

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA O
PLANEJAMENTO DA IRRIGAÇÃO SOB PIVÔ CENTRAL**

GLÁUCIA DE MELLO PELÁ

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em
Agronomia - Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP

Maior – 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA O
PLANEJAMENTO DA IRRIGAÇÃO SOB PIVÔ CENTRAL**

GLÁUCIA DE MELLO PELÁ

Orientadora: Prof^a Dr^a Célia Regina Lopes Zimback

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em
Agronomia - Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP

Maior – 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Pelá, Gláucia de Mello, 1974-
P381m Mapeamento de atributos do solo para o planejamento da irrigação sob pivô central / Gláucia de Mello Pelá. - Botucatu : [s.n.], 2007.
xii, 118 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007
Orientador: Célia Regina Lopes Zimback
Inclui bibliografia

1. Geoestatística. 2. Variabilidade espacial. 3. Solo - Física. 4. Solo - Química. 5. Solos - Manejo. 6. Mapeamento do solo. I. Zimback, Célia Regina Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA O PLANEJAMENTO
DA IRRIGAÇÃO SOB PIVÔ CENTRAL"

ALUNA: GLAUCIA DE MELLO PELÁ

ORIENTADORA: PROFA. DRA. CELIA REGINA LOPES ZIMBACK

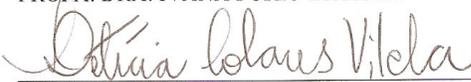
Aprovado pela Comissão Examinadora


PROFA. DRA. CELIA REGINA LOPES ZIMBACK


PROF. DR. CARLOS ALBERTO OLIVEIRA DE MATOS


PROFA. DRA. ANDREA BOGATTI GUIMARÃES TOMAZELLA


PROFA. DRA. IVANA FURIO BATISTA


PROFA. DRA. LETICIA COLARES VILELA

Data da Realização: 11 de maio de 2007.

O trabalho

O trabalho é um dos fatores mais importantes para o aprendizado, para que possamos nos sentir úteis, pois sem ele a vida fica monótona sem sentido, sem explicação.

A ociosidade é característica dos fracos, porque quem não tem iniciativa própria, dentro de si, se enche de angústia, dá ouvidos aos maus pensamentos, se torna uma pessoa amarga, sem objetivos, sem motivos para viver. E como consequência surge as más palavras e atitudes.

Por isso dê valor a tudo que lhe for dado como responsabilidade, porque o trabalho enobrece, nos torna mais próximo de Deus, nos dá maior capacidade de entendimento, raciocínio e ativa a inteligência.

Não se deve portanto, reclamar, menosprezar o trabalho que é de sua responsabilidade, valorize-o, porque por menor que seja a sua função, somente você pode realiza-la e na verdade se você para e pensar um pouco, você não trabalha para os outros, ou é empregado, funcionário, na verdade você trabalha é para si mesmo.

Porque a principal pessoa a ser beneficiada com o trabalho que você realiza é você mesmo.

Portanto seja sempre alegre, realize suas funções com boa vontade, evite se “pré-ocupar” com os problemas que surgem em seu caminho, pois se eles lhe foram apresentados é porque você tem capacidade de resolvê-los, e com paciência, calma e tranqüilidade, a resolução será mais fácil, porque Deus não seria tão injusto com seus filhos, o que Ele quer é que seus filhos possam crescer e aprender.

Seja otimista, alegre, confiante em Deus e em você mesmo, para que você possa também confiar nas pessoas que te rodeiam.

Sorria, pois o sorriso é um bálsamo, como Lair Ribeiro mesmo disse: “Sorria, mesmo que seja por economia”.

Gláucia de Mello Pelá

À DEUS E A NOSSA SENHORA

Pela proteção e amparo, por estarem sempre presentes, e que a confiança e fé tornam possível transpor todas as dificuldades...

AGRADEÇO

Aos meus queridos pais

JOSÉ LUIZ e VERA

Pelas suas lutas e renúncias ao longo de nossas vidas; pela constante dedicação e apoio irrestrito e, principalmente, por me transmitirem uma infindável perseverança e coragem de lutar por todos os meus ideais...

À minha irmã **LUCIANA e ao meu cunhado **MARCOS****

Pelo apoio e força que me deram incentivando-me para que pudesse terminar mais esta etapa de minha vida profissional...

OFEREÇO

AO MEU ESPOSO

ADILSON PELÁ, meu eterno companheiro, pelo amor incondicional e apoio incansável em todos os momentos que precisei estava ao meu lado...

DEDICO**Ao pai postigo JOÃO SIMIONATO NETO**

Pelo grande amparo e disponibilidade para me ajudar nos momentos que mais precisei, servindo com seus conselhos e amor...

MUITO OBRIGADA

AGRADECIMENTOS

Ao final deste trabalho não poderia deixar de lembrar e agradecer a todos os que me auxiliaram ou que, às vezes, em diversos momentos, caminharam comigo.

À querida Professora Dra. Célia Regina Lopes Zimback, agradeço pela orientação deste trabalho, com os conhecimentos científicos transmitidos e o constante estímulo, pela sua generosidade e compreensão nos momentos mais difíceis, em que soube colaborar e ajudar de maneira irrestrita.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro concedido na realização desse trabalho.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP – Campus de Botucatu, por me oferecer a oportunidade de aperfeiçoar os meus conhecimentos.

Ao Prof. Dr. João Carlos Cury Saad, Coordenador do Curso de Pós-Graduação “Irrigação e Drenagem” no início do curso e ao atual Coordenador Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz pela constante atenção, sempre que necessário.

A todos os funcionários do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, e em especial ao Sr. Jair pelo auxílio na coleta de amostras no campo, e a Sônia pelo auxílio concedido em análises de laboratório.

A todos os amigos do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas (GEPAG): André Orsi, André Jim, Débora, Carlos Alberto Oliveira de Matos, entre outros; pela amizade e convivência.

Aos companheiros de curso em especial, às amigas Andréa Bogatti Guimarães Tomazela e Ivana Fúrio Batista pela amizade construída e sincera, pelos momentos que passamos juntas, serão inesquecíveis.

Aos Professores do curso de Irrigação e Drenagem, pelos conhecimentos transmitidos e disponibilidade para nos atender.

Aos amigos e companheiros de curso Ana Paula Encide Olibone e Dácio Olibone pela colaboração nos trabalhos de campo, e pela nossa convivência nestes anos em que estivemos próximos.

Ao casal Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa e Luiz Antônio de Mendonça Costa por todos estes anos de amizade, companheirismo e grande apoio e conselhos, e à Mônica também agradeço pela confecção do summary.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTADE FIGURAS.....	XI
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
4.1 Importância da variabilidade espacial para agricultura de precisão.....	8
4.2 Geoprocessamento aplicado no mapeamento de dados georreferenciados.....	12
4.3 Sistema de posicionamento global - GPS.....	19
4.4 Análise Espacial.....	21
4.4.1 Variogramas.....	23
4.4.2 Krigagem.....	30
4.4.3 Validação Cruzada.....	33
4.5 Atributos físico-hídricos e químicos do solo.....	34
4.6 Agricultura de precisão.....	43
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
5.1 Localização e caracterização da área estudada.....	45
5.2 Equipamentos.....	48
5.3 Amostragem de solo.....	48
5.4 Análises químicas do solo.....	50

5.5	Análise Granulométrica, densidade de partículas e umidade atual do solo.....	51
5.6	Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo.....	51
5.7	Análise espacial dos dados.....	52
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
6.1	Análise descritiva.....	54
6.1.1	Parâmetros químicos do solo.....	54
6.1.2	Parâmetros físicos do solo.....	57
6.2	Análise espacial.....	59
6.2.1	Parâmetros químicos do solo.....	59
6.2.2	Parâmetros físicos do solo.....	68
6.3	Interpolação dos dados.....	73
6.3.1	Parâmetros químicos do solo.....	73
6.3.2	Parâmetros físicos do solo.....	90
6.4	Validação cruzada dos dados krigados.....	98
6.5	Zonas de manejo da umidade do solo.....	99
5.	CONCLUSÕES.....	101
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas na profundidade de 0-0,2m.....	55
2. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas na profundidade de 0,2-0,4m.....	56
3. Valores da estatística descritiva das variáveis físicas nas respectivas profundidades.....	58
4. Parâmetros variográficos das variáveis químicas na profundidade de 0-0,2m.....	65
5. Parâmetros variográficos das variáveis químicas na profundidade de 0,2-0,4 m.....	67
6. Parâmetros variográficos das variáveis físicas nas respectivas profundidades.....	71
7. Validação Cruzada da krigagem dos parâmetros químicos nas duas profundidades.....	98
8. Validação Cruzada da krigagem dos parâmetros físicos nas duas profundidades....	99

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Representação gráfica do variograma experimental e seus parâmetros.....	25
2. Localização da área de estudo.....	47
3. Pontos de amostragem em função da altitude de cada ponto.....	49
4. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas pH, MO e Al para as duas profundidades estudadas.....	60
5. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas K, Ca e Mg para as duas profundidades estudadas.....	61
6. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas SB, CTC e V% para as duas profundidades estudadas.....	62
7. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas H+Al, B e Cu para as duas profundidades estudadas.....	63
8. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas Fe, Mn e Zn para as duas profundidades estudadas.....	64
9. Variogramas isotrópicos das variáveis físicas areia, argila e silte para as duas profundidades estudadas.....	69
10. Variogramas isotrópicos das variáveis físicas umidade, densidade do solo, PT e microporosidade do solo nas respectivas profundidades.....	70
11. Mapa do pH do solo nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	75
12. Mapa da MO nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	76
13. Mapa do P na profundidade 0,2-0,4m.....	77
14. Mapa do Al nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	78
15. Mapa do K nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	79
16. Mapa do Ca nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	80

17. Mapa do Mg nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	81
18. Mapa da SB nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	82
19. Mapa da CTC nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	83
20. Mapa do V% nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	84
21. Mapa do H+Al na profundidade de 0-0,2m.....	85
22. Mapa do B nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	86
23. Mapa do Cu nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	87
24. Mapa do Fe nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	88
25. Mapa do Mn nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	89
26. Mapa do Zn na profundidade 0,2-0,4m.....	90
27. Mapa da areia nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	92
28. Mapa da argila nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	93
29. Mapa do silte nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).....	94
30. Mapa da PT nas profundidades 0-0,05m e 0,20-0,25m.....	95
31. Mapa da microporosidade nas profundidades 0-0,05m e 0,20-0,25m.....	96
32. Mapa da umidade na profundidade 0-0,05m.....	97
33. Mapa da densidade do solo na profundidade 0,20-0,25m.....	97
34. Mapa das zonas de manejo da umidade do solo (da irrigação).....	100

1. RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar a variabilidade espacial da fertilidade e de propriedades físicas do solo, em área irrigada sob sistema de pivô central cultivado com culturas anuais em plantio direto, com o intuito de verificar as conseqüências do uso intensivo do solo com irrigação, buscar soluções para melhor utilização de insumos e da água de irrigação, e subsidiar o mapeamento em diferentes zonas de manejo. O estudo foi realizado no município de Colômbia (SP), num pivô central de 65ha, cujas coordenadas geográficas são: latitude 20°16'09"S e longitude 48°40'43"W, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura média. As amostras de solos georreferenciadas foram coletadas em duas profundidades (0-0,2 e 0,2-0,4m) e analisadas quanto ao pH em CaCl₂, H + Al, matéria orgânica, P_{resina}, cálcio, magnésio e potássio, e micronutrientes: boro, cobre, ferro, enxofre, manganês e zinco; sendo calculados: soma de bases (SB), CTC, V%. Foram realizadas também análises de granulometria e densidade de partículas. Nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25m analisou-se: densidade do solo, porosidade total, micro e macroporosidade; sendo a umidade atual realizada somente na profundidade de 0-0,05m. A análise da dependência espacial foi realizada por meio do ajuste dos dados ao variograma experimental e da interpolação de dados através da krigagem ordinária, visando definir o padrão espacial das variáveis estudadas. Com base nos mapas obtidos foram estabelecidas zonas de manejo da fertilidade do solo e dos parâmetros físico-hídricos para manejo da irrigação. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que mesmo em área restrita como

a do pivô central, ocorre variabilidade espacial tanto das características químicas quanto físicas. Os atributos químicos e físicos do solo apresentaram dependência espacial de média a forte. A dependência espacial dos atributos químicos variou de 86 a 700m superficialmente e de 113 a 533m em subsuperfície. No manejo da fertilidade deve-se levar em consideração a dependência espacial até a distância de 86m. A dependência espacial dos atributos físicos variou de 207 a 714m. No manejo das variáveis físicas do solo deve-se levar em consideração a dependência espacial até a distância de 207m. Existe grande relação entre os teores de bases trocáveis e o teor de argila do solo. Considerando a necessidade de fertilização do solo é possível estabelecer quatro regiões de aplicação a taxas variáveis. O teor de argila e a umidade do solo possuem variabilidade e dependência espacial, é interessante que se estabeleça pelo menos duas zonas de manejo da irrigação. A análise espacial foi uma ferramenta útil para detectar e estabelecer parâmetros de planejamento da fertilização e irrigação.

Palavras-chave: geoestatística, variabilidade espacial, física do solo, química do solo, zonas de manejo.

SOIL MAPPING OF ATRIBUTES TO AIM IRRIGATION PLANNING UNDER CENTRAL PIVOT. Botucatu, 2007. 118 p.

Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GLÁUCIA DE MELLO PELÁ

Adviser: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

2. SUMMARY

The aim of this work was to determine the spatial variability of fertility and physical properties of the soil, in an irrigated area under central pivot system cultivated with annual cultures in no tillage system, to verify which are the possible influences that the intensive soil use with irrigation causes, to looking for solutions to improve the input and the irrigation water use, and to enhanced the plotting in different control zones. The study was accomplished in Colombia's Municipal district (SP), with geographical coordinates: latitude 20°16'09"S and longitude 48°40'43"W, in a loamy dystrophic Red Latosol. The georeferencing soil samples were collected at two depths (0- 0.20 and 0.20-0.40 m) and were analyzed by pH (CaCl₂), H + Al, MO-organic matter, P_{resin}, Ca, Mg, K, SB, CTC, V%, B, Cu, Fe, S, Mn, and Zn. Were determined granulometry, soil density and particles density, total porosity, micro and macroporosity. The spatial analysis dependence was realized through the data adjustment to experimental variogram and ordinary kriging interpolation, aiming to define the standard space of the studied variables. Based in this maps, were established soil fertility handling control zones and of the physics parameters for irrigation handling. Using obtained results, it is possible to conclude that: even in a restricted area as the central pivot occurs spatial variability as much the chemical how much the physical characteristics; the chemical and physical attributes of the soil presented strong spatial dependence; the spatial dependence of the chemical attributes varied from 86 to 700m superficially and from 113 to 533m subsuperficially, to concluding itself that in the fertility handling it should considering the distance from 86m; the spatial dependence of the physical attributes varied from 207 to 714m, concluding itself that in the soil physical variables handling it should considering the distance from 207m; there is great relation among contents of exchangeable bases and the soil

clay content. Considering the soil necessity of fertilization its possible to establish four application regions at variable rates; the clay content and the soil humidity have variability and spatial dependence and it is interesting to establish at least two irrigation control zones; the spatial analysis was an useful tool to detect and to establish fertilization and irrigation planning parameters.

Keywords: geostatistics, spatial variability, soil physics, soil chemistry, control zones.

3. INTRODUÇÃO

Os problemas advindos do uso irracional dos recursos naturais têm despertado cada vez mais interesse de estudiosos e pesquisadores do mundo inteiro. Devido a esta crescente preocupação, têm-se estudado a melhor forma de adequação dos possíveis usos da agricultura às características naturais, utilizando-os de maneira menos agressiva, com prejuízo mínimo para o equilíbrio dos ecossistemas naturais.

A degradação do solo por erosão acelerada causa impacto irreversível sobre a qualidade do ambiente. Portanto, a poluição das águas superficiais por sedimentos, em conjunto com a contaminação das águas subsuperficiais por lixiviação de nutrientes e agroquímicos, constituem duas grandes preocupações ambientais da atualidade. Para a solução destes e de vários outros problemas torna-se necessário aplicar o planejamento sustentável, baseado na viabilidade econômica, que seja ambientalmente correto e socialmente justo.

Neste contexto, para ser competitivo no mercado, é necessário aumentar a produtividade, aplicando corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas, com conseqüente redução de custos e que ao mesmo tempo conserve a fertilidade do solo.

As perspectivas para o uso e ampliação da área irrigada brasileira são promissoras, primeiro pela disponibilidade de rios, nascentes e cursos d'água e depois, porque

o aumento da produtividade justifica esse investimento. A importância das áreas irrigadas pode ser verificada pela análise de informações sobre a superfície e produção agrícola colhida anualmente no mundo, dados do ano 2000, mostraram que somente 18% de toda a área cultivada, ou seja, 275 milhões de hectares, foram cultivados sob irrigação, e a produção colhida nestas áreas corresponderam a 42% da produção total mundial (CHRISTOFIDIS, 2002). No Brasil, de acordo com dados da ABIMAQ/CSEI (Associação Brasileira da Indústria de Máquinas/ Câmaras Setoriais de Equipamentos de Irrigação) de dezembro de 2001, a área total cultivada foi de 38,3 milhões de hectares, sendo somente 2,95 milhões de hectares irrigados, que corresponde a 7,7% da área cultivada, mas foi responsável por 35% da produção agrícola nacional. Por isso, a irrigação é estratégica para consolidar a participação comercial do Brasil em mercados altamente competitivos e melhorar os níveis de renda e emprego no meio rural e nos setores urbano-industriais, que estão vinculados ao complexo de atividades da agricultura irrigada. É parte estruturante do agronegócio que faz crescer a economia do país.

Fica cada vez mais importante o conceito de não considerar somente a produtividade das lavouras, mas crescendo o da sobrevivência pelo adequado uso do capital, gestão e modernas tecnologias, onde se encaixa muito bem o pivô central, responsável pela garantia de até três safras anuais com o plantio de culturas produtoras de grãos, dependendo do ciclo, bem como pela produção pecuária. Dentre os vários tipos de irrigação utilizados no Brasil, 50% do total é realizado por superfície e inundação, e 21% é por pivô central. Infelizmente a eficiência no uso da água em sistemas por superfície ou inundação é muito baixa, e o estudo do aproveitamento da água aplicada em sistemas de irrigação é base necessária para se racionalizar o consumo de água, que é um recurso natural de extrema importância, necessitando ser mais bem utilizado para que no futuro tenhamos acesso a quantidades suficientes de água.

Torna-se necessário, no planejamento sustentável, o levantamento das características dos solos envolvidas nos mecanismos de retenção e movimentação de água no solo, de modo que, possa ser avaliado e previsto o fluxo de água na bacia hidrográfica, visando técnicas e manejos que promovam a maior permeabilidade dos solos, bem como o armazenamento da água no solo por mais tempo possível.

De um modo geral, com a melhor adequação das propriedades físico-hídricas dos solos, tais como, porosidade e densidade do solo influenciam positivamente para

aumento da infiltração de água no solo, os rios têm sua vazão regularizada, promovendo maior fluxo nos períodos de seca e controlando o excesso de água nos períodos de maior precipitação, evitando enchentes.

Com relação às propriedades químicas, físicas e biológicas, há de se considerar também a interferência do plantio direto, ou seja, a influência na disponibilidade dos nutrientes no solo e no comportamento físico, devido às diferenças nas práticas de manejo, tais como a ausência de incorporação dos corretivos, o acúmulo de vegetais na superfície do terreno e as adubações superficiais, associadas ao uso da irrigação.

Com o advento de novas tecnologias, o uso da agricultura de precisão está se tornando cada vez mais acessível, servindo como ferramenta para aperfeiçoar e facilitar o estudo na realização do planejamento agropecuário.

O conhecimento da variabilidade espacial por meio da utilização de técnicas geoestatísticas, dos fatores que influenciam a produtividade das culturas é um dos alicerces da agricultura de precisão, o monitoramento localizado de insumos reduz desperdícios e conseqüentemente aumenta os lucros além de manter a qualidade do meio ambiente. Levando-se em consideração a variação dos ambientes e a carência de informações detalhadas para a aplicação da agricultura de precisão, é essencial a realização de estudos, de forma a obter conhecimento sobre a variabilidade espacial de diferentes propriedades do solo, que influenciam direta e indiretamente nos fatores de produção das culturas.

O presente trabalho teve como objetivo determinar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo, em área irrigada sob sistema de pivô central cultivado com culturas anuais em plantio direto, para verificar quais as conseqüências do uso intensivo do solo com irrigação, com o intuito de buscar soluções para melhor utilização de insumos e da água de irrigação, e subsidiar o mapeamento em diferentes zonas de manejo.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Importância da variabilidade espacial para agricultura de precisão

O conhecimento da variabilidade espacial dos solos datado desde o início do século XX, no qual trabalhos de Mercer e Hall (1911) e Vieira et al. (1983) mostraram a ocorrência de dependência espacial em experimentos de campo, porém a inexistência de estudos matemáticos aplicados a esse fim, terem favorecido a permanência do uso da estatística clássica por longo tempo. Somente em 1963, Matheron (1963) estabeleceu os princípios da geoestatística, primeiramente com aplicação voltada à mineração, com objetivo de melhor localizar as minas para exploração. Gonçalves (1997) descreveu ainda que somente após o trabalho realizado por Beckett e Webster (1971) foi despertado o interesse pela variabilidade espacial em solos.

Reichardt et al. (1986) realizaram revisão bibliográfica mostrando os trabalhos mais relevantes, tanto no exterior, como no Brasil para a aplicação do estudo da variabilidade espacial buscando desmistificar a dificuldade deste estudo, até então muito pouco conhecido no país, bem como destacar a importância e sua aplicação prática em pesquisas. Estes autores relataram também que se tornava cada vez mais necessário considerar a variabilidade em três dimensões, em todas as áreas da Ciência do Solo: física, química,

fertilidade, conservação, etc., uma vez que tinham aumentado as exigências para a manutenção de altos níveis de produtividade nas culturas.

A partir do desenvolvimento das técnicas estatísticas para análise de dados georreferenciados, ou seja, da geoestatística, observou-se um grande avanço nos estudos das propriedades de solos que antes eram difíceis de serem calculados. Segundo Hamlett et al. (1986), citado por Gonçalves (1997) as análises estatísticas tradicionais, baseadas na independência dos dados, têm sido substituídas por análises espaciais, as quais consideram as correlações entre observações vizinhas. Graças a essa técnica atualmente temos muitos pesquisadores inseridos em várias áreas do conhecimento, podendo ser encontrado grande número de trabalhos. Cichota e Jong van Lier (2004) ressaltaram a importância do estudo da variabilidade espacial, principalmente na determinação do número e espaçamento adequado de amostras para que sejam representativas das propriedades de solo, demonstrando que a análise da existência e do padrão de dependência espacial proporciona o estudo do comportamento das variáveis no espaço, bem como permite uma exploração mais adequada dos resultados.

O manejo regionalizado do solo e da cultura é parte integrante de um sistema de agricultura de precisão, o qual envolve conceitos de uso de informações geográficas sobre a variabilidade de propriedades locais e climáticas em uma área. A agricultura de precisão aborda decisões sobre o manejo de culturas e resíduos, seleção de sementes e cultivares e aplicação de água e drenagem (MULLA; SCHERPERS, 1997), crescimento da cultura e nutrientes do solo (VERHAGEN; BOUMA, 1997), propriedades físicas, químicas e hídricas do solo, incidência de pragas e doenças e produção das culturas (CAHN et al., 1994).

O uso de técnicas de geoprocessamento, aliada às análises para o conhecimento da variabilidade espacial do solo auxilia na avaliação da distribuição das propriedades do solo em um campo ou numa bacia hidrográfica, sendo importante para o refinamento das práticas de manejo e para a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental. Esta tecnologia torna possível a realização de análises complexas, por meio da possibilidade de integração de dados de diversas fontes e da criação de um banco de dados georreferenciados. Distribuições espaciais de diferentes variáveis podem ser visualizadas e manejadas usando Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Ainda são poucos os trabalhos nesta área para as condições brasileiras; os bancos de dados disponíveis

não possuem o detalhe exigido para que se possa implantar um programa de agricultura de precisão e/ou irrigação de precisão, além do que o custo desta tecnologia ainda é muito alto para nosso país, apesar de possuir áreas com potencial de uso desta técnica.

É importante conhecer a variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas e de fertilidade do solo para irrigação e subdivisão dos solos para que se possa fazer distinção entre estes. O conhecimento da natureza das propriedades físicas é necessário para elaboração de projetos racionais de irrigação, considerando a facilidade com que a água pode se mover no solo e sua disponibilidade para as plantas. Aeração e porosidade também são importantes para melhor planejar e dimensionar irrigação e drenagem. Também os parâmetros como densidade de partículas, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, porosidade, umidade do solo e disponibilidade de água para planta, normalmente são determinados no laboratório e a infiltração de água no solo é determinada no campo para oferecerem subsídios de planejamento da irrigação. O conhecimento da distribuição das propriedades do solo em campo e numa bacia hidrográfica é importante para o refinamento das práticas de manejo e para a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (CAMBARDELLA et al., 1994), e têm importância também em cartografia pedológica e no uso do solo (BERG; KLAMT, 1997; BURROUGH, 1987a; BECKET; WEBSTER, 1971).

A agricultura de precisão tem sido adotada por muitos grupos diferentes, incluindo fabricantes de equipamentos e máquinas, fornecedores de insumos, companhias de sementes, consultores agrônômicos, cientistas de universidades e produtores como um caminho para melhorar o retorno econômico da atividade agrícola (RUNGE; HONGS, 1999). Um bem sucedido sistema de manejo em agricultura de precisão é aquele no qual as limitações para a produção das culturas e para a proteção ambiental podem ser identificadas, caracterizadas e manejadas em tempo e local adequados. Programas de agricultura de precisão baseados somente em resultados de análises químicas do solo podem não ser suficientes se as maiores limitações para o desenvolvimento das culturas forem a água disponível no solo, a falta de aeração ou a competição de plantas daninhas (MULLA; SCHERPERS, 1997).

Para a implantação de um sistema de agricultura de precisão, Karlen et al. (1999) recomendaram a integração de três elementos:

1. capacidade de posicionamento;
2. mecanismo em tempo real para controlar nutrientes, agrotóxicos, sementes, água ou outros fatores de produção;
3. bases de dados ou sensores que forneçam informações necessárias para identificar respostas da cultura ao insumo para as condições em locais específicos.

