.3 VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

Diante da necessidade de aumento da eficiência em todos os setores da economia, para manter a competitividade, para a agricultura não poderia ser diferente. A evolução em áreas como informática, geoprocessamento, sistemas de posicionamento global e outras tecnologias, estão proporcionado à agricultura uma nova forma de se enxergar a propriedade, deixando de ser uma somente e sim várias propriedades dentro da mesma, porém com características específicas. Esta mudança na forma de fazer agricultura está tornando cada vez mais o produtor rural um empresário rural, por controlar cada vez mais a linha de produção (Tschiedel & Ferreira, 2002), tendo preocupação com a conservação dos recursos naturais e impondo à atividade agrícola novos métodos e técnicas de produção, aliados à eficiência e maior controle dos resultados obtidos no campo, em relação ao que se pratica hoje (Silva et al. 2008).

Ainda de acordo Silva et al. (2008), é necessário que se entenda a propriedade como não homogênea e que se trate cada parte conforme as suas necessidades, fazendo com que o produtor tenha o conhecimento detalhado de cada metro quadrado da sua propriedade. Entretanto, a variabilidade dos solos nas áreas agrícolas não é considerada pelas empresas agrícolas, que preferem, por razões de simplificação, aplicar práticas homogêneas de manejo do solo para o total da área cultivada. Essa prática

comportamental pode ocasionar aplicações de insumos ou de irrigação abaixo ou acima da real necessidade de partes do campo de cultivo, elevando os custos de produção e, ao longo dos anos, sendo fonte potencial de poluição de águas superficiais e subterrâneas (Bolfe et al., 2007).

Segundo Lima et al. (2007), a variação em propriedades do solo causa produtividade desuniforme, mesmo em parcelas pequenas, o que pode mascarar o efeito de tratamentos em investigação agrícola e diminuição da eficiência da aplicação de fertilizantes em escala de campo.

A variabilidade espacial dos atributos do solo influencia de forma decisiva o manejo a ser adotado nas áreas cultivadas. O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo é um importante passo para que seja efetuado o seu manejo adequado. Além da variabilidade natural do solo, as práticas agrícolas de manejo são fontes adicionais que a causam (Kitamura et al., 2007). A variabilidade de atributos do solo não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial (Vieira et al., 1981; Vieira et al., 1983; Trangmar et al., 1985); sendo que esta variabilidade do solo se correlaciona com a variabilidade da cultura, que segue o mesmo comportamento (Miller et al., 1988; Bhatti et al., 1991)

De acordo com Carvalho et. al. (2002), o manejo do solo, por exemplo, operações de campo realizadas em uma única direção, podem influenciar na variabilidade espacial, podendo também diminuir a dependência espacial dos atributos químicos na camada superficial do solo em relação à camada mais profunda (Corá et al., 2004). Segundo Cavalcante et al. (2007), o uso e manejo do solo a da cultura realizado ao longo do tempo evidenciaram a variabilidade espacial dos atributos químicos: K, Mg e Ca, quando submetidos aos sistemas de vegetação natural (Cerrado), plantio direto, plantio convencional e pastagem.

Segundo Cunha et al. (2005) as variações dos solos mostraram-se, em maior parte, relacionadas com a idade do solo, com o material de origem e com a inclinação do terreno. A compreensão da sucessão de eventos geomórficos é de grande importância para a compreensão da variação dos atributos dos solos. O clima pode, também, ser responsável pela variabilidade da produtividade, neste sentido Amado et. al. (2007) verificaram que o déficit hídrico foi o fator que se correlacionou de maneira mais marcante com a produtividade das culturas do milho e trigo. Os cultivos em linhas, com aplicação localizada de fertilizantes, são fontes adicionais de variabilidade do solo, evidenciando o manejo da adubação como responsável pela alteração do comportamento

da fertilidade natural do solo.

Para o entendimento das causas da variabilidade do solo, é preciso conhecer os processos do solo que operam em locais específicos. Estes processos estão muito ligados ao fluxo de água em subsuperfície, que, por sua vez, é controlado pelo relevo. Neste sentido, a individualização das formas do relevo tem sido eficiente para identificação e mapeamento de áreas com variabilidade (Souza et al., 2004a), coincidindo pequenas variações no relevo com variações em atributos químicos do solo (Souza et al., 2004b).

Na agricultura de precisão o manejo é realizado de acordo com a variabilidade no campo, exigindo técnicas eficientes para estimar e mapear a variabilidade espacial e, ou, temporal das características e propriedades dos solos. Para isto, aplicam-se métodos estatísticos de interpolação para obter as características e propriedades dos solos nos locais não amostrados, visando diminuir o número de amostras necessárias para um bom mapeamento do campo (Angélico, 2006). A krigagem é uma das ferramentas que permite conhecer esta distribuição espacial, permitindo o manejo regionalizado do solo, atendendo às premissas da agricultura de precisão (Couto & Klant 1999; Motomiya et al., 2006); outro método de interpolação, usado para mapear os atributos do solo, é o quadrado do inverso da distância entre amostras (Schloeder et al., 2001).

Segundo Corá & Beraldo (2006), existindo dependência espacial de atributos do solo, expressa no semivariograma, os mapas de isolinhas elaborados por meio da krigagem apresentam com maior precisão os diferentes padrões de ocorrência da distribuição espacial dos atributos, comparados aos mapas de isolinhas construídos utilizando-se do interpolador linear para estimativa dos valores em locais não medidos.

Segundo Viera & Gonzáles (2003), em estudo sobre as causas de variabilidade em produtividade das várias culturas, correlacionando os componentes de produtividade com a variabilidade das propriedades do solo, observou-se que os fatores que afetam a variabilidade da produtividade variam de uma cultura para outra. Além disto, as variações de um ano para outro, na produtividade das culturas, sugerem que as causas da variabilidade mudam com o tempo. As alterações temporais entre os semivariogramas cruzados do teor de fósforo nas folhas com a produtividade da soja constituem-se em evidência desta observação.

Em estudo sobre a variabilidade da produção de melão irrigado no Semiárido do Rio Grande do Norte, Miranda et al. (2004) observaram que o coeficiente de variação para produtividade de frutos tipo exportação foi de 134,65%, variabilidade esta que apresentou correlação negativa com a vazão e a distância de entrada da água na parcela,

além do teor de Mg no solo.

A variabilidade na produtividade de milho em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico apresentou amplitude de 2.190 a 7.380 kg ha⁻¹, observando-se, também, variabilidade na saturação por alumínio, alumínio trocável e acidez potencial, que apresentaram semivariogramas semelhantes, com valores de alcance muito próximos, indicando que a produtividade do milho pode estar associada a uma toxidez de alumínio na área (Silva et al., 2003).

Em estudo sobre a variabilidade espacial da produtividade de cana de açúcar, Oliveira et al. (2002) observaram como causas a deficiência nutricional associada ao tipo de solo, manejo e declividade do terreno, sendo que nas áreas mais baixas do terreno, o nitrogênio foi o nutriente mais relacionado.

As propriedades químicas e granulométricas de solos intensamente manejados apresentam variabilidade espacial, a qual, por sua vez, se correlaciona com o relevo do solo, mesmo de pequena expressão, sendo esta variabilidade dos atributos do solo responsável pela variação na produtividade de café, que apresentou dependência espacial e coeficiente de variação de 88,72% (Sanches et al., 2005). Silva et al. (2008) observaram comportamento semelhante na variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e da produtividade da cultura do café, a qual apresentou coeficiente de variação de 78,57%. Segundo os autores, a grande amplitude nos atributos químicos justifica o estudo da aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes na lavoura cafeeira.

Segundo Scherpinski (2005) os atributos hídricos do solo estão correlacionados entre si, sendo que a produtividade da soja está correlacionada positivamente com a macroporosidade e porosidade do solo e negativamente correlacionada com a densidade do solo. Segundo Johann et al. (2004) o atributo físico resistência mecânica à penetração na camada 0-10 cm de profundidade foi a variável que melhor se correlacionou com a produtividade de soja em um Latossolo Bruno distrófico, pois nos locais onde ocorreram as menores produtividades se obteve maior índice de compactação e vice-versa.

2.4 A GEOESTATÍSTICA

A aplicação da estatística clássica em estudos de dados de um campo experimental reduz-se a uma média e medidas de dispersão em relação a ela. A variabilidade dos números medidos é descrita pela estimativa da variância e pelo coeficiente de variação (CV). Para se admitir independência entre amostras, pesquisadores vêm se valendo da

casualização e repetição, somadas à distribuição normal dos dados, garantindo o uso dessas características para representar a população (Berner et al., 2007).

Segundo Carvalho et al (2002), a estatística clássica assume que a variação das características do solo dentro das unidades amostrais não são correlacionadas, e que a média das amostras é o melhor estimador das características de solo em qualquer local na unidade amostral. Por isto, antes da aplicação das ferramentas geoestatística, os dados devem ser analisados inicialmente através dos procedimentos da análise estatística descritiva, para visualizar o comportamento geral dos dados e identificar possíveis valores discrepantes, fundamental para a tomada de decisões sobre os procedimentos a serem realizados (Salviano, 1996).

Segundo Chaves et al (2006) as estatísticas descritivas usualmente aplicadas são: média; mediana; moda; valores máximo e mínimo; desvio padrão (DP); coeficiente de variação (CV); assimetria e curtose; histogramas de frequência para verificar a distribuição de frequência dos dados; teste de Komolgorov-Smirnov (KS) para verificar a aderência dos dados à distribuição normal. Segundo Sousa et al. (1999), o objetivo não é fazer inferências, mas analisar o comportamento inicial dos dados.

Segundo Grego & Vieira (2005), é necessário associar tecnologia à variabilidade espacial e temporal, sobretudo na pesquisa agrícola, que estuda o solo e sua capacidade produtiva. Determinar a variabilidade das propriedades do solo e culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala. Apesar de experimentos de campo serem, em sua maioria, divididos em parcelas ou áreas relativamente pequenas amostradas aleatoriamente, considerar as parcelas experimentais uniformes quanto aos seus atributos, mesmo em pequenas áreas, pode levar a interpretações errôneas das respostas obtidas, pois a hipótese de haver dependência espacial estará sendo ignorada. Por isto, a análise da variabilidade e da dependência espacial de uma variável é importante para o planejamento de experimentos, bem como para avaliar efeitos de tratamentos, pois reduz a variação experimental atribuída ao erro aleatório (Cichota et al., 2003)

Vieira et al. (1981) afirmam que a variabilidade de propriedades do solo é espacialmente dependente, ou seja, dentro de um certo domínio, as diferenças entre os valores de uma propriedade do solo podem ser expressas em função da distância de separação entre as observações medidas. Como consequência da variação contínua dos solos, é válido afirmar que os atributos em locais mais próximos são mais semelhantes entre si do que os mais distantes (Kuzyakova et al., 2001). Nestas análises, assume-se

que as observações são independentes espacialmente, isto é, as variações de um lugar para outro são consideradas aleatórias.

A geoestatística vem sendo cada vez mais aplicada na Ciência do Solo, tornando-se ferramenta adicional no estudo de seus atributos espacialmente correlacionados, exatamente porque incorpora em si a possibilidade de se estudar o comportamento da variabilidade espacial, permitindo a interpretação dos resultados com base na estrutura dessa variabilidade, além de poder quantificar o seu tamanho (Cavalcante et al., 2007). Assumida a estacionaridade, hipótese intrínseca, e considerando que há associação das variáveis em pontos distintos, a etapa seguinte consiste em descrever e modelar estas relações entre distâncias e associações espaciais (Ortiz, 2002).

A estimativa da dependência entre amostras vizinhas no espaço pode ser realizada por meio da autocorrelação, que é muito útil quando se faz amostragem em uma direção, ou, quando a amostragem envolve duas direções (x,y), por meio do semivariograma, (Silva, 1988), o qual assume papel fundamental na estimativa da dependência espacial entre amostras (Roque et al., 2006). O semivariograma é uma representação gráfica entre a semivariância $\gamma(h)$, representada na coordenada Y, em função de uma determinada distância (h), representada na coordenada X (Machado et al., 2007).

A partir de N pares de observações separadas pela distância h ("lag") pode-se obter o semivariograma médio (Equação 1).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (01)$$

No semivariograma, $N(h)$ representa o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por uma determinada distância (h). Os valores de Z podem ser qualquer um dos parâmetros estudados, enquanto os valores de x_i e $x_i + h$ são definidos de acordo com as posições dos pontos amostrais no campo. O gráfico de $\gamma(h)$ versus h representa o semivariograma (Figura 1), que permite obter a estimativa do valor de semivariância para as diferentes combinações de pares de pontos e assim analisar o grau de dependência espacial da variável estudada e definir os parâmetros necessários para a estimativa de suas características em locais não amostrados (Souza, 1999).

Quando o semivariograma for constante e igual ao patamar, para qualquer valor de h, ou seja, a semivariância $\hat{\gamma}(h)$ é igual para todos os valores de h, tem-se um efeito

pepita puro, indicando ausência total de dependência espacial ou, uma distribuição espacial completamente aleatória. Neste caso, o alcance (A_o), para os dados em questão, é menor do que o menor espaçamento entre amostras. O patamar (C_0+C), que é o valor constante da semivariância onde a curva se estabiliza, é representado pelo ponto onde toda a semivariância da amostra é de influência aleatória. O alcance indica que amostras localizadas a distâncias menores que ele são dependentes espacialmente umas das outras. O alcance depende do tamanho da área amostrada e da escala de observação, sendo tanto maior quanto maior o intervalo entre medidas (Trangmar et al., 1985).

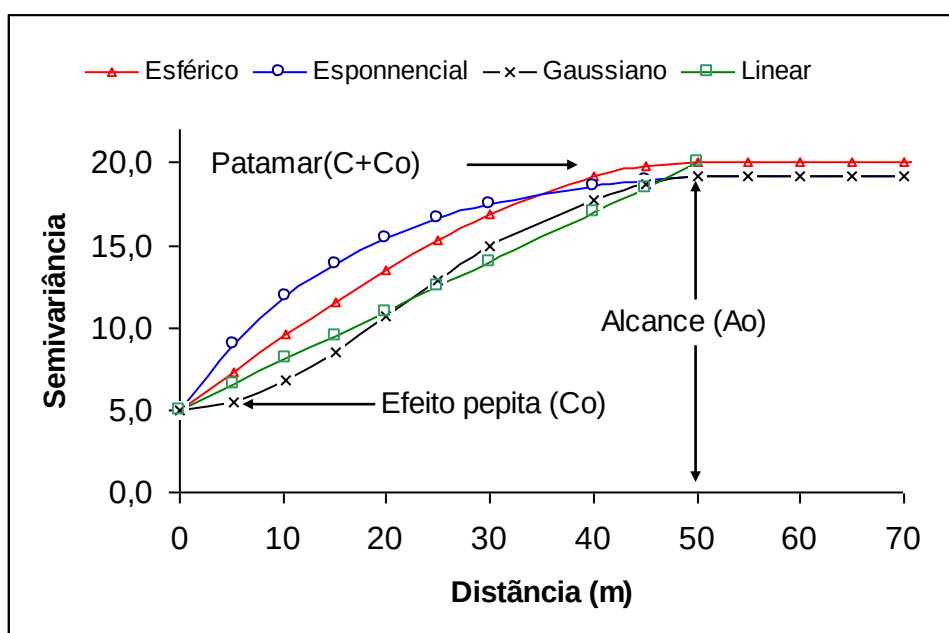


Figura 1 – Semivariograma típico com os principais parâmetros e modelos

Os modelos com patamar são referências na geoestatística como modelos transitivos, os modelos sem patamar ocorrem quando os fenômenos possuem capacidade infinita de dispersão, sendo o modelo linear e potência os modelos sem patamar e os modelos transitivos são esférico, exponencial e gaussiano (Siqueira, 2006). O modelo matemático esférico é o mais adequado para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos de plantas e de solos (Trangmar et al. 1985; Cambardella et al., 1994). Entre os modelos teóricos principais para ajustar os semivariogramas, quatro deles são representados pelas seguintes equações (Vieira, 2000):

Modelo Linear (equação 2 e 3):

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \frac{h}{a} \quad 0 \leq h \leq a \quad (02)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \quad h > a \quad (03)$$

em que, h é a distância entre pares de dados, C_0 é o efeito pepita, C_1 é a componente estrutural, C_0+C_1 é o patamar e a é o alcance.

Modelo Esférico (equação 4 e 5):

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad 0 \leq h \leq a \quad (04)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \quad h > a \quad (05)$$

Modelo Exponencial (equação 6):

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] \quad 0 \leq h \leq d \quad (06)$$

em que, d é a máxima distância em que o semivariograma é definido.

Modelo Gaussiano (equação 7):

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right] \quad 0 \leq h \leq d \quad (7)$$

Após ajustado um modelo matemático ao semivariograma, pode ser determinada a razão de dependência espacial (RD), por meio da equação 8, que representa a porcentagem de efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C$). Conforme proposto por Cambardella et al. (1994), quando $RD < 25\%$ a dependência é forte; de 25% a 75% a dependência é/moderada e $> 75\%$ a dependência é fraca.

$$RD = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) \times 100 \quad (8)$$

O fenômeno estudado pode ou não apresentar estruturas de variabilidade espacial diferente conforme a direção (X ou Y) tomada dentro da área. Estas diferenças podem ser percebidas comparando os semivariogramas estimados para as direções 0° , 45° , 90° e 135° . Quando esta estrutura de dependência espacial é a mesma para todas as direções, ou seja, h é considerado como escalar, o fenômeno é dito isotrópico, caso contrário, considera-se h um vetor e o fenômeno é dito anisotrópico (Camargo, 1997).

Segundo Vieira & Lombardi Neto, (1995) quando os valores das semivariâncias aumentam com a distância, sem ter limites claros, existe uma tendência de aumento considerável na variabilidade dos dados em alguma direção, o que pode invalidar a

hipótese de estacionaridade estatística de segunda ordem. Se isso acontecer, é necessário remover tal tendência por meio do escalonamento, que consiste em dividir-se as semivariâncias de cada variável espacial pelas respectivas variâncias. Se os valores de $Y(h)$ forem crescentes, até uma distância na qual se estabilizam, então, dependência e estacionaridade existem, e podem ser usadas na estimativa de valores para locais onde a propriedade não foi medida, através da equação. Dessa maneira, evita-se que estimativas sejam feitas por processos desconhecidos para todos os locais na área em estudo.

Quando se escalona um semivariograma pela variância, o efeito pepita torna-se automaticamente uma fração do patamar (Vieira et al., 1998), facilitando as interpretações e comparações entre semivariogramas de diferentes propriedades, já que assim pode se verificar se contam com o mesmo padrão de variabilidade espacial, uma vez que assumem valores em uma escala padronizada.

Após a modelagem dos semivariogramas, a interpolação é feita pela krigagem, sendo esta uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade em locais não amostrados, a partir de valores vizinhos amostrados na malha (Roque et al., 2006). A krigagem é uma técnica usada na geoestatística com o objetivo de estimar valores de variáveis para locais onde as mesmas não foram medidas a partir de valores adjacentes interdependentes. Para que esta ferramenta seja usada é necessário que exista a dependência espacial definida pelo semivariograma.

Segundo Motomiya et al. (2006) a krigagem ordinária, que é um método de interpolação de dados, usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do espaço analisado, ao qual o modelo do semivariograma foi ajustado, sem tendência e com variância mínima. Esse estimador nada mais é do que uma média ponderada dos valores observados. Segundo Vieira (2000), para utilizar-se este interpolador na confecção de mapas é necessário que a variável estudada apresente dependência espacial.

De acordo com Camargo (1997), a krigagem se diferencia de outros métodos de interpolação pela forma de atribuição dos pesos, já que neste método não se utiliza a distância euclidiana entre os pontos, mas uma "distância estatística" que expressa tanto a distância como a estrutura de variabilidade (semivariância ou covariância). Não apenas a distância dos vizinhos ao ponto a ser estimado é considerada, mas também as distâncias entre os mesmos influencia a distribuição dos pesos. Assim, os vizinhos agrupados têm importância individual relativamente menor do que aqueles isolados.

No método de interpolação por krigagem estimam-se valores para locais não amostrados a partir de uma combinação linear dos valores medidos em locais vizinhos. Assim, vizinhos mais próximos do ponto a ser estimado têm pesos maiores do que vizinhos mais distantes, o que é matematicamente representado na expressão utilizada por Borguelt et al. (1994), descrita na equação 9.

$$\bar{Z}(x_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (9)$$

Em que, $\bar{Z}(x_o)$ é o valor estimado para um local não amostrado; λ_i são os pesos da krigagem; $Z(x_i)$ é o valor medido no local x_i ; x_i é o local amostrado e N , o número de vizinhos utilizados na amostragem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

O trabalho foi realizado em Apodi, RN, na região conhecida como várzea do rio Apodi, compreendendo a área de abrangência da Associação dos produtores de arroz do vale do Apodi. Os experimentos foram realizados em três áreas de produtores de arroz vermelho (*Oriza sativa* L.), sendo uma na Comunidade de Santa Rosa, do Proprietário Francisco Edílson, cujas coordenadas geográficas são: 05° 42' 11,00'' de latitude sul, 37° 45' 22,80'' de longitude oeste e altitude, em relação ao nível médio dos mares, de 42 m. As outras áreas se localizavam na comunidade de Reforma, sendo uma de José Nilson, com coordenadas geográficas: 05° 40' 00,50'' de latitude sul, 37° 42' 49,60'' de longitude oeste e altitude de 35 m, e a outra de Márcio com coordenadas geográficas 05° 40' 00,50'' de latitude sul, 37° 43' 02,80'' de longitude oeste e altitude de 35 m.

O clima da região é do tipo BSw^h de Köppen, isto é, seco, muito quente com a estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono e temperatura média anual e temperatura do mês mais frio maior do que 18° C. A precipitação pluvial média anual é de 500 a 600 mm, com chuvas predominando de fevereiro a maio. Pela classificação de Thornthwaite, o clima é do tipo DdA'a', semi-árido, com pequeno ou nenhum excesso de água durante o ano, e megatérmico (Carmo Filho & Oliveira, 1989).

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.

3.2 PREPARO DA ÁREA

Inicialmente as áreas foram limpas para retirar a vegetação espontânea, sendo que na área de José a vegetação era mais abundante, devido ao longo período sem utilização. As duas outras áreas apresentavam-se cobertas com vegetação herbácea e seca. O preparo do solo consistiu de: destoca apenas na área de José; grade aradora de discos para triturar a vegetação; grade destorroadora; grade niveladora com rolo traseiro para

formar o dique divisório das bacias de irrigação. A primeira irrigação após o preparo do solo serviu para consertar imperfeições nas bacias de irrigação e para nivelá-las, operação esta realizada com o auxílio de um tronco de carnaúba tracionado por animais.

3.3 IMPLANTAÇÃO DA CULTURA

O arroz vermelho foi plantado por meio de semeadura a lanço, aplicando ao redor de 60 kg ha^{-1} de sementes, cuja origem é o Estado da Paraíba, com o nome de “morada nova”, segundo agricultores da região. Esta semente não é reconhecida como variedade, sendo plantados grãos colhidos para fins comerciais. A área de Francisco Edílson (1,34 ha) foi plantada em 25 de agosto de 2007, a área de José (3,34 ha) foi plantada em 15 de setembro de 2007 e a área de Márcio (1,62 ha) foi plantada em 24 de setembro de 2007. Das três áreas em estudo, apenas em duas foi possível realizar a colheita e completar os experimentos, sendo que na área de José não foi possível obter os dados de produção.

3.4 TRATOS CULTURAIS

A irrigação foi realizada pelo sistema de irrigação por inundação intermitente, sendo a água obtida de poços amazonas, bombeada até as áreas e distribuída dentro destas em quadros separados por diques (baldes). As características das águas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características da água de poços amazonas utilizados para irrigação do Arroz Vermelho nas três propriedades estudadas. Apodi-RN, 2008

Local	pH	CE dS m ⁻¹	Na	HCO ⁻³	CO ⁻³	Cl	K	Ca	Mg	Σ cát	RAS	Dureza mg L ⁻¹
mmol _c dm ⁻³												
Francisco	6,8	2,23	2,49	2,9	0,0	14,8	0,15	4,20	2,0	8,85	1,05	310
Márcio	6,9	0,45	0,72	1,4	0,0	2,20	0,08	1,40	0,8	3,00	0,65	110
José	6,9	1,93	1,69	1,7	0,0	12,8	0,16	5,20	2,6	9,65	0,77	390

As capinas foram realizadas por métodos mecânicos, com arranquio manual de algumas plantas, e de forma química, utilizando-se o herbicida propanil na dosagem de 4 litros ha⁻¹, aplicado em pós-emergência, aproximadamente 30 dias após o plantio.

A adubação foi realizada com a aplicação de 180 kg ha^{-1} de N, na forma de uréia, parcelado em duas aplicações de 90 kg/ha de N, sendo a primeira uma semana após a aplicação do herbicida e a restante quando as plantas estavam com aproximadamente com 90 dias de idade. Por ocasião das aplicações de inseticidas para controle de pragas

foram realizadas aplicações foliares de adubos com micronutrientes. O controle de pragas foi realizado com a aplicação dos inseticidas fosforados Metomil e Monocrotofós para controle de percevejos.

A Colheita foi realizada de forma manual, quando as plantas estavam com os grãos maduros e se observou mudança na cor da planta para o amarelo, o que ocorreu em média 160 dias após o plantio. Após o corte das plantas rente ao solo e amontoa, ocorreu a trilha com trilhadora estacionária acionada por trator.

3.5 ESQUEMA EXPERIMENTAL

A Figura 2 representa as malhas de amostragem das três áreas. Na área de Francisco (10.127 m²) foi locada uma malha com espaçamento regular de 20 m, sendo georeferenciados 34 pontos com GPS e, em seguida marcados com piquetes; na área de José Nilson (40.310 m²) foi locada uma malha com espaçamento de 20 m onde foram georeferenciados 42 pontos; na área de Márcio (16.120 m²) foi locada malha de 33 pontos georeferenciados, além de dois transectos com espaçamento regular de 2 m.

3.6 AMOSTRAGEM E ANÁLISES

3.6.1 Análises de solo

As amostras de solo foram retiradas com trado nas camadas de 0 a 20 cm para a realização das seguintes análises:

a) Físico-Químicas e Químicas:

O pH foi determinado potenciométricamente por meio de eletrodo combinado imerso em água; os cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺) foram extraídos com solução de KCl e quantificados através de espectrofotometria de absorção atômica, enquanto que K⁺ e Na⁺ foram extraídos através de solução de HCl e H₂SO₄ e determinados por espectrofotometria de chama; a acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) foi extraída com solução tamponada de acetato de cálcio e determinada por titulação com NaOH; o fósforo disponível (P) foi extraído pela resina trocadora de ânions e determinado por fotolorimetria (EMBRAPA, 1997). A partir dos teores de nutrientes determinados, foram calculadas várias relações, como soma de bases (SB), Ca:Mg, Mg:K, K/(raiz(Ca+Mg)), P:Mg.