Estas várias tecnologias proporcionam o desenvolvimento da agricultura de precisão, porém é o conhecimento e o entendimento da variabilidade espacial e temporal dos atributos dos solos e das plantas e suas relações, bem como a possibilidade de manejar essa variabilidade, que viabilizam a aplicação dos conceitos da agricultura de precisão. Coelho (2003) descreveu as diferentes etapas que compõem a agricultura de precisão: identificação da variabilidade; caracterização da variabilidade; identificação do (s) principal (is) fator (es) limitante (s); desenvolvimento do plano de ação; manejo da variabilidade; e avaliação econômica e ambiental.

Em análise detalhada da literatura existente, Webster (1985) mostrou que um número grande de métodos foi desenvolvido para avaliar a variabilidade espacial das propriedades do solo. O método mais importante mencionado inclui análise de variância para amostragem, através de grupos que podem mostrar a distribuição da variância ao longo de um incremento da escala espacial, considerando a variância de amostras georreferenciadas em uma linha ou grid ou em amostragem ligeiramente irregular.

Os questionamentos acerca da possibilidade de implantação da agricultura de precisão no Brasil são freqüentes, em função dos seus custos e de sua alta sofisticação em relação ao atual nível educacional do agricultor brasileiro, quando comparado com o de países desenvolvidos onde a agricultura de precisão já vem sendo praticada. Pode-se dizer que muitas das técnicas da agricultura de precisão podem ser perfeitamente adaptadas para as condições da agricultura brasileira. Baseado nisto Coelho (2003) descreveu algumas razões para explicar esse fato, dizendo que grandes investimentos foram feitos até hoje no sentido de atender as indagações dos fatores limitantes da produtividade e que com a agricultura de precisão pode-se encontrar respostas que até então não estavam presentes nos

questionamentos. Por mais que o conhecimento do manejo das principais culturas venha ocorrendo de forma organizada e haja incorporação rápida das inovações tecnológicas, ainda faltam ferramentas que auxiliem no entendimento dos fatores que comprometem a produtividade. Por outro lado, sabe-se que no Brasil, o banco de dados para se implementar e aplicar estudos com agricultura de precisão e informações históricas são incipientes, ou inexistentes, o que ocasiona a dificuldade de se realizarem estudos mais detalhados. Principalmente em decorrência da falta de estações meteorológicas para fornecimento de informações e mapeamento das condições climáticas, como o balanço hídrico, dados de temperatura, estimativa de chuvas máximas dentre outros, ausência de mapas de solos, que caracterizam glebas dentro de cada propriedade, pois se sabe que diferentes classes de solos permitem manejo diferenciado, e a agricultura de precisão é a ferramenta que estava faltando para fazer com que estas aplicações ficassem cada vez mais acessíveis e disponíveis a maior número de pessoas, bastando somente reconhecer que o investimento nesta área pode trazer grandes resultados tanto econômicos quanto ambientais e sociais.

4.2 Geoprocessamento aplicado no mapeamento de dados georreferenciados

O termo geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia tem influenciado de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia, planejamento urbano e regional (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). Outra definição muito similar é descrita por Moreira (2005): “Geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sensor”.

No Brasil, a introdução do geoprocessamento teve início nos anos 80, a partir de esforços do professor Jorge Xavier da Silva, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), que em 1982 trouxe ao Brasil o Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro SIG denominado “*Canadian Geographical Information System*” (MOREIRA, 2005).

As aplicações do geoprocessamento na agricultura são inúmeras: facilitar o trabalho no campo, tanto na execução de demarcações de áreas e distribuição adequada das áreas para melhor planejamento das práticas de manejo, monitorar a produção, a fertilidade do solo, as perdas de insumos, o controle de pragas e doenças, além de ser uma ferramenta para aplicação do planejamento econômico na administração da empresa agropecuária.

Neste contexto, as tecnologias de informação geográfica - SIG, GPS (Sistema de Posicionamento Global), imagens de satélite - estão chegando às mãos de governantes e administradores públicos para que eles possam tomar decisões mais corretas sobre políticas e planos que privilegiem a solução de problemas que afligem a população. Tornar mais conhecidas as tecnologias de informação geográfica como o sensoriamento remoto, cartografia digital, GPS e o SIG parece fácil, com a globalização da economia. Mas apenas nos últimos anos, o Brasil e outros países da América Latina têm acordado para investir em mapeamento e construção de sistemas de informações geográficas digitais. No Brasil cresce a participação do setor privado, que ao lado do setor público tem ajudado a alavancar projetos de vigor (GRANEMANN, 1997).

A informação geográfica apresenta uma natureza dual: um dado geográfico possui uma localização geográfica, expressa em coordenadas em um espaço geográfico, e atributos descritos, ou valores de dados amostrais, que podem ser representados num banco de dados convencional.

De posse de dados georreferenciados, pode-se fazer o processamento dessas informações de várias maneiras. Os fenômenos geográficos, ao se distribuírem sobre a superfície da Terra estabelecem padrões de ocupação. Ao representar tais fenômenos, o geoprocessamento procura determinar e esquematizar os mecanismos implícitos e explícitos de inter-relações entre eles. Câmara e Medeiros (1998) descreveram os vários padrões de inter-relação que podem assumir diferentes formas como, por exemplo: correlação espacial, temática, temporal ou topológica. Ainda destacaram que o objetivo principal do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem a evolução espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenômenos. É neste ponto que a geoestatística, toma grande relevância devido a sua grande capacidade de proporcionar a análise espacial de dados georreferenciados, e com

uso de interpolações adequadas, realizarem o mapeamento de áreas, que tem aplicações na agricultura.

Os tipos de dados para se realizar a produção de um mapa podem ser oriundos de inúmeras fontes e o entendimento da tecnologia de geoprocessamento requer uma descrição dos diversos tipos de dados utilizados em SIGs e de suas representações computacionais.

O SIG é atualmente uma ferramenta muito útil para uso em planejamento ambiental e urbano, análise e armazenamento de informações, organização de dados e tem-se tornado uma ferramenta de múltiplas aplicações. Se tornou um marco para o uso adequado e otimização do geoprocessamento que pode ser empregado nas mais variadas atividades empresarias, tais como, econômicas, governamentais, ambientais, com vistas para o uso agrícola e preservação ambiental, para um melhor uso dos recursos naturais e a manutenção destes.

A tomada de decisão que envolva interações complexas entre diferentes recursos naturais e a sociedade, em relação aos processos de desertificação, erosão (principalmente em solos agrícolas), monitoramento de espécies em extinção, chuvas ácidas, poluição das águas, contaminação de aquíferos e solos, mudanças climáticas globais, entre outros. O mapeamento e monitoramento de tais mudanças, bem como para o planejamento e mapeamento de respostas apropriadas são necessários programas que possam capturar e armazenar informações sobre os recursos naturais existentes, usando a tecnologia espacial disponível (satélites de sensoriamento remoto) e SIGs (MIRANDA, 2005).

SIGs são sistemas destinados ao tratamento de dados referenciados espacialmente que manipulam dados de diversas fontes, mapas, imagens de satélites, cadastros e outros, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análise (ALVES, 1989). SIG é um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados do mundo real (BURROUGH, 1987b). De acordo com Câmara e Medeiros (1998) o termo SIG refere-se àqueles sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica qualquer. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados. Estas definições

de SIG refletem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A característica fundamental de um sistema de geoprocessamento é sua faculdade de armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional. Um mapa é uma representação gráfica de fenômenos geográficos, geralmente em uma superfície plana. No ambiente computacional, a noção de mapa deve ser estendida para incluir diferentes tipos de dados geográficos, como imagens de satélite e modelos numéricos de terreno (MNTs) (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Um SIG é formado basicamente por dois grandes conjuntos de informações: um banco de dados espaciais (gráficos) e um banco de dados de atributos (não gráficos). O banco de dados espaciais é uma coleção de mapas e informações armazenadas na forma digital e georreferenciadas para que haja sobreposição exata de vários “*layers*” ou planos de informações (PIs). Isso pode ser feito com a ajuda de várias ferramentas adicionais que usam a cartografia, um conjunto de softwares e um hardware compatível para o armazenamento e o processamento de todas as informações. O banco de dados de atributos que são dados quantitativos, tais como população, dados econômicos dentre outros. Geralmente é representado na forma de tabelas (séries estatísticas) cujos valores são classificados e mapeados na forma de cartogramas. Os dados qualitativos são produzidos a partir de fotointerpretação, sensoriamento remoto e trabalho de campo (uso do solo, cobertura vegetal, etc.) (CALIJURI, 1995).

O SIG tem como objetivos adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente; integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de variadas fontes de dados: mapas analógicos, fotografias aéreas, imagens de satélite, dados censitários, dados de campo, combinar as informações por meio de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; e, reproduzir, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificada (CASTRO, 1996).

O SIG é formado por um ou vários programas aplicativos que devem possuir os seguintes módulos: 1. entrada e edição – seleção dos dados a serem manipulados e inserção de novos dados no sistema; 2. conversão – transformação de formatos 3. armazenamento e gerenciamento da base de dados; 4. manipulação e análise – geração de novos PIs a partir de operações de combinação de um ou mais PIs; 5. apresentação e saída –

geração de documentos cartográficos e funções de visualização (MEDEIROS; TOMÁS, 1994).

Muitos programas encontrados no mercado tais como, banco de dados, planilhas eletrônicas, pacotes para desenho auxiliado por computador (CAD – *Computer Aided Design*), permitem trabalhar com informações georreferenciadas, porém estes programas não são considerados SIGs porque não conseguem armazenar as relações existentes entre as entidades ou elementos gráficos de um mapa, denotada como relações topológicas. Na verdade os CADs são ferramentas que podem ser utilizadas em conjunto para a execução de um SIG (MEDEIROS; TOMÁS, 1994; CASTRO, 1996).

Segundo Miranda (2005) o SIG pode ser associado a uma ciência da informação espacial como a geoestatística, por exemplo, encontrando suporte no fato de o SIG ser cada vez mais usado como modelador acessível do que existe no mundo real. Possibilitar respostas às muitas questões acerca de relações espaciais e fenômenos geográficos, em virtude do fato descreveu ainda que as áreas de aplicações sejam inúmeras, tais como, agricultura, botânica, economia, sensoriamento remoto, ecologia, geologia, geografia, entre outros, e afirmou que nem tudo o que um SIG pode fazer nas áreas de modelagem e análise espacial está delineada, é válido afirmar que dos sistemas disponíveis, sempre são descobertas novas funções, ou seja, há uma constante evolução.

Moreira (2005) descreveu que existe no mercado uma infinidade de programas computacionais adaptados a várias aplicações, inclusive nas ciências agrárias. Apresentou os principais SIGs disponíveis no mercado e suas características, sendo que se pode citar o SIG/IDRISI Data Files (EASTMAN, 1992); ARC/Info – Esri; MapInfo; Spring/INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); Sistema de Análise Ambiental para Planejamento Agrícola (SAMPA), desenvolvido pelo CEAPLA - Centro de Análise e Planejamento Ambiental de Rio Claro - SP (KOFFLER et al., 1995); GRASS - Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos (*Geographic Resources Analysis Support System*). O Spring/INPE é gratuito, inteiramente brasileiro e está disponível na internet, como muitos outros SIGs gratuitos.

Fiorio et al. (1999) avaliaram a potencialidade do uso da terra na microbacia hidrográfica do córrego do Ceveiro na região de Piracicaba – SP, com o uso do programa SIG/Idrisi e obtiveram a aptidão agrícola através do Sistema de Análise para

Planejamento Agrícola (SAMPA), pela análise dos dados locais, obtiveram o mapa de solos, o mapa de uso atual das terras no ano de 1995, o mapa de uso preferencial e o mapa de intensidade de uso das terras nesta microbacia. Os autores concluíram com o trabalho que a cana-de-açúcar é a grande responsável tanto pela utilização adequada como pela excessiva, já que a mesma ocupava em 1995 cerca de 66% do total da área da microbacia, e estava ocupando áreas onde não deveria ter sido plantada em virtude dos sérios riscos de erosão e desequilíbrio ambiental. Num outro trabalho realizado por Fiorio et al. (2000) nesta mesma microbacia hidrográfica, verificaram que a cana-de-açúcar avançou em área, pois em 1962 ocupava 16% da microbacia, e em 1995 passou a ocupar 66%. Esta expansão desordenada que leva em consideração aspectos econômicos, sem preocupação com a aptidão das terras, causou impacto ambiental negativo.

Segundo Felgueiras e Câmara (1993), citados por Lopes Assad (1995), em um país de dimensão continental como o Brasil existe uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais e, para tais objetivos, os SIGs apresentam um enorme potencial. Para atender a essas necessidades, foi desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, o SIG/INPE.

Lopes Assad (1995) determinou a aptidão agrícola de terras numa área de 4.300 ha da Fazenda Água Limpa, na Estação Experimental da Universidade de Brasília, concluiu que através da determinação prévia das equações representativas das possíveis combinações de classes dos vários planos de informação (PIs), e que correspondem a cada classe de aptidão agrícola foi possível automatizar a avaliação da aptidão agrícola de terras, utilizando um SIG, para a integração de dados provenientes de levantamento de solos e de cartas planialtimétricas. A quantificação automática de áreas, a obtenção de mapas intermediários e a possibilidade de constante atualização das informações geoambientais espacializadas em base cartográfica devidamente arquivada em suporte informatizado, constituíram grandes vantagens do método proposto. A obtenção de mapas de aptidão agrícola evidencia o melhor uso das terras, estes podem subsidiar o planejamento de uso e manejo agrícola da área, e devem ser complementados, sempre que possível, por uma caracterização mais detalhada. Trabalhos semelhantes foram feitos por Formaggio et al. (1992) e Lima et al. (1992) que são bastante similares à metodologia utilizada por Lopes Assad (1995) usando o

SIG/INPE para avaliar a aptidão agrícola das terras, a obtenção de mapas de riscos de erosão e a taxa de adequação de uso das terras.