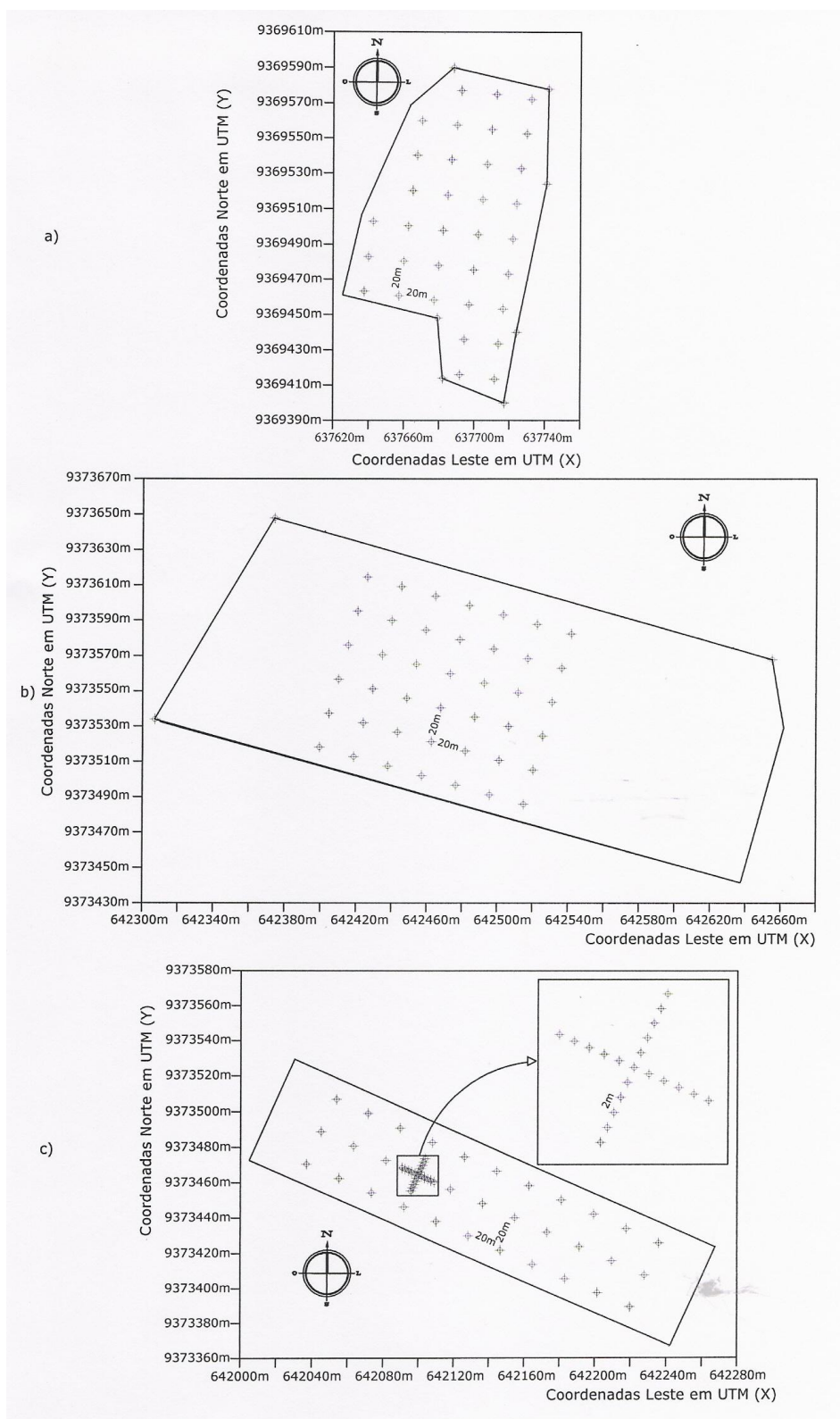


Figura 2 – Malhas de amostragem das três propriedades cultivadas com arroz vermelho: a) Francisco, b) José e c) de Márcio. Apodi-RN, 2008

b) Físicas

Na análise granulométrica a argila foi determinada pelo método da pipeta após a dispersão do solo por agitação mecânica e química com NaOH, a areia por tamisação e o silte, pela diferença (EMBRAPA, 1997).

3.6.2 Produtividade

Na colheita, realizada aos 160 dias após o plantio, foram colhidas amostras somente das panículas em cada ponto georeferenciado, para isto foi utilizada uma estrutura de madeira com área de 1 m^2 (Figura 3).



Figura 3 – Colheita de arroz em quadro de 1 m^2 na área de Márcio. Apodi-RN, 2008

3.6.3 Características avaliadas em cada quadrado de 1 m^2

Foram determinados o peso de grãos por m^2 (g); o número de panículas; o peso de 100 grãos; além do peso de grãos cheios e chochos em uma amostra de 20 panículas.

3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As variáveis foram inicialmente analisadas por meio da estatística descritiva para visualizar o comportamento geral dos dados e identificar possíveis valores discrepantes.

As medidas estatísticas determinadas foram: média, mediana, máximo, mínimo, amplitude total, variância, desvio padrão, coeficiente de variação (CV), assimetria e curtose. O nível de variabilidade das variáveis analisadas foi classificado conforme o coeficiente de variação (CV), segundo Warrick (1998), como baixo para CV menor que 15%, médio para CV entre 15 e 50% e alto para CV acima de 50%. Foi determinado o coeficiente de correlação de Spearman entre algumas variáveis cujos dados não seguiram a normalidade, conforme Stenger et. al. (2002). A aderência dos dados à distribuição normal foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade. Os valores eram considerados discrepantes dos valores vizinhos e eliminados, quando eram menores que a diferença entre o quartil inferior e 1,5 vezes a amplitude interquartílica e/ou maiores do que a soma entre o quartil superior e 1,5 vezes a amplitude interquartílica.

As variáveis dependentes foram número de panículas, peso grãos chochos, peso de grãos cheios, peso de 100 grãos, peso de grãos na parcela de 1m^2 ; as variáveis independentes foram pH, condutividade elétrica da pasta de saturação do solo, teor de cálcio mais magnésio (Ca+Mg), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), alumínio (Al), fósforo (P), soma de bases (SB), Areia, Silte, Argila, as relações Ca:Mg, Mg:K, $K/(\text{raiz}(\text{Ca}+\text{Mg}))$, P:Mg e a distância do ponto amostrado até entrada de água na área (DEAG).

As análises geoestatísticas, realizadas com o auxílio dos programas computacionais GeoEAS 1.2.2 (Englund e Sparks, 1991) e Variowin (Pannatier, 1996), foram utilizadas para avaliar a dependência espacial das variáveis estudadas e confeccionar mapas de isovalores por meio de interpolação por krigagem. Para isto, foram confeccionados semivariogramas omnidirecionais e para eles foi determinado o modelo de melhor ajuste, utilizando como critério o IGF (Indicative Goodness of Fit) de Pannatier (1996). O grau de dependência espacial foi classificado segundo Cambardella et al. (1994) conforme a relação efeito pepita/patamar (REPP): a dependência espacial é alta se REPP for menor ou igual a 25%, é média se REPP estiver entre 25% e 75% e é fraca se for maior do que 75%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

4.1.1 Variabilidade espacial de atributos do solo

Nas Tabelas 04 e 05 está apresentada a estatística descritiva dos atributos químicos e físicos das áreas estudadas. Na área de Francisco Edilson as variáveis que se ajustaram à distribuição normal foram pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , areia, silte e argila. Quanto à variabilidade, ela foi baixa para pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , silte e argila e alta para CEes, enquanto as outras variáveis apresentaram média variabilidade, de acordo com Warrick (1998). Na área de Márcio somente pH e P se ajustaram à normalidade e apenas o pH apresentou variabilidade baixa, enquanto as outras variáveis apresentaram variabilidade média.

Em relação ao pH, a acidez foi baixa, com valores de 6,6 na área de Francisco e 6,1 na área de Márcio, maiores do que os valores citados por Fageria (2001), para quem a faixa de pH mais adequada para a produção do arroz está entre 5 e 5,4, enquanto que entre 4,6 e 5,5 seria melhor para absorção de nutrientes. Na área de Francisco os valores máximos chegam a ser classificados como alcalinidade baixa e os valores mínimos na área de Márcio podem ser classificados com acidez média.

Tabela 4 - Estatística descritiva de valores medidos na camada de 0 a 20 cm de características químicas e físicas do solo cultivado com Arroz Vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi-RN, 2008

Variável	Nº	Mín	Máx	Amp	Média	DP	CV	Ass	Curt	S-W
pH em água	34	6,00	7,30	1,30	6,618	0,304	4,59	0,052	0,476	0,947 ^{ns}
CEes (dS m^{-1})	34	0,25	2,35	2,10	0,805	0,476	59,16	2,220	4,937	0,728 ^{**}
Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	34	11,80	19,00	7,20	15,090	1,778	11,78	0,420	3,160	0,949 ^{ns}
Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	34	7,00	10,10	3,10	8,197	0,799	9,75	0,077	-0,542	0,951 ^{ns}
Na ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	30	0,16	3,03	2,87	1,713	0,593	34,61	-0,260	1,721	0,931 ^{ns}
K ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	33	0,21	1,10	0,89	0,741	0,283	38,15	-0,469	-1,026	0,914 [*]
Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	31	0,05	0,15	0,10	0,056	0,021	37,87	3,561	13,02	0,349 ^{**}
P (mg dm^{-3})	34	20,41	112,4	91,97	72,630	31,580	43,47	-0,416	-1,631	0,825 ^{**}
Areia (g kg^{-1})	34	0,07	0,30	0,23	0,156	0,046	29,62	0,844	1,489	0,957 ^{ns}
Silte (g kg^{-1})	34	0,46	0,60	0,14	0,531	0,030	5,74	-0,210	0,436	0,966 ^{ns}
Argila (g kg^{-1})	34	0,22	0,40	0,18	0,313	0,040	12,82	-0,316	-0,038	0,975 ^{ns}

A condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) das áreas apresentou valores inferiores a 4 dS m^{-1} , o que não implica em problemas de salinidade do solo, segundo Bernardo et al. (2006). A área de Francisco apresentou valores pouco superiores aos da área de Márcio, 0,8 e $0,4 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente.

Tabela 5 - Estatística descritiva de valores medidos na camada de 0 a 20 cm de características químicas e físicas do solo cultivado com Arroz Vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008

Variável	Nº	Mín	Máx	Amp	Média	DP	CV %	Ass	Curt	S-W
pH Água	53	5,74	6,53	0,79	6,125	0,192	3,127	-0,095	-0,492	0,973 ^{ns}
CE extrato (dS m ⁻¹)	53	0,32	0,83	0,51	0,442	0,147	33,34	1,30	0,549	0,782 ^{**}
Ca (cmol _c dm ⁻³)	53	4,6	18,9	14,3	14,26	3,247	22,76	-1,088	1,154	0,914 ^{**}
Mg (cmol _c dm ⁻³)	53	3,1	9,8	6,7	7,393	1,59	21,51	-0,695	-0,141	0,942 [*]
Na (cmol _c dm ⁻³)	53	0,36	1,97	1,61	0,948	0,348	36,68	0,751	0,249	0,942 [*]
K (cmol _c dm ⁻³)	53	0,24	0,89	0,65	0,472	0,145	30,77	0,921	0,766	0,931 ^{**}
Al (cmol _c dm ⁻³)	53	0,05	0,1	0,05	0,054	0,013	24,80	3,309	9,300	0,297 ^{**}
P (mg dm ⁻³)	53	19,63	68,51	48,88	39,98	11,19	27,99	0,478	0,087	0,967 ^{ns}
Areia (g kg ⁻¹)	52	0,13	0,75	0,62	0,306	0,143	46,60	1,285	1,302	0,875 ^{**}
Silte (g kg ⁻¹)	52	0,16	0,49	0,33	0,398	0,065	16,31	-1,44	2,376	0,867 ^{**}
Argila (g kg ⁻¹)	52	0,02	0,44	0,42	0,295	0,083	28,14	-1,177	1,654	0,919 ^{**}

Os valores de cálcio nas áreas de Francisco e Márcio apresentaram-se altos, respectivamente 5,1 cmol_c dm⁻³ e 14,3 cmol_c dm⁻³, pois valores acima de 4,0 cmol_c dm⁻³ são considerado altos, segundo Malavolta et al. (1997). Os valores de magnésio de 8,2 cmol_c dm⁻³ na área de Francisco e de 7,4 na área de Márcio também são altos de acordo com os mesmos autores. O teor médio de potássio encontrado na área de Francisco (0,74 cmol_c dm⁻³) é considerado muito alto e foi bem superior ao da área de Márcio (0,47 cmol_c dm⁻³), considerado alto segundo Lopes (1998).

No caso do sódio, a partir dos seus teores no solo, é importante calcular a percentagem de sódio trocável PST, a qual foi 6,75 e 4,11% para as áreas de Francisco e Márcio, valores considerados normais por Bernardo et al. (2006) e Chaves et al. (1998).

Os valores de fósforo na área de Francisco de 72,63 (mg kg⁻¹) foram, a exemplo de potássio, superiores aos encontrados na área de Márcio 39,98 (mg kg⁻¹), sendo considerados altos em Francisco e médios em Márcio (Lopes, 1998).

As características físicas do solo determinadas foram os teores de areia, silte e argila, dos quais existem diferenças entre as áreas, pois a área de Francisco é classificada como solo Franco Siltoso, e a área de Márcio como solo Franco Argiloso (Muniz, 1972). A maior diferença entre as áreas foi observada na percentagem de silte, que na área de Francisco apresentou valor médio de 53,1% e na de Márcio de 39,8%.

4.1.2 Variabilidade espacial da produtividade e seus componentes

Nas Tabelas 06 e 07 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados de produção e dos componentes de produção das áreas de arroz vermelho pertencentes a Francisco Edilson e a Márcio, na qual não foram determinados o número

de panículas por m², nem os grãos chochos.

Tabela 6 - Estatística descritiva de valores dos componentes de produção do Arroz Vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi-RN, 2008

Variável	Nº	Mín	Máx	Amp	Média	DP	CV	As	Curt	S-W
Nº Panícula	32	134,0	297,0	163,0	216,75	43,62	20,125	0,170	-0,810	0,967 ^{ns}
PGCHO 20P (g)	32	1,98	20,15	18,17	8,579	4,161	48,503	1,136	1,309	0,914 [*]
PGCHE 20P (g)	31	16,79	59,97	43,18	36,37	10,51	28,890	0,187	-0,157	0,980 ^{ns}
P 100G (g)	32	1,87	2,60	0,73	2,232	0,196	8,780	0,101	-0,765	0,969 ^{ns}
Produtividade (g)	32	2151	7962	5811,	4586,0	1541,6	33,615	0,476	-0,462	0,957 ^{ns}

De acordo com Costa et al. (2000) número de panículas por m² é um dos principais componente na determinação da produtividade da cultura do arroz, sendo o valor encontrado por estes autores em variedades de ciclo curto, 395 panículas por m², superior ao encontrado na área de Francisco, 217 panículas por m². A variabilidade desta característica foi média (CV de 20,12%) havendo poucos desvios em relação a curva normal, indicados pela assimetria e curtose, o que caracteriza uma distribuição normal.