Castro e Valério Filho (1997) admitiram que a adoção de técnicas de processamento digital, em particular do processamento de dados e informações geográficas, atribuíram as investigações ambientais características e potencialidades integradas; a utilização de modelos matemáticos – conceituais, determinísticos e estocásticos – apresentaram-se como alternativa válida para otimização desses processos de integração, emprestando as iniciativas em SIGs objetividade e orientação mais direta aos problemas investigados.

Com o emprego da interpolação de dados, a evolução da ciência da computação e dos SIGs, abriu-se uma porta para a manipulação de dados em curto espaço de tempo, dispensando agrupamento dos dados em classes, sendo estes apresentados automaticamente em mapas de isolinhas (McBRATNEY; ODEH, 1997). Mas deve-se ter cuidado com o uso indiscriminado de softwares por usuários não habilitados, que desconhecem as técnicas e os métodos de como se aplicar os conhecimentos da análise espacial.

Métodos como a interpolação por krigagem e cokrigagem, por exemplo, podem ser usados para construir mapas para cada propriedade do solo, e se encarregam de ajustar as áreas entre as amostras criando mapas mais similares aos níveis de nutrientes no solo, da granulometria, da densidade do solo, levando em consideração a variabilidade espacial. Pode-se além da confecção destes mapas, fazer a sobreposição destes com mapas topográficos ou de elevação do terreno, usando pontos para mensuração e sendo representados por isolinhas ou linhas de contorno.

Com essa finalidade, Corá et al. (2004) estudaram a variabilidade espacial de alguns atributos químicos do solo, e mapearam os nutrientes P, Ca, K, Mg, e os teores de MO, pH, CTC, V%, H + Al, em duas profundidades (0-0,2 e 0,6-0,8m) num LATOSSOLO sob cultivo com cana-de-açúcar para adoção do sistema de agricultura de precisão, e identificaram que o manejo no solo alterou a dependência espacial dos atributos do solo na camada superficial de forma a diminuir a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em relação à camada mais profunda. Sanches (1999) e Mello et al. (2006a) estudaram a variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas de LATOSSOLOS; Araújo e Oliveira (2003) avaliaram a variabilidade espacial do cálcio, magnésio, fósforo e potássio em

solos das regiões oeste e do Baixo Açu, Estado do Rio Grande do Norte. Reetz Jr. (2000) obteve mapas de P em diferentes escalas a partir do tamanho de grid de amostragem utilizado. Manzione (2002) confeccionou mapas de fertilidade do solo utilizando o SIG/Idrisi, apresentando os mapas de necessidade de calagem e de aplicação de fertilizantes, calculados pela interpolação por krigagem, e concluiu que este interpolador mostrou-se robusto na confecção de mapas de fertilidade quando detectada a dependência espacial entre as amostras.

Para execução de um mapeamento adequado é necessário efetuar primeiramente a análise espacial dos dados georreferenciados. Coelho (2003) descreveu a agricultura de precisão voltada ao manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas e definiu que o manejo de solos e culturas por zonas uniformes tem a propriedade de identificar e analisar características de solo, histórico de cultivo, clima e outras variáveis do sistema de produção, em diferentes locais dentro do campo. De acordo com o autor a agricultura de precisão ou manejo por zonas uniformes tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e das culturas no espaço e no tempo. Sem essa variabilidade, o conceito de agricultura de precisão teria pouco significado e nunca evoluiria. Numa outra definição de Pierce e Nowak (1999) citados por Coelho (2003) “Agricultura de precisão é a aplicação de princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal associada com todos os aspectos da produção agrícola com o objetivo de aumentar a produtividade na agricultura e a qualidade ambiental”.

4.3 Sistema de posicionamento global - GPS

Pelo fato do controle local ser importante para a agricultura de precisão, por possibilitar acesso à variabilidade e também à aplicação localizada e diferencial de insumos, o desenvolvimento dessa técnica teve grande significado para aplicação do manejo localizado (COELHO, 2003). O GPS é uma tecnologia que possibilita determinar a posição em qualquer parte do globo terrestre.

A tecnologia GPS foi criada na década de 70, mas somente nos dias atuais, com uma extensa rede de satélites proporcionando confiabilidade no sistema é que tem feito do seu uso uma rotina em muitas propriedades agrícolas.

O Navigation System with Timing and Ranging – NAVSTAR – Global

Positioning System – GPS, também conhecido como sistema de posicionamento global, consiste de 24 satélites que orbitam ao redor da Terra duas vezes ao dia em trajetórias muito precisas e transmitem informações de posicionamento. O sistema GPS calcula posições desconhecidas na Terra, mar e ar a partir de posições conhecidas desses satélites no espaço (MIRANDA, 2005). Os objetivos originais do GPS são a determinação instantânea para a navegação, dando posição e velocidade de um objeto, inclusive a indicação precisa do tempo. Existem dois sistemas de receptores de satélites; um é o NAVSTAR que é americano e o GLONASS que é russo. Os satélites são usados nas medições como pontos de referência e a partir da triangulação, pode-se localizar qualquer ponto na superfície terrestre em coordenadas como latitude/longitude ou UTM (ROCHA; LAMPARELLI, 1998).

A iniciativa GPS é militar, mas já há algum tempo teve liberação para uso civil. A primeira aplicação do sistema GPS foi o estabelecimento de uma rede geodésica de alta precisão. O governo americano, por meio do seu Departamento de Defesa, encarregou-se de fazer a manutenção do sistema, como a substituição eventual de satélites em caso de falência.

A tecnologia do GPS é muito importante na coleta de dados georreferenciados, pois em várias áreas do conhecimento, a localização de pontos ou amostras no campo, ou de informações coletadas é indispensável para seu posterior processamento. Atualmente, têm-se receptores manuais de dados com muito boa precisão e baixos erros de medição que servem tanto para aplicação na agricultura quanto para a pesquisa.

Miranda (2005) descreveu que os problemas de precisão com GPS se devem a três fatores: 1. O código do tempo do relógio atômico é monitorado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, por questão de segurança; 2. O número de satélites visíveis; 3. A qualidade do aparelho receptor de GPS. Para melhorar a precisão deste último pode-se usar o sistema DGPS (GPS Diferencial), que têm dois receptores simultâneos onde um deles tem a posição conhecida de maneira precisa.

Entre as tecnologias usadas na agricultura de precisão, têm-se uma integração de várias áreas, tais como: o uso do GPS na captação da localização e auxílio direto na realização de mapeamentos, através da geoestatística; os SIGs com sua habilidade de manipular informações georreferenciadas; o transporte de sensores a bordo de máquinas agrícolas; o sensoriamento remoto, tanto por satélites como por avião; tecnologias de taxa-

variável, modelagem da produção agrícola e suporte à decisão, sendo que todas estas devem estar integradas dentro de um sistema de gerenciamento empresarial.

4.4 Análise Espacial

Como uma ferramenta que serve para realizar o geoprocessamento das informações espaciais, a geoestatística é um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, aquelas que têm dependência espacial, e mostra características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas (LANDIM, 1998). Análises geoestatísticas são baseadas nos conceitos de variável regionalizada, funções aleatórias e estacionariedade (TRANGMAR et al., 1985).

A teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas, no tempo e espaço, sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Quando se trabalha com dados ambientais, estes são disponíveis usualmente como um conjunto de valores, que podem estar regularmente ou irregularmente distribuídos, e que podem ser modelados como mapas de superfície contínua. Neste contexto, a abordagem geoestatística representa um conjunto de técnicas para reconstruir uma superfície, com base numa caracterização da similaridade espacial entre as amostras (o variograma). Central à abordagem da geoestatística é o conceito de *estacionariedade*, que supõe um comportamento homogêneo da autocorrelação espacial na região de estudo. Como dados ambientais são resultantes de fenômenos naturais, a hipótese de estacionariedade é sustentada com frequência até certo ponto.

As técnicas da geoestatística lidam com problemas de espacialização de variáveis e representam uma promissora ferramenta para trabalhos em Sistema de Informação Geográfica – SIG (OLIVER; WEBSTER, 1990), em três aplicações básicas: a) estimativas: para inferir atributos em pontos diferentes daqueles originais, isto é, onde estes não foram coletados; b) previsões para detectar tendências em locais de máximos e mínimos; c) desenho de experimentos: para aperfeiçoar a segmentação da área em unidades de espaço.

Vários autores explicaram como ocorreu o desenvolvimento da estatística espacial, ou geoestatística como ela é conhecida nas Ciências do Solo. Webster e

Oliver (1990) e Vieira (2000) explicaram que os estudos tiveram início na mineração com dois pesquisadores em particular, Matheron e seus colaboradores da Escola Francesa de Mineração que são os responsáveis pela “Teoria das Variáveis Regionalizadas. E Daniel G. Krige que desenvolveu e aplicou-a empiricamente. Segundo aqueles mesmos autores, a geoestatística tem em sua terminologia uma forte influência da mineração.

Matheron (1963) concretizou os fundamentos da geoestatística, desenvolvendo a Teoria das Variáveis Regionalizadas. Definiu que a variável regionalizada pode ser representada por uma função espacial numérica, que apresenta uma variação de um local para outro, com uma continuidade aparente, caracterizando uma certa dependência espacial.

A teoria diz que alguma medida pode ser vista como uma realização de uma função aleatória (ou processo aleatório, ou campo aleatório, ou processo estocástico). Essa teoria consolida o alicerce da geoestatística (WEBSTER; OLIVER, 1990).

Segundo Burrough (1987a), a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser expressa pela soma de três componentes: a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e c) um ruído aleatório ou erro residual.

A aplicação da Teoria das Variáveis Regionalizadas assume que a variância entre quaisquer dos locais na região de estudo depende somente da distância e direção de separação das duas locações e não sobre sua localização geográfica. Baseado nesta pressuposição, o variograma médio para cada lag (distância) pode ser estimado para um dado volume no espaço tridimensional (TRANGMAR et al., 1985).

A maioria das propriedades das ciências do solo varia continuamente no espaço. Como consequência, os valores em locais mais próximos no solo são mais similares, e distintos daqueles que estão mais distantes. Eles dependem uns dos outros no sentido estatístico. Então as observações não podem ser consideradas como independentes, e um tratamento estatístico mais avançado é requerido. Do ponto de vista matemático, o valor de uma propriedade do solo em qualquer lugar da superfície terrestre é uma função de sua posição. Deve existir alguma expressão matemática que descreve esta variação de um ponto para outro. Na prática, a variação é muito irregular, e qualquer equação adequada relacionando

valores de uma propriedade com posição deve ser muito complexa (WEBSTER; OLIVER, 1990).

Estas variáveis têm em comum uma dupla característica: são aleatórias, já que os valores numéricos observados podem variar consideravelmente de um ponto a outro no espaço; e são espaciais porque apesar de muito variáveis dentro do espaço, os valores numéricos observados não são inteiramente independentes (GUERRA, 1988).

Como auxiliar na descrição e representação de variáveis contínuas de atributos dos solos e paisagens, inicialmente a geoestatística foi utilizada para estudar uma única variável, e posteriormente métodos geoestatísticos foram desenvolvidos para múltiplas variáveis, e para quantificar variáveis correlacionadas não conhecidas ou de difícil determinação (STEIN et al., 1988; McBRATNEY et al., 1991). No Brasil, o emprego de amostragens georreferenciadas e de métodos geoestatísticos, para solos ainda é incipiente e muito pouco disseminado, em comparação aos métodos convencionais de análises estatísticas.

4.4.1 Variogramas

Segundo Carter (1995), a habilidade dos variogramas em separar a variância de amostras, entre componentes espaciais e casuais, permite avaliações aperfeiçoadas de espaçamento e quantidade de amostragem de solo, além da melhor visão da continuidade destas características.

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975). A demonstração do desenvolvimento lógico e matemático da equação de cálculo do variograma pode ser obtida em Vieira (2000).

A dependência espacial é analisada, segundo Isaaks & Srivastava (1989), pela expressão:

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

Onde, $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância estimada para a distância h ; $N(h)$ representa o número de pares de valores medidos $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$ separados por um vetor h . Na denominação

geoestatística, $Z(x_i)$ é denominada de variável regionalizada (CLARK, 1979). O gráfico $\hat{\gamma}(h)$ versus h é chamado de variograma experimental e expressa a variabilidade espacial entre as amostras, sendo uma função que só depende do vetor h e, portanto, dependem de ambos, magnitude e direção de h .

Ocorrem três tipos de variogramas: observado ou experimental (obtido a partir das amostras colhidas no campo), verdadeiro (real, mas desconhecido) e teórico (de referência, utilizado para o ajuste do modelo) (GUERRA, 1988).

A definição teórica dessas ferramentas é baseada na Teoria das Funções Aleatórias (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978; ISAACS; SRIVASTAVA, 1989; BRAGA, 1990), que apresenta a estimativa experimental dessas estatísticas.

Supondo que $Z(x)$ represente o valor da variável para o local x , onde x é o vetor (x) e $Z_{(x+h)}$ representa o valor da mesma variável para alguma distância h (ou “lag”), em qualquer direção. O variograma resume a continuidade espacial para todos os pareamentos (comparação de dois valores) e para todos os h significativos.

O variograma depende da distância h entre x e $x+h$. Se $\hat{\gamma}(h)$ depende somente da distância e não da orientação, o variograma é denominado isotrópico. Outra hipótese da teoria geoestatística é que o variograma não depende da posição x , mas sim da natureza e a forma da relação de uma variável regionalizada, entre um ponto e outro qualquer, depende da distância entre estes dois pontos, e não onde os pares de pontos estão localizados dentro da área. A dependência espacial manifesta-se como uma correlação entre as amostras que diminui à medida que a distância entre os pontos amostrais aumenta, e desaparece completamente quando a distância entre os pontos amostrais é suficientemente grande, os quais, neste caso, são considerados estatisticamente independentes (VIEIRA, 2000).

A análise e o ajuste do variograma experimental a um teórico denominam-se Análise Estrutural. Na Figura 1 está exposta a representação gráfica do variograma experimental.

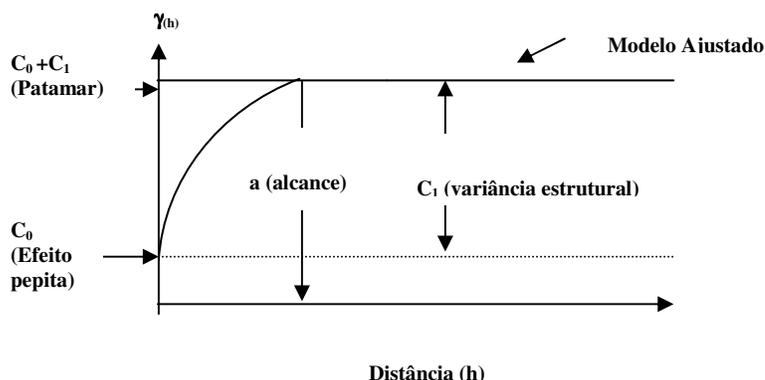


Figura 1. Representação gráfica do variograma experimental e seus parâmetros.

Os parâmetros do variograma podem ser descritos como:

Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. O alcance é indicado pela distância a partir da qual cessa o incremento da variância estimada, que atinge um valor de patamar. Representa o alcance da dependência espacial, ou raio de influência, dos pontos amostrados sobre sua vizinhança. Guerra (1988) menciona que o alcance corresponde ao conceito da zona de influência ou de dependência espacial de uma amostra, marcando a distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes.

Patamar ($C_0 + C_1$): é o valor do semivariograma correspondente a seu *alcance* (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se invariante com a distância. O Patamar corresponde ao ponto onde toda variância da amostra é de influência aleatória, correspondendo a variância total (s^2) obtida pela estatística clássica (TRANGMAR et al., 1985).

Efeito Pepita (C_0): idealmente, $\hat{\gamma}(0) = 0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $\hat{\gamma}(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado *Efeito Pepita* (C_0), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada

pela amostragem. Dados com elevado C_0 requerem maior cuidado para sua espacialização e mapeamento (VALERIANO; PRADO, 2001). O efeito pepita é um parâmetro importante do semivariograma e indica variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medidas ou microvariações não detectadas considerando a distância de amostragem utilizada, erros de análises laboratoriais, no entanto, é impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade (CAMBARDELLA et al., 1994). O Efeito Pepita é, portanto, um parâmetro importante do variograma, indicando a variabilidade não explicada ao se considerar a distância de amostragem. Quando o Efeito Pepita (C_0) for aproximadamente igual ao Patamar ($C_0 + C_1$), tem-se o Efeito Pepita Puro, o que demonstra uma ausência total de dependência espacial para a escala pesquisada (TRANGMAR et al., 1985).

Variância Estrutural (C_1): é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C_0) e representa a variância estrutural ou espacial.

A relação em porcentagem entre o patamar do variograma e a variabilidade não explicada, denominada efeito pepita, pode indicar o grau de dependência espacial (TRANGMAR et al., 1985). Cambardella et al. (1994) classificaram o grau de dependência espacial pela relação entre efeito pepita (C_0) e variância total ($C_0 + C_1$); se a relação for menor ou igual a 25%, a variável é considerada com forte dependência espacial; se estiver entre 25 e 75%, a variável é moderadamente dependente; e se a relação for maior que 75%, a variável é fracamente dependente.

Porém, o programa geoestatístico GS + (GS +, 2000) propõe a seguinte relação:

$$\% \text{ variância estrutural} = \frac{C}{(C + C_0)} \cdot 100 \quad (2)$$

Zimback (2001) adaptou os limites propostos por Cambardella et al. (1994), utilizando a proporção dada pelo programa geoestatístico (GS +, 2000), afirmando que a dependência espacial para valores $\leq 25\%$ é considerada fraca; entre 25% e 75%; moderada e $\geq 75\%$ dependência forte.

O gráfico do variograma experimental, $\hat{\gamma}(h)$, calculado pela equação (1), é formado por uma série de valores, sobre os quais se objetiva ajustar uma função. É importante que o modelo ajustado represente a tendência de $\hat{\gamma}(h)$ em relação à h . Deste modo, as estimativas obtidas a partir da krigagem serão mais exatas e, portanto mais confiáveis. O procedimento de ajuste de um modelo teórico ao variograma é um dos aspectos mais importantes das aplicações da Teoria das Variáveis Regionalizadas, e não é direto e automático, mas sim interativo, pois nesse processo o intérprete faz um primeiro ajuste e verifica a adequação do modelo teórico. Dependendo do ajuste obtido, pode ou não redefinir o modelo, até obter um que seja considerado satisfatório (VIEIRA, 2000).

Um gráfico típico da variância $\hat{\gamma}(h)$ em função da distância h , cresce com o aumento da distância entre as amostras e, então, varia em torno de um valor constante de variância denominado patamar, o qual é representado pela soma dos parâmetros C_0 e C_1 (CLARK, 1979). À distância na qual o variograma alcança o patamar é denominado de amplitude da influência da amostra, representado pelo alcance, e depende do tamanho da área amostrada e da escala de observação, sendo tanto maior quanto maior for o intervalo entre as medidas (TRANGMAR et al., 1985). O patamar do variograma é aproximadamente igual à variância dos dados. Teoricamente, o variograma deve passar pela origem, porque amostragens realizadas exatamente no mesmo local têm os mesmos valores. Entretanto, freqüentemente existe uma variância diferente de zero quando a distância tende a zero. Esta variância diferente de zero é denominada de efeito pepita (C_0) (CLARK, 1979). O efeito pepita representa a variabilidade da propriedade em estudo em espaçamentos menores do que o amostrado. Se não existe associação espacial entre as amostras, maior é o efeito pepita, ou seja, a associação é inteiramente ao acaso, e é denominado de efeito pepita puro.

O variograma representa um padrão do que se poderia considerar com características próximas do ideal, e intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças $[Z(xi) - Z(xi + h)]$ decresçam à medida que h , a distância que os separa decresce. É esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Desta maneira, é esperado que $\hat{\gamma}(h)$ aumente com a distância h (VIEIRA, 2000).

Medidas de continuidade espacial quantificam as relações entre o valor de uma variável em um local e o valor da mesma variável ou de uma outra em outro local. A idéia básica da continuidade espacial é simples e auto-explicativa: na média, quanto mais próximos dois pontos amostrais estão um do outro, mais parecidos eles são e seus valores são similares (WEBSTER; OLIVER, 1990).

Segundo Vieira et al. (1983) a obtenção dos variogramas constitui-se o primeiro passo na análise geoestatística. Em um extremo, pode não existir associação espacial entre medidas em dois pontos quaisquer, implicando em independência dos dados. No outro extremo, as medidas podem mostrar um alto grau de continuidade entre dois pontos, sendo a medida em um ponto qualquer altamente previsível a partir de pontos vizinhos. A grande maioria dos fenômenos práticos situa-se entre estes extremos, mostrando alguma variabilidade puramente aleatória, no primeiro caso, ou alguma continuidade espacial no segundo caso (CLARK, 1979).

Os modelos de variogramas teóricos básicos, denominados de modelos isotrópicos por Isaaks e Srivastava (1989) estão divididos em dois tipos: modelos com patamar e modelos sem patamar. Modelos do primeiro tipo são referenciados na geoestatística como modelos transitivos, e modelos do segundo tipo não atingem o patamar, e continuam aumentando enquanto a distância aumenta, e são utilizados para modelar fenômenos que possuem capacidade infinita de dispersão. Modelos sem patamar são: linear e potência, estes modelos normalmente são desconsiderados da análise espacial por não apresentar estrutura definida, ou seja, não tem variância finita e a covariância não pode ser definida.

Os modelos transitivos mais utilizados são: modelo esférico, modelo exponencial e modelo gaussiano. Dentre estes se destaca o modelo esférico que de acordo com vários pesquisadores (TRANGMAR et al., 1987; CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO et al., 1998) trata-se do mais adaptado para descrever o comportamento dos variogramas de atributos de plantas e de solos. As definições teóricas destes modelos foram demonstradas por Webster e Oliver (1990) e Vieira (2000).

Os modelos exponenciais e gaussianos atingem o patamar assintoticamente, com o alcance prático definido como a distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar. O modelo gaussiano é caracterizado pelo seu comportamento parabólico próximo à origem, e muitas vezes usado para modelar fenômenos extremamente contínuos

(ISAACS; SRIVASTAVA, 1989), ajustam-se a variabilidade dos atributos da paisagem que variam suavemente, como as formas de relevo e o nível de água do subsolo (BURROUGH, 1987a).

Os ajustes dos variogramas consistem num passo importante da análise espacial, e dependem tanto do programa computacional como também do operador. Vários autores descrevem a importância do ajuste do modelo teórico ao experimental tais como: Vieira et al. (1983), Manzione (2002) e Batista (2006). Vieira et al. (1983) mencionaram que o ajuste do modelo é uma aplicação da teoria das variáveis regionalizadas e pode ser uma das maiores fontes de ambigüidade nas suas aplicações, visto que todos os cálculos dependem do valor do variograma para distâncias especificadas.

Ribeiro Júnior (1995) relatou que o método de ajuste dos modelos de variogramas mais tradicional é o “à sentimento”, ou seja, dependia da experiência do calculista, mas atualmente com o desenvolvimento de programas geoestatísticos mais modernos, este ajuste ficou mais fácil e tem-se outras ferramentas para a verificação do ajuste do modelo, com o uso de parâmetros estatísticos.

Os modelos de variogramas pressupõem a existência de um valor inicial (efeito pepita), de um valor em torno do qual o variograma se estabiliza (patamar), exceto no caso do modelo linear sem patamar e de um valor de distância (h) para o qual ocorre a estabilização (alcance). Caso o modelo linear sem patamar se ajuste ao variograma, pode-se inferir que os dados não apresentam estacionariedade de segunda ordem, sendo válida a hipótese intrínseca, desde que o 1º critério seja atendido. De uma forma geral, a krigagem é robusta em relação ao modelo de variograma, ou seja, diferentes modelos ajustados terminarão por gerar krigagens semelhantes (RIBEIRO JÚNIOR, 1995).

Para saber a intensidade de amostragem do solo necessária na obtenção do variograma Webster e Oliver (1992) consideraram que quando o variograma é feito para situações típicas em solo e observações ambientais, parece que variogramas computados com menos do que 50 dados são de pequeno valor e que no mínimo 100 dados são necessários. Experimentos conduzidos pelos autores sugerem que para variável isotrópica normalmente distribuída, um variograma computado de uma amostra de 150 dados pode muitas vezes ser satisfatório, enquanto um derivado de 225 dados terá maior confiabilidade.

A técnica da confecção dos mapas de isolinhas, onde são geradas estimativas de dados de pontos não amostrados a partir de pontos amostrados, denomina-se interpolação de dados. A geoestatística oferece uma ampla e flexível variedade de ferramentas, que fornece estimativas para locais não amostrados, sendo que estas técnicas estimam valores pela média linear ponderada das amostras disponíveis, não diferentemente da regressão linear múltipla. É importante salientar que nem sempre os variogramas apresentam os valores $C_0 + C_1$, C_0 ou 'a'. Porém, o conhecimento desses valores nos variogramas são fundamentais para a confecção de mapas contínuos pela interpolação pelo método da krigagem, o que permite estimar valores da propriedade em questão em locais não amostrados.

4.4.2 Krigagem

Após o ajuste do variograma pela análise espacial, e sendo verificada a existência da dependência espacial, poderão estimar-se valores nos locais não amostrados utilizando o procedimento de interpolação conhecido como krigagem, em qualquer posição do campo em estudo, expressando-se os resultados em forma de mapas de isolinhas e mapas de superfícies.

Vieira et al. (1983) mostraram que para estimar valores Z^* em todas as localizações x_0 onde há valores não medidos, a estimativa de um ponto qualquer x_0 , pertencente ao espaço amostral, é dada pelo processo de krigagem Ordinária, que é a variação mais utilizada da krigagem simples, definido por:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

onde: $Z^*(x_0)$ é o valor estimado no ponto x_0 ; N é o número de valores medidos, $Z(x_i)$, envolvidos na estimativa; λ_i são os pesos associados a cada valor medido, $Z(x_i)$.

A krigagem é um modelo inferencial, e sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, formalizadas por Matheron (1971). O termo krigagem é derivado do nome de Daniel G. Krige, que foi o pioneiro em introduzir o

uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração (DELFINER; DELHOMME, 1975). A krigagem usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no variograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000).