Tabela 7 - Estatística descritiva de valores de produção d do Arroz Vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008

Variável	Nº	Mín	Máx	Amp	Média	DP	CV	As	Curt	S-W
PGCHE 20P (g)	48	34,78	104,11	69,33	61,62	12,25	19,88	0,8	2,195	0,968 ^{ns}
P 100G (g)	48	2,24	3,13	0,89	2,87	0,175	6,116	-1,348	2,425	0,897 ^{**}
Produtiv (g m ²)	49	3061	10728	7667	7433,6	1595,24	21,56	-0,398	0,274	0,976 ^{ns}

Antes de realizar uma comparação nos componentes de produção das duas áreas é bom salientar que houve diferenças na condução da cultura, pois o agricultor Francisco optou por um cultivo com menos insumos colocando aproximadamente metade da adubação nitrogenada na forma de uréia, como também reduzindo à metade o uso de herbicidas e inseticidas, o que pode ter influenciado os resultados nesta área.

O peso de grão cheios em 20 panículas na área de Francisco foi bastante inferior ao encontrado na área de Márcio, com valores de 36,37g e 61,62 respectivamente, sendo os coeficientes de variação semelhantes nas duas áreas, enquanto que em ambas as áreas os dados não se ajustaram à distribuição normal.

Segundo Costa et al. (2000) os valores considerados adequados do peso de 100 grão de arroz está próximo a 2,5g, o qual é superior ao obtido na área de Francisco inferiores (2,23g) e inferior ao da área de Márcio (2,87g). Esta característica apresentou uma variabilidade muito baixa em ambas as áreas, porém apenas na área de Francisco os se ajustaram à distribuição normal.

A produtividade média do arroz vermelho no vale do Apodi é em 3.550 kg ha⁻¹, acima da estadual que é de 2.502 kg ha⁻¹ e abaixo da nacional, de 3.868 kg ha⁻¹ (IBGE, 2005). Em trabalho de Fageria et al. (2007) obtiveram de produtividade 4.559 kg ha⁻¹ em arroz irrigado e Costa et al. (2000) obteve 4,517 kg ha⁻¹, trabalhando com arroz de ciclo curto. Na área de Francisco os resultados não foram diferentes dos obtidos nestas pesquisas, com produtividade 4586 kg ha⁻¹ e na área de Márcio os resultados mostram uma produtividade bem superior, de 7.433,6 kg ha⁻¹. Observando-se a variabilidade dos dados de produção verifica-se que, nas duas áreas estudadas, o valor mínimo da foi menor que a metade da máxima produtividade. A variabilidade foi média nas duas áreas (CV entre 21,56 e 33,6%), cujos dados se ajustaram à distribuição normal.

4.1.3 Correlações de atributos do solo com a produtividade

Nas tabelas 08 e 09 estão apresentadas as correlações entre alguns atributos do solo e componentes de produção do arroz vermelho. Observa-se comportamento diferenciado nas duas áreas estudadas sendo que na área de Francisco houve um maior número de correlações comparado com a área de Márcio. Resultados semelhantes foram encontrados por Durigon (2007) ao estudar a cultura do arroz em áreas diferentes e em períodos distintos, quando as correlações encontradas numa área não se repetiam com o mesmo comportamento em áreas seguintes. Fatores de manejo ou características do solo e da água de irrigação podem ser responsáveis por este nas duas áreas estudadas. Uma das possibilidades é a menor quantidade de insumos utilizada na área de Francisco, fazendo com que não houvesse maiores alterações nas características do solo.

Tabela 8 - Correlações de Spearman entre atributos do solo e alguns componentes de produção do arroz vermelho. Área de Francisco. Apodi, RN, 2008

Variável	NP	PCHE	PCHO	P100	PROD
Ca	-	0,37*	-	-	-
Relação Ca:Mg	0,33 ⁺	0,32 ⁺	-	-	0,45**
Soma de Bases	-	0,37*	-	-	-
Areia	-	-0,38*	-	-0,33 ⁺	-
Silte	-	-	0,46**	-	-
Argila	-	0,37*	-	-	-
Distância da entrada d'água	-0,37*	-	-	-	-0,40*
Número de Panículas	-	0,53**	-0,36*	0,64**	0,89**
Peso grãos cheios	-	-	0,61**	0,61**	0,74**
Peso grãos chochos	-	-	-	-0,31 ⁺	-0,35 ⁺
Peso de 100 grãos	-	-	-	-	0,75**

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; + Significativo a 10% de probabilidade

Na área de Francisco Edilson (Tabela 08), o número de panículas correlacionou-se positivamente com a relação Ca:Mg (0,33) e negativamente com a distância até a entrada d'água (DEAG). O peso de grãos cheios em vinte panículas correlacionou-se positivamente (0,32 a 0,37) com Ca^{2+} , relação Ca:Mg, soma de bases e argila, enquanto que a correlação negativa encontrada foi com o teor de areia do solo (-0,38). Os resultados indicam haver desequilíbrio na relação cálcio magnésio, sendo que Durigon (2007) encontrou correlação de 0,38 entre a relação de Ca:Mg e a produtividade de arroz. O peso de grãos chochos correlacionou-se positivamente (0,46) com o teor de silte do solo e o peso de cem grãos negativamente com o teor de areia (-0,33). No caso da produtividade, observou-se correlação positiva (0,45) com a relação Ca:Mg e negativa (-0,40) com a distância até a entrada d'água. Nas correlações da produtividade com os outros fatores de produção, observa-se que o número de panículas por m^2 foi o fator mais importante, em relação a peso e número de grãos cheios.

Quanto aos atributos físicos do solo, observam-se as correlações negativas do teor de areia do solo com peso e número de grãos cheios, enquanto a correlação positiva do teor de argila seria com número de grãos cheios. Estes efeitos são explicados pela maior retenção de nutrientes em locais com maior teor de argila no solo. A possível explicação para a maior quantidade de grãos chochos na área de Francisco do que na área de Márcio, seria o maior teor de silte na área de Francisco (53,1%) do que na área de Márcio (39,8%), onde este atributo não apresentou correlações.

A distância da entrada de água se correlacionou negativamente com o número de panículas (-0,37) e com a produtividade (-0,40). Isto significa que o manejo de irrigação na área em estudo deve ser melhorado, pois como se trata de irrigação por superfície em inundação por pequenos tabuleiros retangulares, houve desuniformidade no nivelamento da área e, conseqüentemente, na lâmina d'água, além de provável falta d'água nos locais mais distantes.

Na área de Márcio (Tabela 09) o número de grãos cheios correlacionou-se positivamente com o teor de alumínio no solo (0,29), indicando melhor comportamento da cultura nos locais de menor pH do solo, como corroborado pela tendência de correlação negativa (-0,25) dos grãos cheios com o pH do solo. Enquanto isto, o peso de cem grãos foi influenciado positivamente pelos teores de potássio, com correlação de 0,36, e de fósforo (0,26) no solo. Quanto à produtividade nesta área, observaram-se apenas correlações positivas com os teores de potássio. O fato das correlações com ocorrerem apenas na área de Márcio pode ser atribuído ao maior teor de potássio na área

de Francisco em relação à de Márcio (0,74 e 0,47 cmol dm^{-3}). Comportamento semelhante foi observado com relação ao teor de fósforo no solo, que apresentaram correlações apenas na área de Márcio, sendo superiores na área de Francisco (72,63 e 39,98 mg dm^{-3}).

Tabela 9 - Correlações de Spearman entre atributos do solo e alguns componentes de produção do arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi, RN, 2008

Variável	PCHE	P100	PROD
pH	-0,25 ⁺	-	-
K	-	0,36*	0,31*
Relação Mg:K	-0,27 ⁺	-	-
K/(raiz(Ca+Mg))	-	0,27 ⁺	0,25 ⁺
Al	0,29*	-	-
P	-	0,26 ⁺	-
Relação P:Mg	0,27 ⁺	-	-
Peso de 100 grãos	-	-	0,37**

** -Significativo a 1% de probabilidade; * - Significativo a 5% de probabilidade ;+ - Significativo a 10% de probabilidade

4.2 ANÁLISE COM USO DA GEOESTATÍSTICA

Para facilitar a compreensão dos resultados a discussão da geoestatística foi separada pelas áreas, sendo primeiramente discutido os dados da área de Francisco e em seguida os dados da área de Márcio.

4.2.1 Semivariogramas e krigagem área de Francisco

4.2.1.1 Atributos químicos do solo

Na tabela 10 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas omnidirecionais dos atributos químicos do solo cultivado com arroz vermelho na área de Francisco. As variáveis sódio (Figura 5c), potássio e fósforo (Figura 5a,b) não apresentaram dependência espacial, sendo o fenômeno representado pelo efeito pepita puro, no qual os semivariogramas permanecem constantes independente da distancia entre as amostras, isto significa que, para a distância de amostragem utilizada, a variação nos dados tem causas aleatórias.

Os atributos cálcio, magnésio e CEes (Figura 4 a, b, d) apresentaram semivariogramas seguindo o modelo esférico e dependência espacial forte ($RD < 25\%$),

segundo Cambardela et al (1994). Isto permite a interpolação por krigagem para estimar valores em locais não amostrados e confecção de figuras com isolinhas. O alcance da dependência espacial foi de 54,2m para o cálcio, 30,70m para magnésio e 15,5m para a CEes, ou seja, a partir desta distância não existe dependência espacial entre as amostras.

Tabela 10 - Parâmetros de modelos ajustados aos semivariogramas de atributos químicos do solo cultivados com arroz vermelho. Área de Francisco. Apodi-RN, 2008

Variável	Ca	Mg	Na	CEP	K	P
Modelo	Esférico	Esférico	Ef. Pepita	Esférico	Ef. Pepita	Ef. Pepita
Co - Ef. Pepita	0,18	0,13	0,33	0,046	110,0	1460,0
(Co+C) – patamar	18,20	0,63	-	0,296	-	-
Ao – Alcance	54,20	30,70	-	67,50	-	-
RD ¹⁰ % =C/(Co+C)	0,99	20,6	-	15,5	-	-

⁽¹⁾RD - Razão de dependência espacial

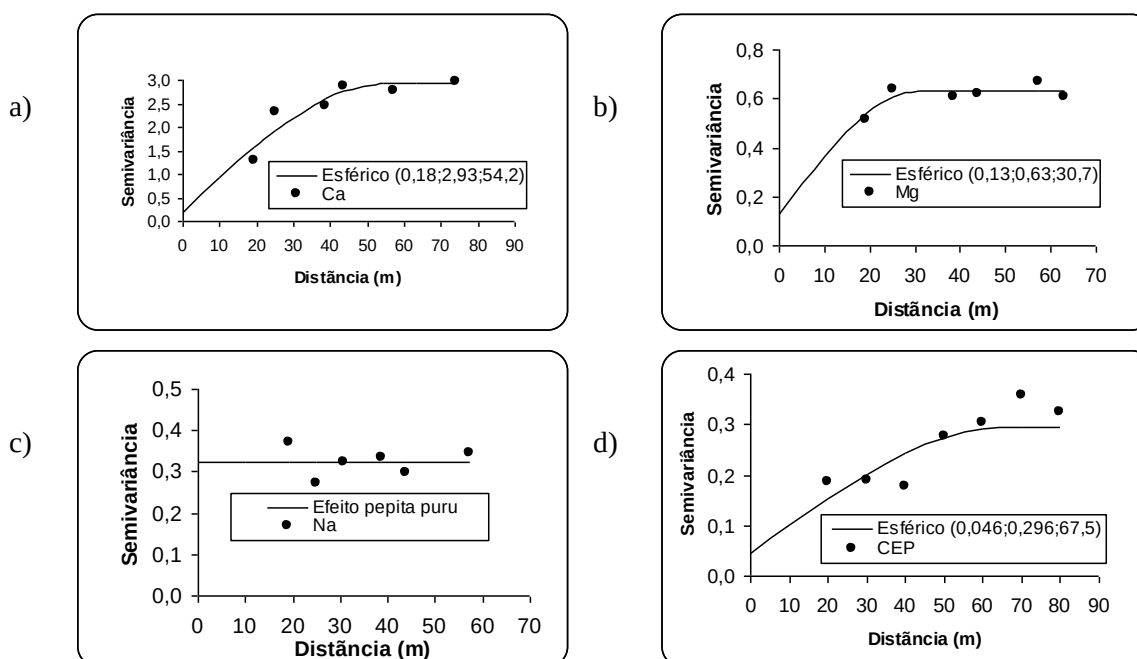


Figura 4 - Semivariogramas experimentais de: a) Cálcio (Ca), b) Magnésio (Mg), c) Sódio (Na) e d) CEes do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Francisco Edílson. Apodi - RN, 2008

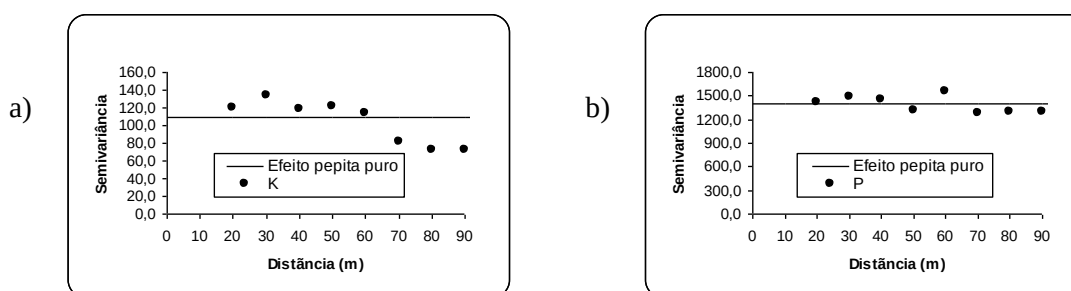


Figura 5 - Semivariogramas experimentais de: a) Potássio (K), e b) Fósforo (P), do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi - RN, 2008

Examinando-se as figuras das isolinhas para os atributos químicos do solo podemos identificar regiões as áreas com maior ou menores valores, como no caso do cálcio (Figura 6a), para quem os locais com maiores teores (17 a $18,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$) estão localizados no quadrante superior direito, isto é na região sudoeste da área, e no quadrante inferior direito, região sudeste da área. Na região intermediária da figura distribuem-se gradativamente os teores médios, sendo relativamente pequenas as áreas com os menores valores ($11,6$ a $13,4 \text{ cmolc dm}^{-3}$).

A partir da Figura 6b, que representa as isolinhas do magnésio, podemos observar distribuição assemelhada a do cálcio, com os maiores valores no quadrante superior direito ($9,30$ a 10 cmolc dm^{-3}), estendendo-se para o centro da área; logo abaixo observa-se uma zona de transição gradativa ($8,5$ a $9,30 \text{ cmolc dm}^{-3}$), e um pouco mais abaixo e no centro da área encontramos os teores mais baixo de magnésio (7 a $7,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$). Observando-se as Figuras 6a e 6 b, pode-se ter ideia da baixa relação cálcio:magnésio em alguns locais da área, que pode explicar o efeito positivo desta relação sobre a produtividade nesta área. Sabendo-se que a entrada d'água na área se localiza na extremidade leste, a ocorrência dos maiores teores de Ca e de Mg na região noroeste pode ser devida à acumulação destes nutrientes que vão sendo carreados naquela direção pela água de irrigação.

As isolinhas da CEEs do solo estão apresentadas na Figura 6c, onde observa-se os maiores, entre $0,7$ e $1,3 \text{ dS m}^{-1}$, na borda direita da área e uma diminuição gradativa dos valores a medida que se aproxima da borda esquerda, onde se localizam os menores valores ($0,2$ e $0,7 \text{ dS m}^{-1}$), os quais predominam na área como um todo. Sabendo-se que a entrada d'água na área se localiza na extremidade leste, pode-se atribuir os menores valores de CEEs ao acúmulo de água na região noroeste da área, causando lixiviação de sais.

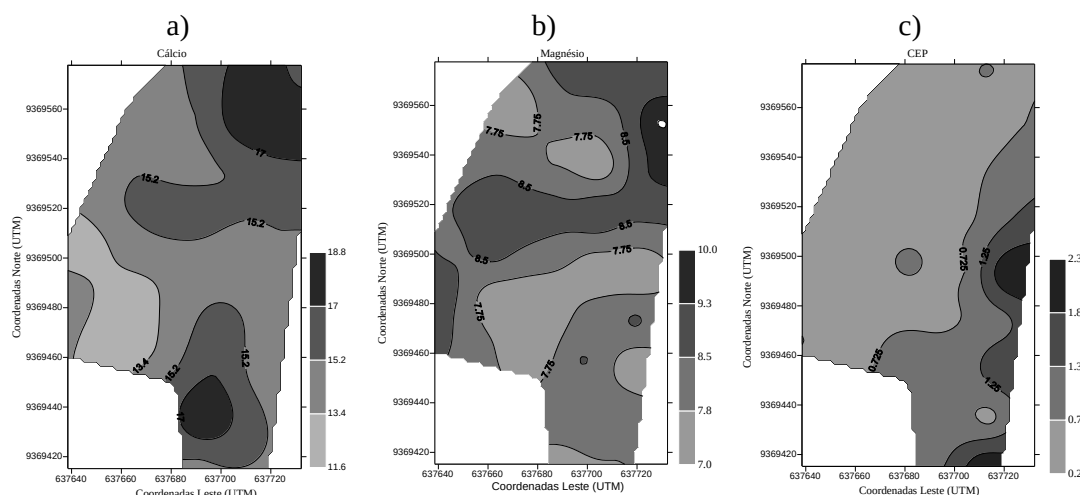


Figura 6 - Isolinhas de atributos químicos do solo: a) cálcio (mmol dm^{-3}), b) magnésio (mmol dm^{-3}) e c) CEs (dS m^{-1}) do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Francisco Edílson. Apodi-RN, 2008

4.2.1.2 Atributos físicos do solo e componentes de produção

Na Tabela 11 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas omnidirecionais dos atributos físicos do solo e dos componentes de produção do arroz vermelho na área de Francisco. A variável peso de 100 grãos foi a única que não apresentou dependência espacial, ou seja, apresentou o efeito pepita puro (Figura 8b), quando os semivariogramas permanecem constantes independente da distancia entre as amostras, isto significa que toda variação nos dados é devido a causas aleatórias.

Tabela 11 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos atributos físicos do solo e dos componentes de produção do arroz vermelho. Área de Francisco Edílson. Apodi-RN, 2008.

Variável	Argila	Silte	Areia	Produtividade	P100G	PGCHE
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Ef. Pepita	Exponencial
Co - Efeito Pepita	0,000	0,000	0,000	4160	0,041	30,20
(Co+C) – Patamar	0,002	0,001	0,002	28000	-	201,4
Ao – Alcance	21,05	20,00	4,54	50,60	-	47,02
$RD^{1\%} = C/(Co+C)$	0,00	0,00	0,00	14,86	-	14,99

⁽¹⁾RD - Razão de dependência espacial

O Modelo esférico foi o que melhor se ajustou para os atributos argila, silte, areia (Figura 7a, b, c) e produtividade (Figura 8a), enquanto o modelo exponencial se ajustou melhor para peso de grãos cheios em 20 panículas (Figura 8c), permitindo assim que fossem construídas figuras com isolinhas para estimar valores em locais não amostrados. Os atributos argila, silte, areia, produtividade e peso de grão cheios apresentaram

dependência espacial forte com RD inferior a 25% Cambardela et al (1994). O alcance determinado foi de 21,05 m para argila, 20,0 m para silte, 4,54 m para areia, 50,60m para produtividade e 47,02 m para peso de grãos cheios em 20 panículas. Após a modelagem dos semivariogramas, a interpolação foi feita pela krigagem, sendo esta uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade em locais não amostrados, a partir de valores vizinhos amostrados (Roque et al. 2006).

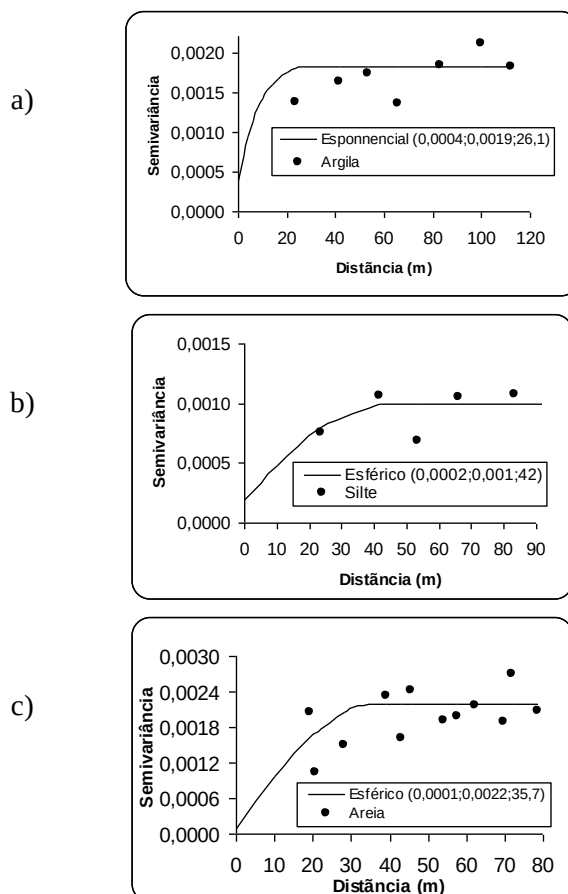


Figura 7 - Semivariogramas experimentais de: a) Argila, b) Silte e c) Areia do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi - RN, 2008

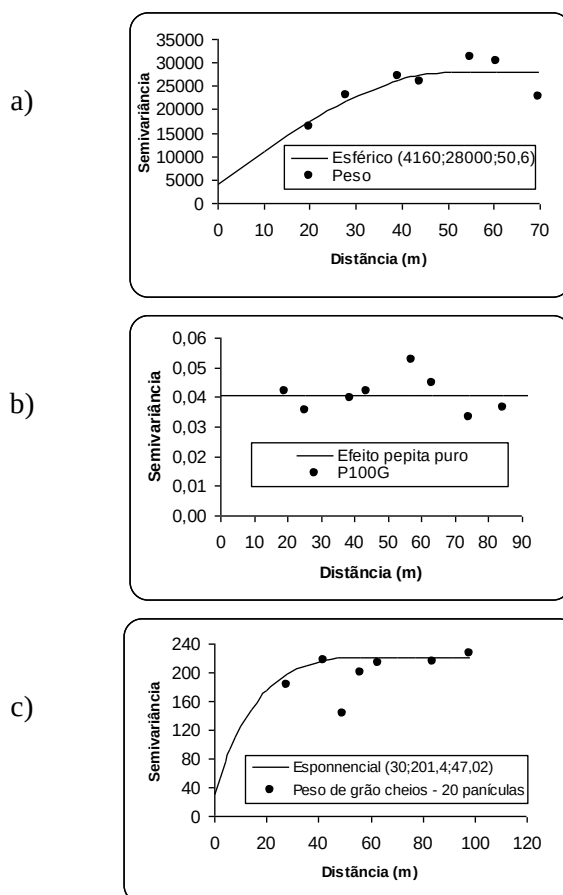


Figura 8 – Semivariogramas experimentais de: a) produtividade em gramas de arroz por 1m^2 , b) peso de 100 grão (g) e em c) peso de grão cheios em 20 panículas do arroz vermelho. Área de Francisco Edilson. Apodi - RN, 2008

As figuras com as isolinhas da argila e areia (Figuras 9a e 9c) evidenciam a oposição de teores destas duas frações, sendo que nos locais onde é maior o teor de argila, como uma pequena área com valores mais altos no quadrante superior direito ($0,35$ a $0,40 \text{ g kg}^{-1}$), estendendo-se a maior, com valores um pouco menores ($0,31$ a $0,35 \text{ g kg}^{-1}$) pela faixa central da área, no sentido oeste-leste. Os menores valores estão em duas áreas circulares pequenas, localizada nas laterais da parte média inferior da área. Os maiores teores de areia ($0,24$ a $0,30 \text{ g kg}^{-1}$) ocupam posição semelhante aos menores teores de argila. Sendo que na faixa central que se estende de oeste para leste na área, se situa uma grande área de teores de areia um pouco superiores ($0,18$ a $0,24 \text{ g kg}^{-1}$) aos menores encontrados ($0,06$ a $0,12 \text{ g kg}^{-1}$).

Observa-se na (Figura 9b) que os teores de silte se irradiam do centro para as extremidades da área, partindo de valores pouco superiores ($0,50$ a $0,53 \text{ g kg}^{-1}$) aos menores ($0,47$ a $0,50 \text{ g kg}^{-1}$) e atingindo valores pouco inferiores aos maiores ($0,53$ a $0,57 \text{ g kg}^{-1}$) que predominam na parte central, ocupando quase metade da área total, e

irradiando-se para as extremidades da área. Os maiores teores de silte ($0,57$ a $0,60 \text{ g kg}^{-1}$) estão distribuídos em pequenas áreas circulares na extremidade nordeste da área.

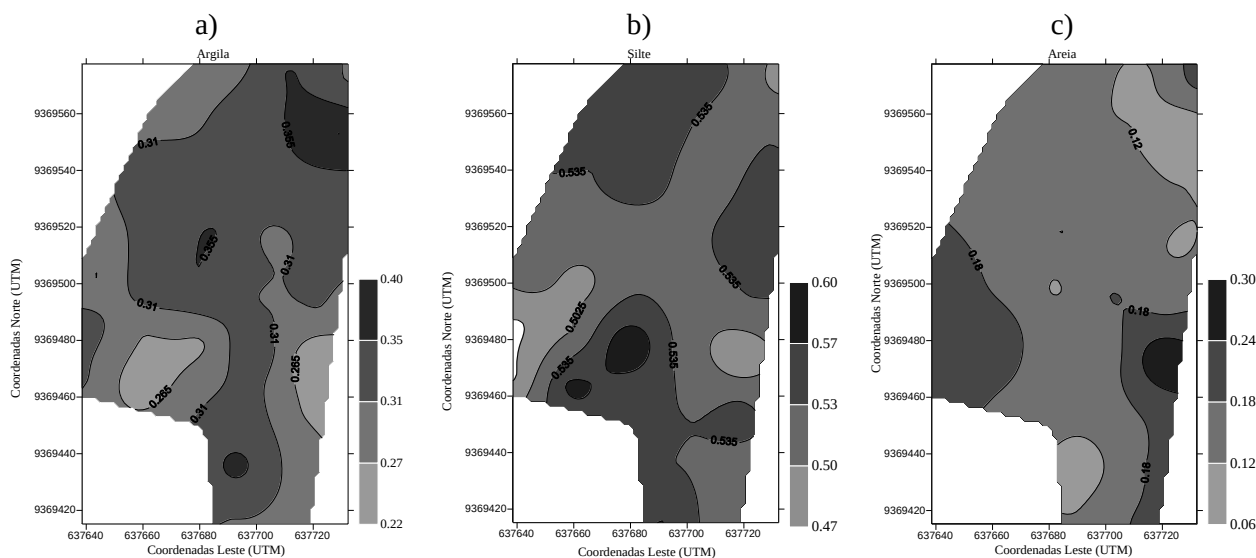


Figura 9 - Isolinhas de atributos físicos do solo: a) argila, b) silte e c) areia. Área de Francisco Edílson. Apodi-RN, 2008

Observando-se as isolinhas dos componentes de produção do arroz vermelho puderam-se localizar as regiões do campo com melhor desempenho. No caso das isolinhas da produtividade por m^2 (Figura 10a) e peso de grãos cheios em vinte panículas (Figura 10b), existe uma semelhança nos locais com melhor e pior desempenho, o que explica a alta correlação entre as variáveis. A faixa de maiores valores crescentes inicia no local da entrada d'água (extremidade leste) e pode indicar o movimento da água dentro da área, com uma boa disponibilidade de água na faixa central e possível excesso no local mais distante da entrada d'água, onde pode haver acumulação de água.

Pode-se identificar como mais produtiva a faixa central da Figura 10a (644 a 787 g m^{-2}), estendendo-se uma área com valores um pouco menores (501 a 644 g m^{-2}) da extremidade inferior até dois terços da distância até a extremidade superior. Observa-se, também, que as áreas menos produtivas (216 a 358 g m^{-2}) se localizam nas laterais norte e sul da área.