No método da krigagem, os pesos são variáveis de acordo com a variabilidade espacial expressa no variograma. O que torna a krigagem um ótimo interpolador, então, é a maneira como os pesos são distribuídos, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA et al., 1983).

A diferença entre a krigagem e outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No caso de interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (N = número de amostras); na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no variograma experimental. Krigagem é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado (VIEIRA, 2000). Além disso, a krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência. Assim, a incorporação de procedimentos geoestatísticos em SIGs, baseados em técnicas de krigagem, é importante, porque essa associação melhora os procedimentos tradicionais de tais sistemas devido à qualidade do estimador e, principalmente, pela informação de exatidão fornecida nesse modelo inferencial (RIBEIRO JÚNIOR, 1995).

A construção do estimador $\hat{Z}_{(x_0)}$, na Krigagem Ordinária, não requer o conhecimento inicial da média estacionária da amostragem (Landim, 1998), mas requer que a soma dos pesos $\sum \lambda_i$ seja igual a 1 (UZUMAKI, 1994, citado por ZIMBACK, 2001).

Ainda, de acordo com Uzumaki (1994) citado por Zimback (2001), o sistema de Krigagem Ordinária tem solução única se o modelo de variograma for válido. A

krigagem, além de ser um estimador não tendencioso, é um interpolador exato, isto é, se o ponto a ser estimado coincidir com um dos pontos amostrados, o valor estimado deverá ser igual ao valor amostrado.

Miranda (2005) descreve um resumo dos passos que se deve seguir para realizar a krigagem: a) realizar uma análise estatística univariada da variável ambiental regionalizada, onde o coeficiente de assimetria deve ser próximo de 0, e a curtose próxima de 2; b) gerar o variograma experimental, para o qual é necessário ter bastante conhecimento da variável ambiental, da rede amostral e de paciência para testar os números de *lags*, bem como para as diferentes direções (0°, 45°, 90° e 135°); c) ajustar o variograma, ou seja, ajustar um modelo teórico ao variograma experimental, levando em consideração se é isotrópico ou anisotrópico; d) validar o modelo teórico, através do processo de validação que leva em consideração o estudo do comportamento dos erros; e) aplicar o interpolador de Krige (krigagem) – que é a geração dos valores interpolados, os quais podem ser apresentados na forma de grade (como no Modelo Numérico do Terreno - MNT), mapas ou imagens que possam ser manipulados pelo SIG. A análise dos resultados deve contar com dados complementares para que as conclusões sejam devidamente, e mais acertadamente tiradas, e destaca a importância essencial de se integrar as técnicas geoestatísticas com SIG.

A krigagem é uma das técnicas de interpolação de dados para confecção de mapas de isolinhas e que pode ser usada com variáveis discretas e contínuas e, por isso, é sensível para a estimação de variáveis binárias na presença ou ausência da característica estudada (ROSSI et al., 1994). Da mesma forma que os métodos tradicionais de interpolação de pontos, como a ponderação da distância inversa, a triangulação e a média das amostras locais, a krigagem fornece a estimativa para um local específico. Frequentemente os métodos tradicionais podem ser mais exatos, mas consomem muito mais tempo do que a krigagem (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Landim (1998) descreveu a krigagem como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada, a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço.

Com o uso da krigagem, pode-se conhecer a variância da estimativa, e esta é uma característica que diferencia este método dos demais. É importante, pois, além de permitir a estimativa de valores sem tendência para os locais onde estes não foram medidos,

ainda é possível conhecer a confiança associada a essas estimativas (VIEIRA, 2000). Este mesmo autor complementa dizendo que se esta é uma variância, pode-se compará-la com a variância dos dados medidos. Assim, quanto menor for o efeito pepita do variograma, menor será a variância da estimativa, ou seja, quanto maior for a diferença do efeito pepita em relação ao patamar do variograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter na estimativa.

As formas mais usuais de krigagem lineares são: simples, ordinária, universal e intrínseca. As krigagens não-lineares utilizam alguma transformação não-linear dos dados originais e são: lognormal, multigaussiana, indicativa, probabilística e disjuntiva (LANDIM, 1998). A krigagem simples é a mais comum das estimações usadas na ciência do solo, conforme o descrito por Burgess e Webster (1980) e Journel (1986).

4.4.3 Validação Cruzada

Para a interpolação, ajusta-se um modelo teórico de variograma aos dados do variograma experimental. Para descrever os variogramas e fornecer informações mais precisas para a krigagem, os variogramas podem ser avaliados pela técnica conhecida como “*cross-validation*” ou validação cruzada, que permite comparar o impacto dos diferentes modelos de variogramas sobre os resultados da interpolação retirando os dados atuais e reestimando-os por dados dos vizinhos que permaneceram (GOOVAERTS, 1997). É importante que se tenha um meio para checar se o modelo ajustado é satisfatório ou não (DAVID, 1988), bem como para validar o plano de krigagem antes do seu uso na construção de mapas.

Para verificar se a interpolação foi feita adequadamente pode ser usada a comparação dos métodos de interpolação baseando-se no critério do coeficiente de correlação entre os valores observados versus estimados obtidos pela validação cruzada, proposto por Leenaers et al. (1990).

Validação Cruzada consiste em se retirar do conjunto de dados alguns valores e estimá-los a partir das observações remanescentes. O erro será obtido pela diferença entre estimado e medido, com várias repetições, pode-se ter uma estimativa da variabilidade do erro de predição (CRESSIE, 1991).

De acordo com Myers (1997) a técnica de validação cruzada é bastante simples, pois se remove um dado do conjunto de dados amostrais e, usando-se um estimador e função ponderada relacionada com a distância, estima-se o valor retirado, utilizando-se as amostras remanescentes. Tem-se, portanto, dois valores para o mesmo ponto, o real e o estimado. O erro da estimação pode ser calculado pela diferença entre o valor real e o estimado, sendo repetido para cada local amostrado. Isaaks e Srivastava (1989) ressaltaram que a estimação do valor depende do modelo variográfico escolhido, ou seja, aquele que teve o melhor ajuste.

Vieira (2000) descreveu que o grau de incerteza sobre as hipóteses assumidas ou sobre os parâmetros ajustados nos modelos, sendo este grau de incerteza o erro da estimativa, o qual pode ser avaliado, usando o procedimento de autovalidação comumente chamado de “*jack-knifing*”. Ainda explica que este procedimento envolve a estimativa de cada ponto medido “fazendo de conta” que ele não existe, durante a sua estimativa.

Davis (1987) descreveu o método de “deixar um dado de fora” (“*leaving-one-out*”), ressaltando a diferença da “Validação Cruzada” com outro método, muito confundido em inúmeros trabalhos, que tem função distinta que é o “*Jackknife*”.

É muito importante destacar as diferenças entre os dois métodos: Validação Cruzada é um método de verificação dos dados estimados e “*Jackknife*” é um estimador introduzido por Quenouille, em 1956, para reduzir a tendência (DAVIS, 1987).

4.5 Atributos físico-hídricos e químicos do solo

O conhecimento da variabilidade das propriedades físicas dos solos envolvidos, principalmente as relacionadas com a distribuição granulométrica, que influencia diretamente o fluxo superficial e o movimento de água no solo, bem como dos parâmetros químicos relacionados à sua fertilidade, são fundamentais para melhorar o desempenho das atividades agrícolas e também para o planejamento ambiental.

Valeriano e Prado (2001) encontraram valores de argila variando entre 180 e 320g kg⁻¹, com média de 250g kg⁻¹, em LATOSSOLO VERMELHO de textura média, com malha regular de 92 pontos com espaçamento de 50m, o variograma isotrópico da variável teor de argila à 0-0,2m de profundidade ajustou-se ao modelo gaussiano.

Em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, solos menos homogêneos, de acordo com Albuquerque et al. (1996) e Salviano et al. (1998), com espaçamento regular entre pontos de 5 m, o teor de argila superficial apresentou alcance ao redor de 40 m, ajustando-se ao modelo esférico.

Souza et al. (1997) estudaram a variabilidade espacial em LATOSSOLO AMARELO distrófico na profundidade de 0–0,2m em uma transeção composta por uma única linha de 50 plantas espaçadas de 4m, em um pomar cítrico. Esses autores encontraram modelos dos variogramas ajustados ao esférico para as variáveis pH, Ca, Mg, silte e argila; exponencial para as variáveis CTC e areia; gaussiano para a variável SB, e para V% não apresentou estrutura definida. No trabalho realizado por Salviano et al. (1998) em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, com distância entre pontos de 5m, encontraram dependência espacial com ajuste ao modelo esférico nas profundidades de 0–0,2 e 0,2–0,4m para as variáveis K, Ca, Mg, pH, CTC, V%, MO, silte e argila, e para a variável areia na profundidade de 0,2–0,4m; que na camada de 0–0,2m ajustou-se ao modelo gaussiano; a variável P na profundidade de 0–0,2m ajustou-se ao modelo esférico, que na profundidade de 0,2–0,4m não apresentou dependência espacial. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (1999) na profundidade de 0–0,3m para as variáveis K, Ca, CTC, exceção feita para o pH e Mg, que se ajustaram melhor ao modelo gaussiano e linear, respectivamente.

Soares et al. (2005) estudaram o comportamento físico de LATOSSOLO VERMELHO disposto ao longo de uma seqüência topográfica, cultivado com citros em sistema tradicional de manejo e verificaram que houve variação da classe textural nos perfis dos solos, principalmente nos valores de argila do horizonte A para o B, nos solos das posições mais baixas, e que os solos das partes mais elevadas apresentaram textura mais arenosa, e ao longo da vertente o teor de argila foi crescente para a baixada, passando de franco-arenosa (130g kg^{-1} de argila) na camada superior a franco-argilo-arenosa nos demais horizontes do perfil (210 a 320g kg^{-1} de argila). A porosidade total variou de $0,47$ a $0,53\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ sendo os valores mais elevados encontrados nas camadas mais profundas e nas posições mais baixas da encosta. Nestas camadas, os valores médios de microporosidade aumentaram, devido ser mais argiloso nestes locais, os valores variaram de $0,21$ a $0,34\text{m}^3\text{ m}^{-3}$. O contrário ocorreu com a macroporosidade que diminuiu das partes mais elevadas para as mais baixas, com valores mais elevados ($0,26\text{m}^3\text{ m}^{-3}$) no terço superior, e $0,17\text{m}^3\text{ m}^{-3}$, no terço inferior. A

densidade do solo também foi maior em profundidade e nas posições de maior cota, atingindo valores de $1,47\text{kg dm}^{-3}$. Os autores concluíram que devido à grande variabilidade dos atributos pedológicos a curtas distâncias, seria necessário ser considerado tanto o gradiente vertical como o lateral, ou seja, a variação espacial dos atributos.

Grego e Vieira (2005), estudando a variabilidade espacial e as propriedades físicas do solo (LATOSSOLO VERMELHO) em uma parcela experimental de 900 m^2 com amostragem $5\times 5\text{m}$ sob preparo convencional, verificaram dependência espacial moderada para a maioria das variáveis estudadas e alcance variando de 8 a 20m, sendo que para a densidade do solo, os alcances foram de 11 e 10m para densidade a 15 e 25cm de profundidade, respectivamente.

A densidade do solo interfere no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, na infiltração e no armazenamento de água do solo. Pode ser definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra indeformada, seca a $110\text{ }^\circ\text{C}$, e a soma do volume ocupado pelas partículas e pelos poros. A porosidade depende principalmente da textura e da estrutura do solo (KIEHL, 1979). O arranjo ou a geometria das partículas determinam a quantidade e a natureza dos poros existentes. A densidade do solo e o volume total de poros são variáveis dependentes e inversamente proporcionais (PEDROTTI et al., 2003). Segundo Secco et al. (2004) existe uma relação direta entre a densidade do solo e a microporosidade e uma inversa com o volume de macroporos.

O volume de poros e suas características intrínsecas como superfície específica, imperfeição, tortuosidade e conectividade são provavelmente os fatores mais importantes que controlam o movimento de água e solutos no solo (LEBRON et al., 2002).

Em solos compactados, ocorre decréscimo da macroporosidade, da disponibilidade de água e nutrientes e da difusão de gases no solo, cujas relações com o desenvolvimento das raízes são fundamentais (TAYLOR; BRAR, 1991). Em condições de solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado. Ainda conforme esses autores, a quantidade de oxigênio existente na rizosfera em condições de compactação pode ser limitante nos processos metabólicos (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000). Segundo Hakansson et al. (1998) em solos

compactados o menor desenvolvimento do sistema radicular resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente em menor absorção de água e nutrientes.

Muitos trabalhos avaliando o estado de compactação sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas são realizados em condições controladas, onde tem-se um maior controle dos fatores que interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas. Porém, em ambiente controlado não são reproduzidas as condições de campo, principalmente em relação à variabilidade do parâmetro avaliado. Os dados obtidos em ambos os casos são importantes para uma melhor compreensão da influência compactação do solo sobre as plantas. Tanto em casa de vegetação (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000; GUIMARÃES et al., 2002) como no campo (MERTEN; MIELNICZUK, 1991; SILVA et al., 2000), observa-se que as raízes encontram dificuldades em penetrar as camadas compactadas, promovendo maior concentração destas na camada menos compactada, localizada tanto na parte superior ou inferior do perfil.