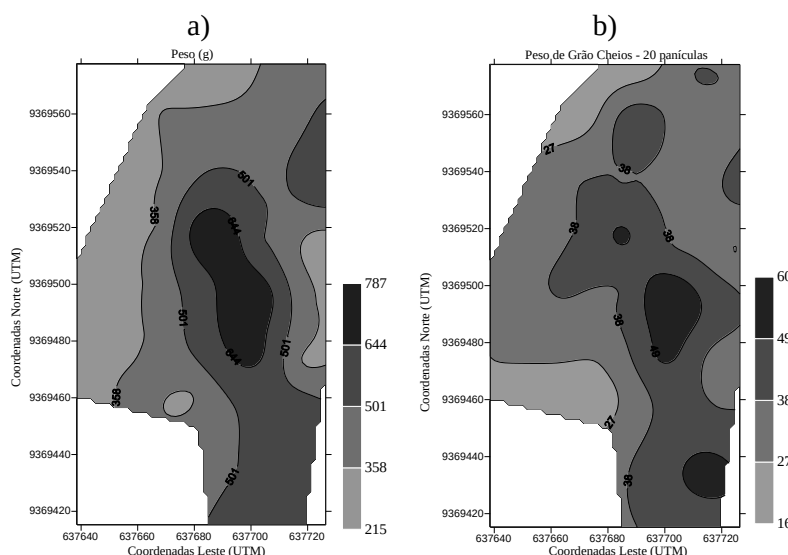


Figura 10 - Isolinhas de: a) produtividade (g) de arroz vermelho por $1m^2$, b) peso (g) de grãos cheios em 20 panículas. Área Francisco Edilson. Apodi-RN, 2008

O peso de grãos cheios apresenta isolinhas (Figura 10b) muito semelhantes em localização às isolinhas de produtividade. Entretanto, os valores máximos (49 a 60g) estão em pequenas áreas circulares no centro da área. Enquanto que, partindo da extremidade inferior direita para o centro da área, estende-se região com valores pouco menores (38 a 49 g). Os menores valores (14 a 26) g estão em pequenas áreas nas bordas da figura. Conforme a correlação observada, os maiores valores de peso de grãos cheios coincidiram com as áreas de maior teor de argila e menor teor de areia.

4.2.2 Semivariogramas e krigagem área de Márcio

4.2.2.1 Atributos químicos do solo

Na tabela 12 são apresentados parâmetros de semivariogramas omnidirecionais de atributos químicos do solo cultivado com arroz vermelho na área de Márcio, das quais todas as variáveis apresentaram dependência espacial. O Modelo esférico se ajustou melhor aos atributos cálcio (Figura 11a), sódio (Figura 11c), CEes (Figura 11d), potássio e fósforo (Figuras 12 a, b) e o modelo gaussiano para o magnésio (Figura 11b). Cálcio, magnésio e CEes, potássio e fósforo apresentaram dependência espacial forte, enquanto o sódio apresentou dependência espacial moderada. Os alcances dos semivariogramas foram de 44,50 m para o cálcio, 45,20 m para magnésio, 38,50 m para sódio, 33,10 m para a CEes, 85,40 m para o potássio e 52,60 m para o fósforo.

Tabela 12 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos atributos químicos do solo cultivados com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008

Variável	Ca	Mg	Na	CEP	K	P
Modelo	Esférico	Gaussiano	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
Co - Ef. Pepita	0,67	0,54	0,15	0,006	0,006	0,10
(Co+C) – patamar	7,70	2,62	0,26	0,025	0,034	159,0
Ao – Alcance	44,5	45,20	38,50	33,1	85,40	52,60
RD ¹⁰ % = C/(Co+C)	8,70	20,61	57,69	24,0	17,65	0,063

⁽¹⁾RD - Razão de dependência espacial

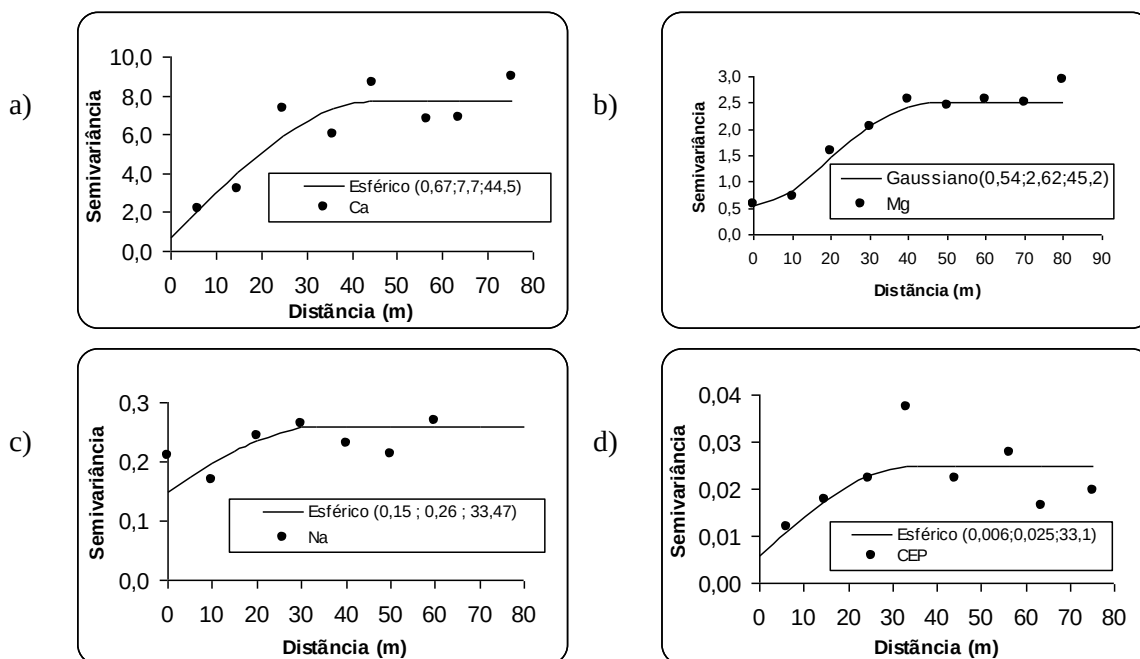


Figura 11 - Semivariogramas experimentais de: a) Cálcio (Ca), b) Magnésio (Mg), c) Sódio (Na) e d) CEes do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi - RN, 2008

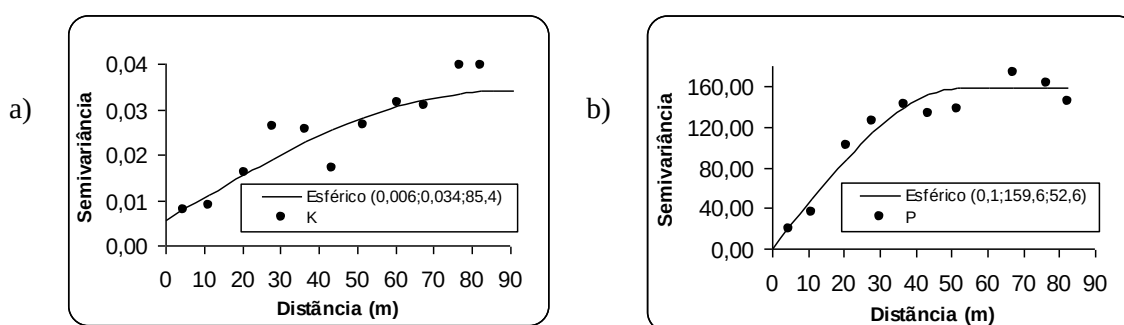


Figura 12 - Semivariogramas experimentais de: a) Potássio (K), e b) Fósforo (P), do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi - RN, 2008

A isolinhas de atributos químicos do solo na propriedade de Márcio (Figura 13a,b) permitem observar coincidência de áreas com maiores valores de cálcio (15,12 a 18,59 cmolc dm⁻³) e de magnésio (7,86 a 9,43 cmolc dm⁻³), as quais atravessam a área em

faixa no sentido oeste-leste. Da mesma maneira, os valores inferiores dos dois nutrientes (4,69 a 8,17 cmolc dm^{-3} de Ca e 3,14 a 4,71 de Mg) se localizam na extremidade sudeste da área. Nos dois casos, os valores intermediários predominam na área como um todo.

As isolinhas do sódio (Figura 13c) apresentam os maiores valores em pequena área circular localizado na parte inferior e à direita da área, com valores entre 1,58 e 1,95 cmolc dm^{-3} , envolvida pelos valores de 1,21 a 1,58 cmolc dm^{-3} . A maior parte da área esta compreendida na faixa de 0,83 a 1,21 cmolc dm^{-3} , estando distribuída por toda a figura. Os menores valores de sódio (0,46 a 0,83 cmolc dm^{-3}) estão localizados na extremidade sudeste da área e em outros locais mais centrais da área.

A CEes (Figura 13 d) apresenta predominância dos menores valores (0,30 a 0,43 dS m^{-1}) em toda a área, desde a extremidade sudeste, ocupando dois terços da área na direção noroeste. Estas regiões são as mais distantes da entrada d'água, podendo ser os locais de maior acúmulo de água e de maior lixiviação de sais. Na extremidade noroeste observam-se pequenas faixas concêntricas de valores aumentando na direção oeste, onde se localizam os maiores valores (0,69 a 0,8s dS m^{-1}) até a extremidade.

As isolinhas de potássio (Figura 14a) apresentam semelhança com as de CEes, quanto à localização dos maiores teores (0,73 a 0,88 mmol dm^{-3}) na extremidade noroeste da área. No entanto, logo abaixo destes, em direção ao centro da área, estão localizados os menores teores de potássio (0,27 a 0,42 mmol dm^{-3}). Enquanto que os teores intermediários (0,42 a 0,57 mmol dm^{-3}) ocupam a metade da área, estendendo-se da extremidade sudeste até dois terços da figura na direção noroeste.

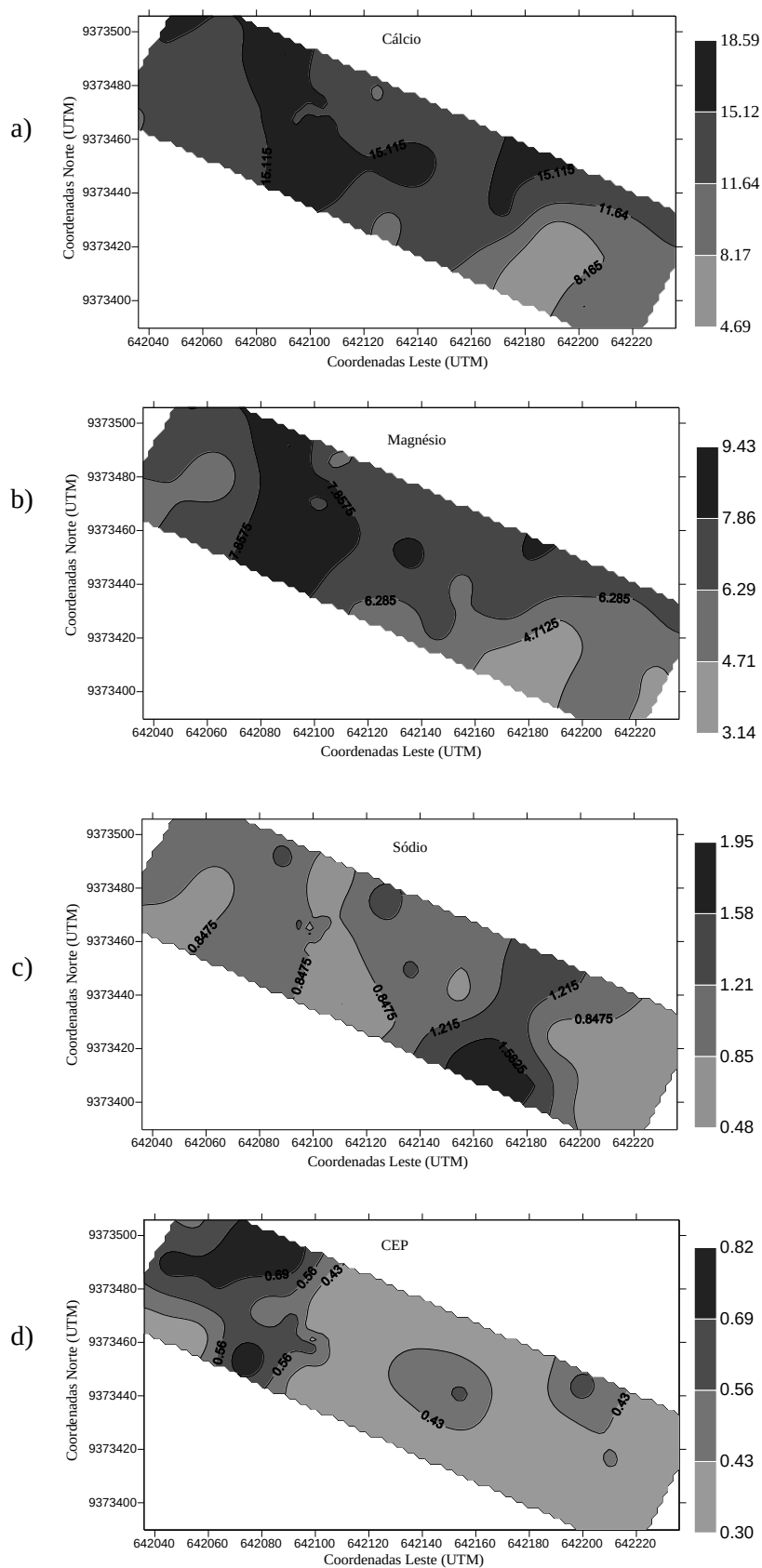


Figura 13 – Isolinhas de atributos químicos do solo: a) cálcio (mmol dm⁻³), b) magnésio (mmol dm⁻³), c) Sódio (mmol dm⁻³), d) CEes (dS m⁻¹) do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008

Examinando-se as isolinhas do teor de fósforo no solo (Figura 14b), observamos que os menores teores (19,8 a 32,0 mg dm⁻³) ocupam uma área central significativa da figura, aumentando gradativamente para as duas extremidades. Na extremidade noroeste estão os maiores valores (56,5 a 68,8 mg dm⁻³), em uma pequena faixa, irradiando-se valores gradativamente menores em direção ao centro da figura. Na extremidade sudeste se encontram os valores intermediários, também diminuindo gradativamente para o centro.

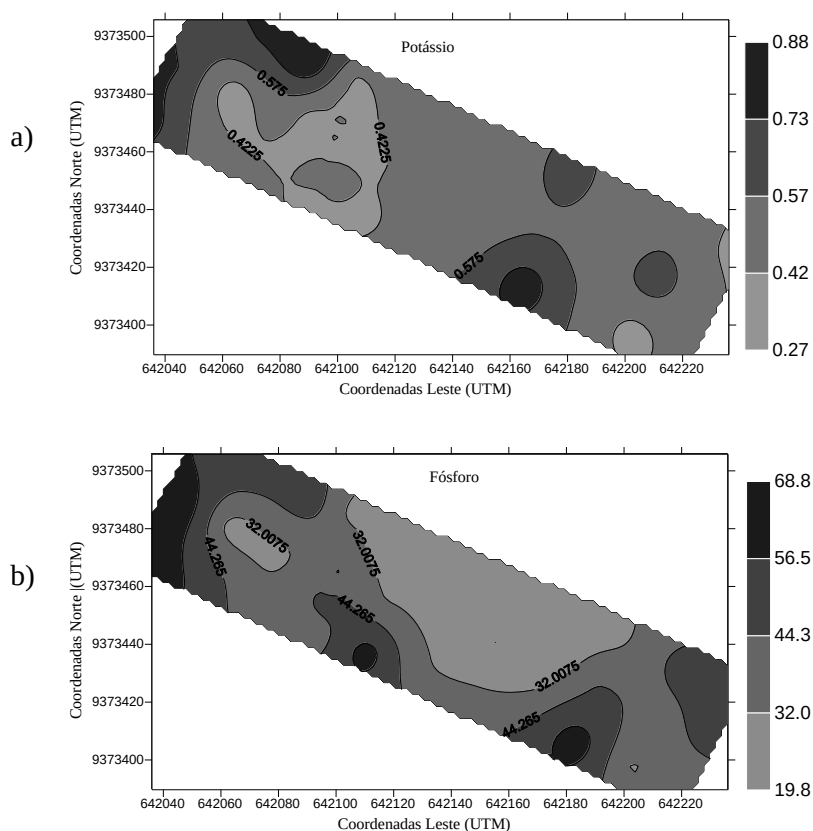


Figura 14 - Isolinhas de atributos químicos do solo cultivado com arroz vermelho: a) Potássio (mmol dm⁻³), b) Fósforo (mg dm⁻³). Área de Márcio. Apodi-RN, 2008

4.2.2.2 Atributos físicos do solo e componentes de produção

Na Tabela 13 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas omnidirecionais dos atributos físicos do solo e dos componentes de produção do arroz vermelho na área de Márcio. Da mesma forma que na área de Francisco, a variável peso de 100 grãos foi a única que não apresentou dependência espacial, ou seja, constatou-se

o efeito pepita puro (Figura 16b); neste caso o semivariograma permanece constante independente da distancia entre as amostras.

Tabela 13 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas de atributos físicos do solo e de componentes de produção do arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008.

Variável	Argila	Silte	Areia	Peso	P100G	PGCHE
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Ef. Pepita	Esférico
Co - Ef. Pepita	0,00	0,00	0,00	4380,0	0,270	324,0
(Co+C) – patamar	0,038	0,003	0,010	25150		516,7
Ao - Alcance	38,00	65,70	56,10	18,600		14,00
RD ¹ % = C/(Co+C)	0,00	0,00	0,00	17,42		62,70

⁽¹⁾RD - Razão de dependência espacial

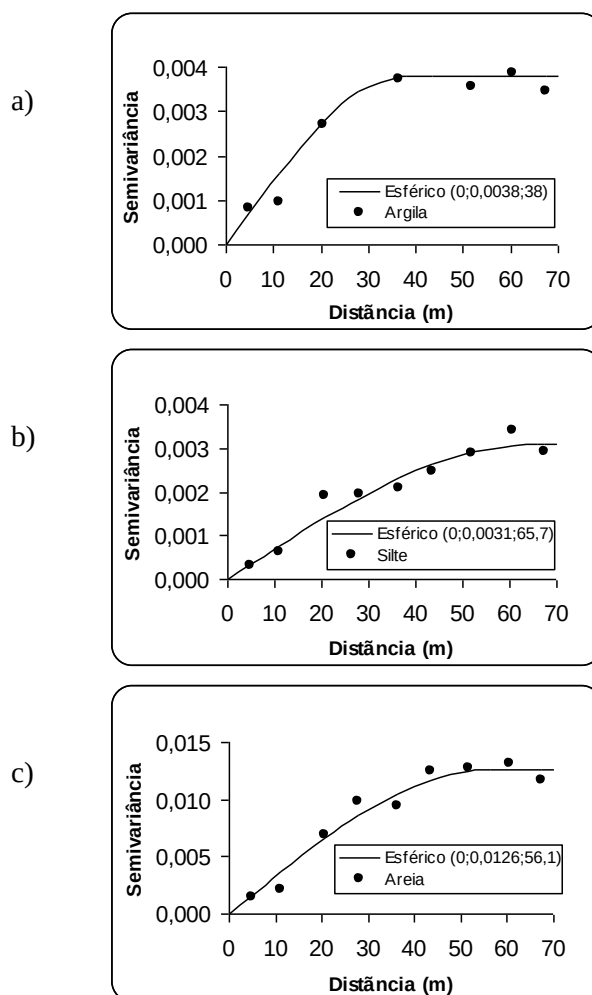


Figura 15 - Semivariogramas experimentais de: a) Argila, b) Silte e c) Areia do solo cultivado com arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi - RN, 2008

O Modelo esférico foi o que melhor se ajustou para todos os outros atributos, para os quais foi possível realizar a interpolação por krigagem para estimar valores em locais não amostrados e a confecção de figuras de isolinhas. Os atributos argila, silte e areia

(Figura 15a, b, c) e produtividade por m^2 (Figura 16a) apresentaram dependência espacial forte com RD inferior a 25%, enquanto que o peso de grãos cheios (Figura 16c) apresentou dependência espacial moderada, conforme Cambardela et al (1994). Os alcances encontrados para estas características foram de 38,0 m para argila, 65,7 m para silte, 56,1 m para areia, 50,60m para produtividade e 14,0 m para peso de grão cheios em 20 panículas.

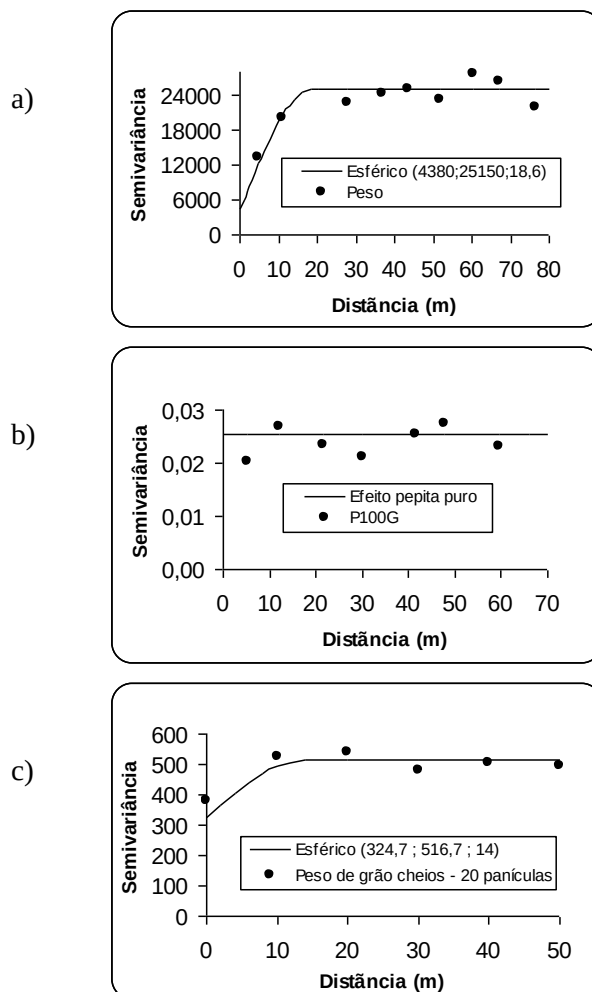


Figura 16 - Semivariogramas experimentais de: a) produtividade de arroz vermelho (g) por m^2 , b) peso de 100 grãos (g) e c) peso de grão cheios em 20 panículas. Área de Márcio, Apodi - RN, 2008

A Figura 17 apresenta as isolinhas dos atributos físicos do solo cultivado com arroz vermelho na propriedade de Márcio. Da mesma forma que na área de Francisco, fica bem clara a oposição da localização dos maiores e menores teores de argila (Figura 17a) e de areia (Figura 17b). Os maiores teores de argila ($0,33$ a $0,43 \text{ g kg}^{-1}$) e os menores de areia ($0,59$ a $0,74 \text{ g kg}^{-1}$) estão localizados na extremidade noroeste das

figuras, enquanto que os menores teores das duas frações, de $0,02$ a $0,12 \text{ g kg}^{-1}$ e de $0,14$ a $0,29 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, estão localizados na extremidade sudeste. Nos dois casos, predominam os teores intermediários, localizados nas regiões centrais das figuras.

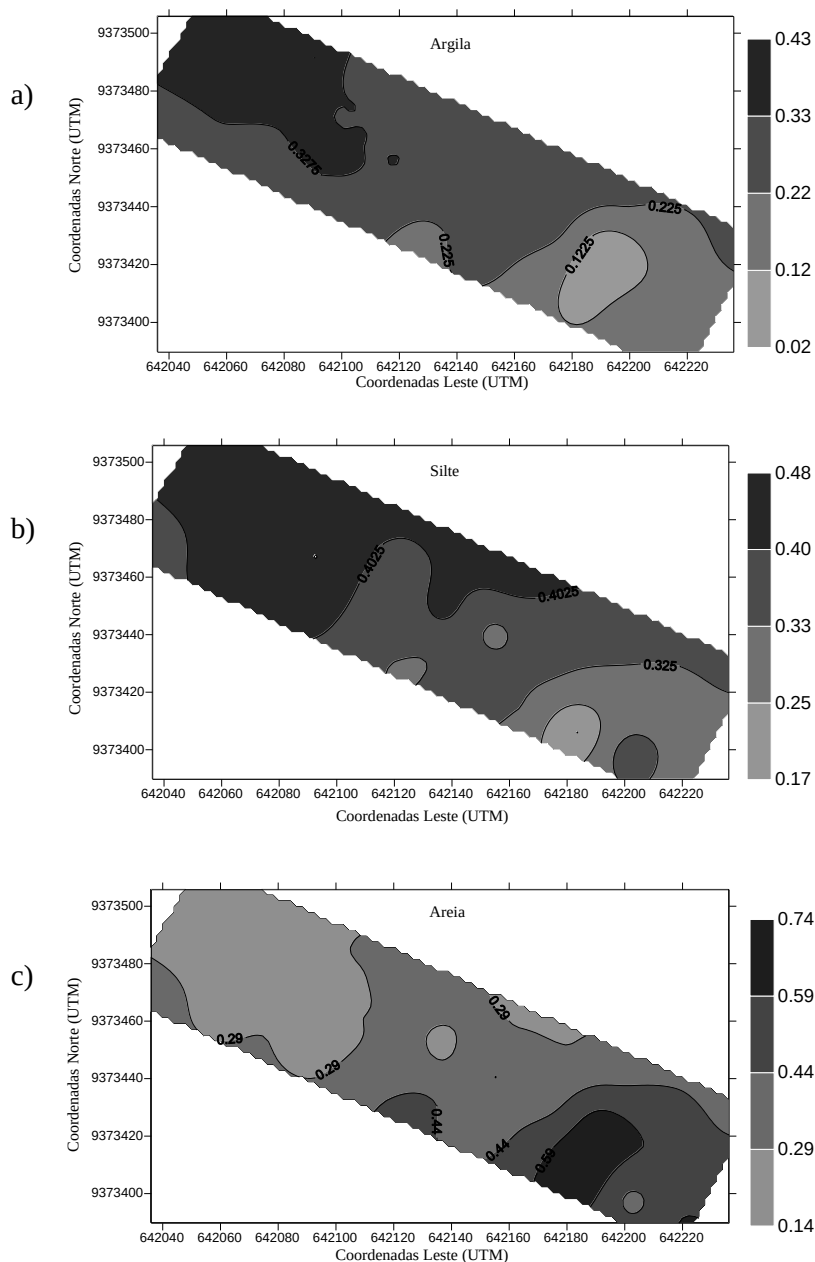


Figura 17 - Isolinhas de atributos físicos do solo: a) argila, b) Silte e c) areia. Área de Márcio. Apodi-RN, 2008

A localização dos teores de silte na área estudada está representada na Figura 17 b, apresentando, de forma geral, um gradiente bem definido, partindo, da mesma maneira que para argila, dos teores mais elevados ($0,40$ a $0,48 \text{ g kg}^{-1}$) na extremidade noroeste da figura, teores estes que ocupam uma porção significativa da figura. Os menores teores de

silte ($0,17$ a $0,25\text{ g kg}^{-1}$) ocupam a extremidade sudeste e ocupam uma porção relativamente pequena da figura.

Na figura 18a estão apresentadas as isolinhas da produtividade por m^2 do arroz vermelho na área de Márcio. Observa-se grande predomínio da faixa de valores (682 a 866 g m^{-2}) imediatamente inferior à máxima (861 a 1048 g m^{-2}), sendo que os maiores valores ocupam pequenas áreas na extremidade noroeste e próximo à extremidade sudeste. Os menores valores de produtividade são encontrados na borda superior da figura, em uma faixa estreita que se estende de sudeste para noroeste.

A Figura 18 b apresenta os valores de peso de grão cheios em 20 panículas de arroz vermelho na área de Márcio. Os maiores valores (86 a 103 g) estão localizados em uma pequena região circular na extremidade noroeste da figura, envolta por região de valores imediatamente inferiores (69 a 86 g), semelhante a que se localiza na extremidade sudeste da figura. Observa-se a predominância de uma faixa intermediária de valores (52 a 69 g), ocupando grande região central da figura, além de regiões pequenas com os menores valores, na borda superior oeste da figura (35 a 52 g).