A matéria orgânica é um importante condicionador de solo. Sistemas de manejo com menor perturbação do solo pelas operações de preparo e maior aporte de resíduos geralmente apresentam menores valores de densidade do que aqueles com movimentação intensa do solo e baixa incorporação de resíduos orgânicos. Carvalho et al. (2004), em experimento objetivando avaliar a qualidade estrutural de um LATOSSOLO VERMELHO argiloso sob sistema agroflorestal, observaram que o solo neste sistema apresentou densidade entre 0,84 e 0,97g cm⁻³, enquanto a área sob plantio convencional, valores entre 1,15 e 1,21g cm⁻³.

Observa-se, através de trabalhos, tanto em condições de campo como em ambiente controlado, que não existe um consenso sobre o nível crítico de densidade, e que este varia de acordo com o tipo de solo. Para um LATOSSOLO ROXO, Maria et al. (1999) indicaram como nível crítico 1,2g cm⁻³, afirmando que a partir desta densidade ocorre restrição ao desenvolvimento radicular quando o solo se encontra em capacidade de campo, caracterizando compactação do solo. Segundo Goedert et al. (2002), valores entre 0,7 e 1,0g cm⁻³ podem ser considerados normais em LATOSSOLO VERMELHO, propuseram que 0,9g cm⁻³ seja o máximo permitido quando se deseja sustentabilidade no uso de Latossolos. Tais relatos evidenciam que o nível crítico para densidade varia de acordo com o solo e que não existe consenso sobre um valor específico.

A macroporosidade do solo geralmente é mais afetada pelo manejo que a microporosidade. Streck et al. (2004) avaliando o efeito de níveis de tráfego de máquinas nas alterações das propriedades físicas de um solo franco-arenoso, observaram aumentos na macroporosidade e porosidade total com os diferentes níveis de tráfego aplicados, sem aumento na microporosidade. Araújo et al. (2004), comparando solo cultivado com área sob mata nativa, verificaram diminuição da macroporosidade e porosidade total, também sem aumentos na microporosidade.

Cruz et al. (2003) observaram maior macroporosidade e porosidade total em sistema de cultivo convencional do que em mata nativa e sistema de plantio direto, até a profundidade de 0,10m.

Corsini e Ferraudo (1999) avaliaram o efeito imediato e residual de dois sistemas de preparo do solo, e concluíram que: a subsolagem com aração e gradagem aumenta a porosidade da camada superficial do solo, bem como o potencial de desenvolvimento radicular; que nos três primeiros anos agrícolas, o plantio direto diminui a porosidade e o potencial de desenvolvimento do sistema radicular na camada superficial; e que somente a partir do quinto ano de adoção do sistema esses parâmetros começam a crescer. Geralmente em sistemas com revolvimento do solo observam-se valores mais elevados de macroporosidade logo após o preparo, que tendem a diminuir com passar do tempo, e que pode ser a principal justificativa para as divergências de resultados entre os trabalhos comparando os sistemas de preparo do solo e mata nativa.

Cunha et al. (2001), avaliando o impacto do cultivo convencional sobre as propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO originalmente sob cerrado, concluíram que o sistema, já nos três primeiros anos de uso agrícola do solo, ocasionou grande deterioração nas propriedades físicas do solo, como densidade e porosidade.

Além da variabilidade natural do solo, as práticas agrícolas de manejo são fontes adicionais de variabilidade (SOUZA et al., 1997). O manejo do solo pode afetar propriedades químicas, físicas, mineralógicas e biológicas, com impacto principalmente nas camadas superficiais (BECKETT; WEBSTER, 1971).

A geoestatística também tem sido usada para análise de diversos atributos de solo, que podem ser utilizados para a construção de diversos mapas, particularmente importantes para o seu manejo, ou ainda para o estudo de áreas onde, às vezes,

se requer um manejo particular, considerando a aplicação mais econômica de insumos, conservação do solo e, principalmente o aumento da produção com diminuição dos impactos ambientais.

Assim, alguns autores preocupados em implementar os aspectos de manejo das culturas e conservação do solo, avaliaram a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos de solo em diferentes áreas, tais como: produção comercial de cana-de-açúcar com *Crotalaria juncea* - *Crotalaria juncea* L. sob condições de erosão severa (SALVIANO et al., 1998); diferentes superfícies geomórficas com a produção de café (SANCHEZ, 1999); cultivo sob videira - *Vitis vinifera* L. (TAKEDA, 2000). Especificamente para atributos físicos de solo, Silva e Chaves (2001) em uma área de Perímetro Irrigado; Eguchi et al. (2002) em um solo hidromórfico; Souza et al. (2004) em uma área de uso intensivo com cana-de-açúcar; Kitamura e Carvalho (2005) avaliaram a variabilidade espacial de atributos dos solos em uma área de feijão sob plantio direto; Motomiya et al. (2006) fizeram uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo numa área de produção de cana-de-açúcar.

Em relação à conservação do solo Mello et al. (2006b) estudaram a variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e do risco de erosão em LATOSSOLO VERMELHO e em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, e concluíram que todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial. No local com ARGISSOLO houve maiores áreas com altos valores de potencial natural, perdas de solos e altos riscos de erosão, devido ao relevo ondulado, e ao uso e manejo do solo; em contrapartida o LATOSSOLO apresentou potencial natural, perdas de solos e riscos de erosão menos expressivos, em virtude do relevo mais suave, e da utilização de práticas de manejo e usos atuais mais adequados.

Batista (2002) ao estudar a variabilidade da umidade do solo em irrigação por gotejamento em condições de ambiente protegido detectou que o atributo apresentou distribuição espacial anisotrópica; com dependência espacial de aproximadamente 3,30 m no sentido do comprimento da estufa. Nas condições em que foi desenvolvido o trabalho, pode-se constatar que a krigagem foi um ótimo interpolador para o mapeamento da umidade do solo.

Chien et al. (1997) obtiveram valores de CV elevados para Ca e Mg e extremamente alto para P (199%), sendo esta alta variabilidade atribuída aos efeitos de adubação do solo. Em contrapartida Wilding e Drees (1983) observaram, na profundidade de 0–0,2m, que as variáveis CTC, MO, pH e argila apresentaram baixa variabilidade (CV < 15%). No entanto é freqüente encontrar na literatura estudos nos quais a MO apresenta CV moderado (15% < CV < 35%) (CAMBARDELLA et al., 1994; SOUZA et al., 1997; SALVIANO et al., 1998).

Macedo et al. (1998) e Salviano et al. (1998) estudaram variabilidade em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e observaram que a variável P apresentou CV alto (CV > 35%) tanto na camada superficial quanto na subsuperficial, atribuindo este comportamento à aplicação de fertilizantes em linhas, ao efeito residual da adubação e à exposição de camadas mais pobres deste nutriente decorrentes de erosão. Estes autores atribuem que os CVs referentes à variável textura situam-se normalmente entre 10 e 30%, e que a maioria das variáveis (MO, K, Ca, Mg, CTC, V%, silte e argila) apresentam CV moderado.

Entretanto Wollenhaupt et al. (1997) ressaltaram que mesmo quando os valores do CV sejam moderados, este não é necessariamente um bom indicador da variabilidade espacial das propriedades do solo, haja vista a ocorrência de locais no campo com valores extremamente altos ou baixos, o que justificaria a necessidade de um estudo geoestatístico.

Guimarães et al. (1992), estudaram a variabilidade espacial do pH em água e argila dispersa em água num LATOSSOLO VERMELHO ESCURO, observaram, num grid de 20m, que ocorreu anisotropia para o pH em água, dependência espacial mais acentuada na direção leste-oeste, melhor ajuste ao modelo esférico, e que a argila dispersa em água não apresentou estrutura de variância.

Berg e Klamt (1997a) afirmaram que a principal diferença entre o comportamento espacial dos atributos do solo é a variância relativa no nível de amostragem mais baixo, que é chamado de variância pepita, e que a influência de material arenoso em solos desenvolvidos de basalto, principalmente quando se analisa pontos mais distantes, há incremento na variabilidade. Estes mesmos autores indicaram que as amostragens numa grade

regular com distância entre pontos vizinhos maiores que 600m e inferiores a 3000m eram indicados para estudar a distribuição espacial de argila e pH.

Berg e Klamt (1997b) estudaram a variabilidade espacial de características de LATOSSOLOS na região do Planalto Médio (RS) com adição de sedimentos arenosos, com distância entre pontos amostrados entre 250-300m, obtiveram resultados com variabilidade relativamente grande a curta distância para as variáveis facilmente modificadas pelo manejo (P, pH e V%) da camada superficial, enquanto outras variáveis como teor de argila e CTC se mostraram homogêneas nas glebas estudadas em comparação com a variabilidade total na região.

Mello et al. (2006a) estudaram a variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em duas áreas, com dois tipos de solos distintos (LATOSSOLO VERMELHO e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO), com amostragens irregulares, onde foram feitas análises de rotina de fertilidade e a granulometria. A partir da análise geoestatística realizada, os autores obtiveram os seguintes resultados: as propriedades do solo estudadas apresentaram dependência espacial, com exceção da CTC na profundidade de 0,6-0,8 m, para o LATOSSOLO VERMELHO; e Ca e argila na profundidade de 0-0,2 m, e P, MO, K, Mg, areia e argila na camada de 0,6-0,8m no ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, sendo que este solo apresenta menor continuidade espacial, principalmente na camada de 0,6-0,8m. O LATOSSOLO VERMELHO apresentou zonas mais homogêneas de fertilidade na profundidade de 0-0,2m, sendo o manejo deste solo facilitado. Os modelos ajustados para o LATOSSOLO VERMELHO foram esféricos para as variáveis MO, Ca, CTC, areia e argila, exponenciais para P, pH, K, Mg, V% e silte na profundidade de 0-0,2m e para P, MO, K, Mg e silte na profundidade de 0,6-0,8m e esféricos para pH, Ca, V%, areia e argila na profundidade de 0,6-0,8m. Para o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO os modelos foram esféricos para as variáveis P, MO, K, areia e CTC na camada de 0,6-0,8m, exponenciais para pH, Mg, CTC, V%, silte e para pH, Ca, V% e silte para a camada de 0,6-0,8m; efeito pepita puro (EPP) para Ca e argila na camada de 0-0,2m e para as demais variáveis estudadas na camada de 0,6-0,8m.

Com o objetivo de identificar a variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação, numa área de pivô central, Gonçalves (1997) concluiu que a amostragem com áreas de adensamento, ou seja, em curta escala (2,83m)

permitiu a identificação da dependência espacial de propriedades do solo. Esta informação, associada aos dados obtidos em larga escala (20m), tornou possível a interpolação em toda a área estudada. Ainda concluiu que para a aplicação das ferramentas da geoestatística em grandes áreas irrigadas, é importante o uso de amostragem com espaçamento variável, a densidade de partículas e porosidade total não mostraram dependência espacial.

Couto e Klamt (1999) estudaram a variabilidade espacial de micronutrientes do solo no sul do estado de Mato Grosso, numa área com Pivô Central de 170 ha, cultivado há mais de 14 anos com culturas de milho, soja, trigo, feijão e arroz; com os seguintes solos: LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO álico, textura argilosa, relevo plano e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO álico, textura média, relevo ondulado. Foram retiradas 132 amostras, com espaçamento regular, especialmente idealizado para captar a variabilidade espacial em até 1m, nas profundidades de 0-20 e 20-40cm, em 4 quadrantes do Pivô Central. Analizaram os teores de Mn, Cu, Zn e B. E concluíram que o B nas duas profundidades e o Cu na profundidade de 0-20cm não apresentaram dependência espacial; apenas o Mn apresentou estrutura espacial bem definida; a deficiência localizada dos micronutrientes deveu-se à quantidade insuficiente de adubos aplicada, com valores abaixo do níveis críticos, com exceção do Zn; os altos valores de CV para todos os micronutrientes indicaram que as práticas de fertilização e as operações de preparo não são eficientes para homogeneização do solo; e a interpolação por krigagem permitiu estimar os efeitos espaciais das práticas de manejo naquelas propriedades que apresentam estrutura espacial bem definida.

Agricultores, pesquisadores e técnicos ligados à agricultura reconhecem que as produções das culturas não são uniformes no campo. Alguns locais apresentam baixas ou altas produtividades em comparação com a média da área. Isso é verdadeiro para culturas de sequeiro, mas também se aplica a culturas irrigadas. Essas variações reduzem a eficiência das práticas uniformes de manejo e o potencial produtivo da área.

Neste sentido Coelho (2003) apresentou um estudo realizado numa área de 50ha irrigada por pivô central no estado de Nebraska EUA, cultivada com milho e soja em cultivo mínimo, em MOLISSOLOS. Fizeram-se os mapas de colheita e verificou-se uma grande variação na produção de grãos e baseado nestas informações, posteriormente realizou a análise geoestatística, gerando um mapa de produtividade média dos grãos dos anos de 1997 e

1998, que foi sobreposto ao mapa topográfico. A análise geoestatística revelou uma dependência espacial da variabilidade da produção de grãos no campo, com ajuste ao modelo esférico e alcance de 120m. Com isso, foram definidas duas áreas de zonas homogêneas para o manejo localizado. Neste mesmo trabalho também foi realizada uma amostragem para análise da fertilidade com a posterior realização das análises geoestatísticas, sendo que o autor verificou a existência de dependência espacial para pH, N, P, Na, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, Fe, CTC, MO, areia, silte, argila, densidade global e água disponível com alcances variando de 41 a 199m (média $122 \text{ m} \pm 34 \text{ m}$) e ajustes de modelos esféricos, exponenciais e lineares.