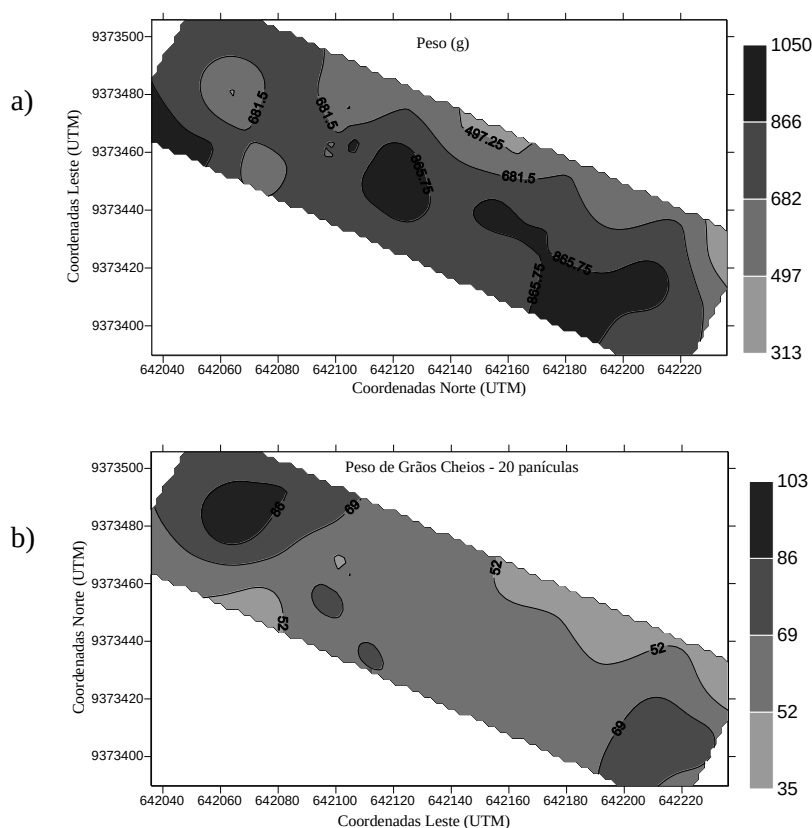


Figura 18 - Isolinhas de: a) produtividade (g) de arroz vermelho por 1 m^2 , b) peso de grão cheios em 20 panículas do arroz vermelho. Área de Márcio. Apodi - RN, 2008

5 CONCLUSÕES

Entre os atributos estudados, apresentaram dependência espacial nas duas áreas a produtividade e o peso de grãos cheios em 20 panículas, os teores de cálcio e magnésio e a CEes do solo, além dos teores de argila silte e areia; os teores de sódio, potássio e fósforo apresentaram dependência espacial apenas na área de Márcio.

A produtividade do arroz vermelho apresentou correlação negativa com a distância da amostra até a entrada de água na área de Francisco, indicando problemas no manejo de irrigação.

O potássio foi o nutriente com maior correlação positiva com a produtividade na área de Márcio, indicando haver necessidade deste nutriente na área.

A relação Ca:Mg foi o atributo químico com maior correlação positiva com a produtividade na área de Francisco, indicando desequilíbrio entre estes nutrientes;

Entre os atributos físicos estudados, observaram-se correlações apenas na área de Francisco, sendo positivas entre silte e peso de grãos chochos do arroz vermelho e argila com peso de grão cheios, e negativas de areia com peso de grãos cheios e peso de 100 grãos.

A confecção das isolinhas permitiu visualizar a influência sobre a cultura das variáveis químicas e físicas do solo, localizar regiões com baixa produtividade e identificar locais com maior ou menor peso de grãos cheios.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D; FLECK, N. G; RIZZARDI, M. A; BIANCHI, M. A; SILVA, P. R. F.. Comparação de modelos matemáticos na estimativa das perdas de produtividade de grãos em arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.847-856, 2004.
- AMADO, T. J. C; PONTELLI, C. B; SANTI, A. L; VIANA, J. H.M; SULZBACH, L.A. de S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de cultivos sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1101-1110, 2007.
- AMARAL, A. dos S & GONÇALVES, A. R. Efeito da salinidade do solo na produção de arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.46, n. 441, p.3-12. 1993.
- AMARAL, A. dos S; GONÇALVES, A. R, GARDELLINO, R. A. Produção de arroz em função do teor de sódio no solo, **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.45, n. 403, p.16-19. 1992.
- ANGÉLICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.931-936, 2006.
- BELTRAME, L. F. S; IOCHPE, B; ROSA, S. M. da; MIRANDA, T. L. G. de. Lixiviação de íons em planossolo vacacaí sob condições de alagamento. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.44, n. 398, p.9 -12. 1991.
- BERNARDO, S; SOARES, A. A; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª Ed. Viçosa: Editora da UFV, 2006.
- BERNER, P. G. M; VIEIRA, S. R; LIMA, E.; ANJOS, L. C. dos. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um cambissolo sob dois sistemas de manejo da cana – de –açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.837-844, 2007.
- BHATTI, A.U.; MULLA, D.J.; KOEHLER, F.E.; GURMUNI, A.H. Identifying and removing spatial correlation from yield experiments. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, n. 6, p.1523-1528, 1991.
- BOLFE, E. L; GOMES, J.B. V; FONTES, H.R. Variabilidade espacial de atributos do solo como subsídio para produção integrada de frutas em perímetro irrigado no Nordeste do Brasil.In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORAMENTO REMOTO. 2007, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: 2007. p. 21-29.
- BORGUELT, S. C; SEARCY, S. W; STOUT, B. A. MULLA, D.J. Spacial variable liming rates: a method for determination. **Transactions of the ASAE**, St. Josef, v.37, n.5, p. 1499-1507, 1994.
- CAMARGO, E.C.G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geostatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (Spring)**. São José dos Campos, 1997. 123p. Dissertação (Mestrado)

- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

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

CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA, O. **Mossoró: um município do semi-árido nordestino. Características climáticas. aspectos florísticos.** Mossoró: ESAM, 1989, 62 p. (Coleção Mossoroense, Série B, n.672).

CARVALHO, J. R. de; SILVEIRA, P. M. Da; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial da características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.1, p.1151-1159. 2002.

CAVALCANTE, E. G. S; ALVES, M. C; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1329-1339, 2007.

CHAVES, L. H. G; MENINO, I. B. M; ARAÚJO, I. A; CHAVES, I de B. Avaliação da fertilidade dos solos das Várzeas do Município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.262-267, 1998

CHAVES, L. H.G; CHAVES, I. de B; SILVA, P. C. M; VASCONCELOS, A. C. F. Variabilidade de propriedades químicas do solo aluvial da ilha de Picos, Pernambuco. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.6, n.1, p.13-16, 2006.

CICHOTA, R; LIER, Q. de J; ROJAS, C. A. L. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.789-798, 2003.

CORÁ, J. E & BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26,n. 2, p.374-387, 2006.

CORÁ, J. E; ARAÚJO, A. V; PEREIRA, G.T; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura da cana de açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.1013-1021, 2004.

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.

COUTO, E. G; & KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no Sul do Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2321-2329, dez. 1999.

CUNHA, P; MARQUES JÚNIOR, J; CURI,N; PEREIRA, G.T; LEPSCH, I.F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolo em uma seqüência arenito-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, p.81-90, 2005.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (Oriza sativa L.)**. Santa Maria. 2007. 150p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ENGLUND, E.; SPARKS, A. **Geo-EAS User's Guide**. Las Vegas: U.S. Environmental Protection Agency, 1991. Não paginado. EPA/600/8-91/008.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terra altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v.5, n.3, p.416-424, 2001.

FAGÉRIA, N. K & ZIMMERMANN, F. J. P. Resposta de arroz irrigado à adubação em solo de Várzea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n.6, p.463-466, 1996.

FAGERIA, N. K, SANTOS, A. B dos; CUTRIN, V. A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciados pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.7, p.1029-1034, 2007.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Ligeralizaciones del arroz: previsiones acerca de sus efectos em el comercio y em los precios**. Italy, 2008a. Disponível em <http://www.fao.org/trade/policy.es.asp>. Acesso: 20/06/2008.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Informe FAO de Actualización de Precios del Arroz**. Italy, 2008b. Disponível em <http://www.fao.org/>. Acesso: 20/06/2008.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **FAOSTAT data**. Italy, 2008c. Disponível em <http://faostat.fao.org/>. Acesso: 20/06/2008.

FARINELLI, R; PENARIOL, F. G; FILHO, D.F; BORDIN, L. Características agronômicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.28. p.447-454, 2004.

FISCHER, R. G; EIMOR, I. E; MILAN, P. A; BISSANI, C. A. Efeito do cacáio e fontes de silício sobre a toxidez de ferro em arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.43, n.390, p.6-10. 1990.

GAMEIRO, M. B; GAMEIRO, A. H; BARATA, T. S; ROSSMANN, H. Evolução da produção, produtividade e área colhida com arroz nos principais países, de 1970 a 2004 In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2005. **Anais..** Santa Maria, 2005.

GREGO, C. R & VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.169-177, 2005.

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 01/06/2008.

IRRI – International Rice Research Institute. Rice Today in: **Rice prices spiral upward; no end in sight**. v.7, n.2, p.5, 2008.

JOHANN, J. A; OPAZO, M. A. U; SOUZA, E. G de; ROCHA, J. V. variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno Distrófico da Região de Cascavel, PR **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.8, n . 2/3, p.212-219, 2004.

KITAMURA, A. E; CARVALHO, M. de P, LIMA, C. G. da R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade de feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.361-369, 2007.

KUZYAKOVA, I.F.; ROMANENKOV, V.A. & KUZYAKOV, Ya.V. Geostatistics in soil agrochemical studies. **European Journal of Soil Science**, Cranfield, v.34, p.1011-1017, 2001.

LIMA, J. S. de S; OLIVEIRA, de. R. B.; QUARTEZANO, W. Z. Variabilidade espacial de atributos de um latossolo Vermelho - Amarelo sob cultivo de pimenta-do-reino. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa. v.15, n.3, p.290-298. 2007.

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

MACEDO, V. R. M; MARCOLIN, I; ANGHINONI, I; JÚNIOR. S. A. G. **Salinidade na cultura do arroz no Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20051014132327.pdf>. Acesso em 01/09/2006

MACHADO, de O. L; LANA, A. M. Q; LANA, R. M. Q; GUIMARÃES, E. C; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.591-599, 2007.

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

MILLER, M.P.; SINGER, M.J.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, n.3, p.1133-1141, 1988.

MIRANDA, N. de O; OLIVEIRA de, T. S; LEVIEN, S. L. A; MEDEIROS, J. F. variação espacial da produtividade do meloeiro irrigado por gotejamento na fazenda Santa Júlia em Mossoró-RN. **Caatinga**, Mossoró, v.17, n.2, p.121-128, 2004.

MONTOMIYA, A. V.; CORÁ, J. E; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.485-496, 2006.

MUNIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo 1972. p 275.

OLIVEIRA, F. C. M. de; ROCHA, J. V; LAMPARELLI, R. A. C; ZULIO JÚNIOR, J. Variabilidade espacial da produtividade e nutrientes a absorção pela cultura da cana – de – açúcar visando agricultura de precisão. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2002, 4., Viçosa , 2002. **Anais**. Viçosa , 2002.

ORTIZ, G. da C. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial de variáveis físicas do solo**. Piracicaba, 2002. 75p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PANNATIER, I. **Variowin. Software for Spatial Data Analysis in 2D**. New York: Springer Verlag, 91p. 1996

ROQUE, C. G; CENTURION, J. F; PEREIRA, G. T; BEUTLER, A. N; FREDDI, O. da S; ANDRIOLI, I. Mapeamento da produtividade e perímetro do tronco de clones de seringueira em Argissolo Vermelho Amarelo. **Ciências Florestais**. n.70, p.56-66, 2006.

SALVIANO, A.A.C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. Piracicaba, 1996. 91p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SANCHEZ, R. B; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G. T; SOUZA de, M. Z. variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola Ambiental**. Campina Grande, v.9,n. 4, p.489-495, 2005.

SCHERPINSKI, C. **Variabilidade espacial da atributos físicos e hídricos do solo e produtividade da soja em uma área comercial**. Cascavel. 2005 138p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SCHLOEDER, C.A; ZIMMERMAN; JACOBS, M, J. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. **Soil Science Society of America Journal**. Madison v.65, p.470-479, 2001.

SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. Piracicaba, 1988. 105p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SILVA, F. M; SOUZA, Z. M; FIGUEREDO, C. A. P; VIEIRA, L. H. S; OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n. 1, p.231- 241, 2008.

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

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P; AMARAL, A. M.. Efeito da sucessão de cultura e do preparo do solo sobre o rendimento do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n.6, p. 885-890, 1998.

SIQUEIRA, G.M. **Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**. Campinas, 2006. 163p. Dissertação (Mestrado) – IAC – Instituto Agrônomo de Campinas.

SOUZA, E. G; JOHANN, J. V; ROCHA, J. V; RIBEIRO, S. R. A; SILVA, M. S; URIBE-OPAZO; MOLIN, J. P; OLIVEIRA, E. F; NÓBREGA, L. H. P. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em um latossolo roxo distrófico da Região de Cascavel- PR. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.3, p.80-92, 1999.

SOUZA, L.C. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano**. Campina Grande, 1999. 77p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba.

SOUZA, Z. M; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G. T; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana – de – açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1763-1771, 2004a.

SOUZA, Z. M; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G. T; MOREIRA, L. F. Influência da pedoforma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana – de - açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.9, n.1, p.1-11, 2004b.

STENGER, R.; PRIESACK, E.; BEESE, F. Spatial variation of nitrate-N and related soil properties at the plot-scale. **Geoderma**, Amsterdam, v.105, n.3-4, p.259-275, 2002.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p.45-94, 1985.

TSCHIEDER, M & FERREIRA, M. F. Introdução a agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 32, n.1, p. 159-161. 2002.

VIEIRA, S.R & GONZALES, A. P. analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. **Bragantia**, v.62, n.1, p.127-138, 2003.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F.; MARIA, I.C. de. Uso de geoestatística no mapeamento de atributos de solo e planta (compact disc). In: CONGRESSO E FEIRA

PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA - GIS BRASIL 98, 4, Curitiba, 1998. **Anais...** Curitiba, 1998.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.54, n.2, p.405-412, 1995.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, n.6, p.1040-1048, 1981.

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