4.6 Agricultura de precisão

A agricultura de precisão ainda é uma área de estudo muito recente, em função disso as pesquisas para sua aplicação iniciaram principalmente com o mapeamento da produtividade das culturas para avaliar como ocorre a variabilidade desta, e com isso buscar identificar quais os possíveis fatores limitantes que interferem dentro do sistema produtivo com objetivo de saná-los para tornar o processo mais eficiente.

Santos et al. (2001) realizaram o monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação com pivô central em sistema de plantio direto, e compararam o mapa da produtividade com parâmetros de fertilidade por meio de correlação e concluíram que a baixa correlação entre produtividade e parâmetros químicos do solo evidencia a necessidade de se buscar, através de outros atributos do meio, o suporte para o delineamento de zonas de atuação.

Mapas contendo o estado de fertilidade em uma determinada área são usados em agricultura de precisão fundamentalmente, para determinação dos mapas finais de aplicação de fertilizantes à taxas variáveis. King et al. (1998) apresentaram mapas de aplicação de nitrogênio, enquanto Yang et al. (1998) interpolaram mapas de aplicação de nitrogênio e fósforo para aplicação a taxa variável. Reetz Jr. (2000) obteve mapas de necessidade de fósforo para aplicação a taxa variável enquanto Goense (1997) discutiu a variância entre a taxa de fertilizante aplicado e a requerida pelo solo através de ferramentas geoestatísticas. Manzione (2002) utilizou as técnicas de geoestatística para estudo da variabilidade espacial de atributos químicos do solo e obteve mapas de vários parâmetros de fertilidade, e

posteriormente através de interpolações confeccionou os mapas da necessidade de calcário, de P e de K para a cultura da soja. Pereira (2004) realizou estudos sobre a viabilidade técnica e econômica, analisando os custos de produção da soja com a utilização da aplicação de fertilizantes em taxa variável, para isso obteve os mapas de aplicação de calcário, de fósforo e o mapa de produtividade, e concluiu que a Agricultura de precisão não interferiu na produtividade da cultura da soja e resultou em uma redução no custo da fertilização.

A aplicação de modelos computacionais ao dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação por aspersão do tipo pivô central constitui-se em uma valiosa ferramenta, a qual permite ao projetista visualizar o resultado advindo, por exemplo, de uma troca de aspersores, antes da sua implantação no campo. Esses modelos têm contribuído para melhorar a eficiência dos sistemas de irrigação. Para isso Rodrigues et al. (2001) desenvolveram um programa computacional denominado Geopivo que é um modelo para simulação do desempenho de sistemas de irrigação tipo pivô central baseado no conceito de sistemas de informações geográficas, de fácil utilização e baixo custo para auxiliar na tomada de decisão de como variar a taxa de aplicação de água ao longo da área irrigada operando em terrenos com topografia irregular. Os autores relataram que o modelo pode ser utilizado no estudo da variabilidade espacial e temporal da pressão de operação, do diâmetro médio das gotas e das áreas com e sem risco de escoamento superficial.

Para se aplicar a irrigação de precisão com maior eficiência é necessário o desenvolvimento de sistemas capazes de monitorar a automação em equipamentos de irrigação, com este intuito Queiroz (2007) desenvolveu um sistema de automático para irrigação de precisão em pivô central, para isso construiu “softwares” e “hardwares” adaptados a esse objetivo, e em função dos resultados obtidos concluiu que a tecnologia desenvolvida tem grande potencial para aplicação prática.

O suporte à tomada de decisão, previsões para próximas safras e adoção de novas técnicas envolvem esse ciclo que se repetirá ano após ano, funcionando como um histórico digital da área, de grande valor agrônomico. Estudos preliminares sobre a adoção ou não do sistema de agricultura de precisão são indispensáveis, uma vez que envolvem altos investimentos, mas quando a resposta for positiva os ganhos são indiscutíveis. Estudos que sejam específicos sobre a variabilidade espacial em áreas irrigadas são muito escassos, além de praticamente não existirem estudos que correlacionem fatores físicos e químicos do solo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização da área estudada

O estudo foi realizado numa propriedade rural, situada no município de Colômbia (SP), ao lado da Rodovia Brigadeiro Faria Lima (SP 326), km 457, cujas coordenadas geográficas no centro da área do pivô central são: latitude 20°16'09"S (sul) e longitude 48°40'43"W (oeste), com 65ha, raio de 455m, carta SF-22-X-B-II-4-NO (MIRANDA; COUTINHO, 2004), como mostra a Figura 1.

De acordo com o Mapa Geológico do estado de São Paulo (IPT, 1981), a área localiza-se em uma região de transição entre as rochas eruptivas do Grupo São Bento da Formação Serra Geral que compreendem um conjunto de derrames de basaltos entre os quais se intercalam arenitos com as mesmas características dos pertencentes à Formação Botucatu e dos arenitos do Grupo Bauru da Formação Adamantina. A uma distância de 10km do local estudado localiza-se o Rio Grande, que apresenta afloramento de basalto.

Os basaltos da Formação Serra Geral apresentam composição mineralógica muito simples, essencialmente constituídos de labradorita zonada associada a clinopiroxinênio (augita e às vezes também pigeonita). A Formação Adamantina normalmente apresenta sedimentos mais finos e bem selecionados, freqüentemente com mica, e mais raramente feldspato, sílica amorfa e opacos, e com maior variedade de estruturas sedimentares. O arenito Botucatu é, em geral, bastante friável, com grânulos de quartzo mal cimentados com

pouca argila. Quando em contato com as lavas básicas este arenito sofre metamorfização e mostra-se bastante consolidado (MENDES et al., 1960).

O local pertence ao Planalto Ocidental na sub-região Médio Planalto e com altitude média de 484m, com relevo local suave ondulado com declividade de 4,2%.

O clima da região é do tipo Aw, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo a classificação de Köppen; o índice pluviométrico pode variar entre 1.100 e 1.300mm e a estação seca nesta região ocorre entre os meses de maio a setembro, sendo julho o mês que atinge maior intensidade de seca. A precipitação média anual local do período de 1987 a 2004 foi de 1.446,2mm e em 2004 foi de 1.399,8mm.

A vegetação original é do tipo Cerradão, tipo de vegetação que ocorre normalmente, em zonas de transição entre a floresta tropical e o cerrado.

O tipo de solo predominante na área de estudo é o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura média (franco-argilo-arenosa), segundo os critérios propostos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).



Figura 2. Localização da área de estudo.

Fonte: Miranda e Coutinho (2004)

Desde a década de 70 houve a abertura da área estudada com a retirada do cerrado nativo, e cultivo com culturas anuais, tais como trigo, tomate, amendoim, feijão, batata, arroz, aveia, sorgo, milho e soja. O sistema de plantio direto foi estabelecido há mais de 15 anos, sendo que atualmente há produção mais intensa de milho e soja. A irrigação realizada não apresentava nenhum controle da quantidade de água aplicada, sendo feita somente de maneira visual, sem uso de qualquer equipamento para medida e consumo da água.

5.2 Equipamentos

Os equipamentos e materiais utilizados foram:

- ✓ Sacos plásticos para coleta de solo (amostras deformadas);
- ✓ Trado tipo “Holandês”;
- ✓ Amostrador tipo “Castelo” para coleta de amostras com anéis (amostras indeformadas);
- ✓ Faca, canivete, elástico, papel alumínio, canetas, anéis de inox de 2,5 cm de altura por 5 cm de diâmetro; martelo, caixas para transporte, estacas de madeira, trena;
- ✓ sistema de posicionamento GPS, modelo Garmim Etrex Vista;
- ✓ computador notebook Acer System Pentium 4, Windows XP, 2,66 GHz, HD 40 GB, 512 MB RAM;
- ✓ programa de Geoestatística GS⁺ - para confecção dos semivariogramas e mapas de isolinhas (GS+, 2000).

5.3 Amostragem de solo

Foram coletadas amostras de solos georreferenciadas com GPS marca Garmim (modelo Etrex Vista), em 12 de novembro de 2004. O critério utilizado para estabelecer a amostragem foi com intuito de que esta fosse adequada para identificar as possíveis ocorrências de dependência espacial. Para isso foi utilizada a amostragem, em 4 linhas, iniciadas na base do pivô central, acompanhando o raio, sendo linha 1 no sentido do aclave, linha 2 no sentido do declive (tendo como orientação o rio), linha 3 no sentido horizontal e linha 4 na diagonal, como demonstrado na Figura 3.

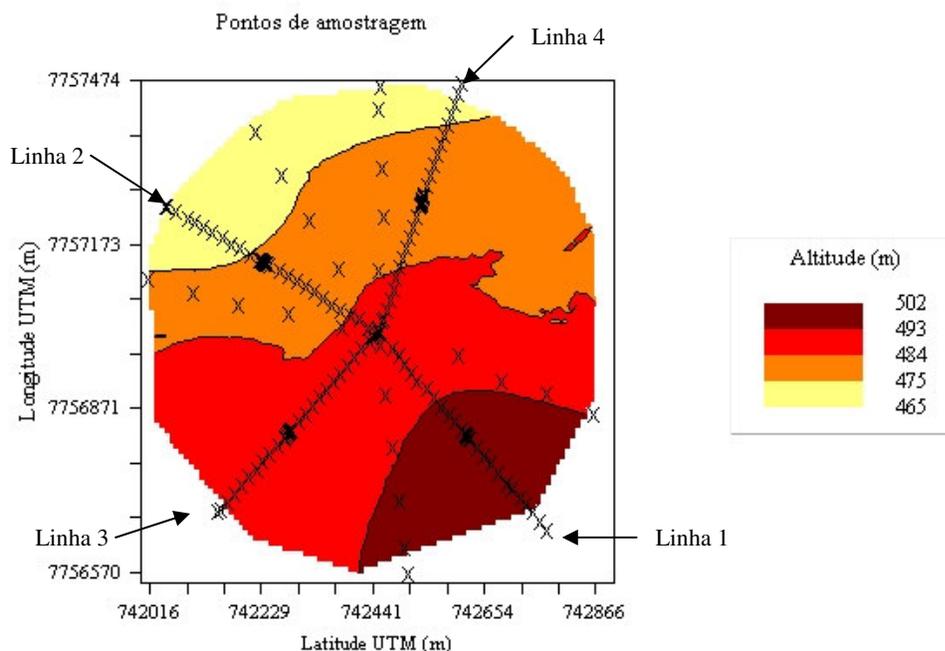


Figura 3. Pontos de amostragem em função da altitude de cada ponto.

Coletaram-se amostras deformadas, com auxílio de trado holandês, em duas profundidades (0-0,2 e 0,2-0,4m), em pontos equidistantes de 20m, para realização das análises químicas, granulométricas e densidade de partículas. Estas após a coleta foram secas ao ar e posteriormente passadas em peneiras com malha de 2mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA).

Para a determinação das propriedades físicas as amostras indeformadas foram coletadas em anéis de aço inoxidável com 2,5cm de altura e 4,8cm de diâmetro interno, introduzidos verticalmente em duas camadas: 0-0,05 e 0,20-0,25m, em pontos distanciados de 40m. Os anéis, devidamente identificados, após o nivelamento do solo, nas duas extremidades, foram envolvidos com papel alumínio e armazenados sob refrigeração até seu processamento.

Também foram feitos pontos de amostragens adensados no centro de cada linha, ou seja, a partir do décimo terceiro ponto de amostragem, foram coletados 11 pontos com amostras tanto deformadas, quanto indeformadas distanciados de 2m, após estas amostras retornou-se ao espaçamento anteriormente utilizado. Assim foram coletados 34

pontos de amostras indeformadas nas linhas 1, 2 e 4; e 33 pontos na linha 3, sendo que nas linhas 1 e 4 os dois últimos pontos foram fora da área do pivô, e nas linhas 2 e 3 somente o último ponto foi fora da área, devido aos limites de posição do rio e ao limite da propriedade, respectivamente, totalizando assim 135 pontos de amostragem, com 270 amostras.

As amostras indeformadas foram feitas em 23 pontos nas linhas 1, 2 e 4, e 22 pontos na linha 3, totalizando 91 pontos de amostragem, com 182 amostras. Em todos os pontos destas amostras foi coletada uma amostra (em saquinho plástico) na profundidade de 0-0,05m para determinação da umidade atual (gravimétrica) do solo no momento da amostragem.

Posteriormente, foi feita uma nova amostragem buscando obter um melhor ajuste dos dados, que foi realizada em 20 de maio de 2006, sendo feitas cinco linhas intercaladas com as anteriormente realizadas, coletando amostras deformadas nas duas profundidades anteriores, em cinco ou seis pontos distribuídos no sentido do raio, ou seja, 27 pontos, com 54 amostras, totalizando 324 amostras, e foram feitas as mesmas análises químicas e granulométricas anteriormente realizadas.

5.4 Análises Químicas do Solo

As análises químicas para a avaliação da fertilidade do solo foram realizadas conforme metodologias descritas em Raij et al. (2001), para obter os teores dos macro e micronutrientes. Foram analisados o pH em CaCl_2 , a acidez total ($\text{H} + \text{Al}$, em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) pelo método do acetato de cálcio, carbono orgânico (C, em g dm^{-3}) pelo método Walkley & Black e a matéria orgânica (M.O., em g dm^{-3}) = $\text{C} \times 1,724$. O fósforo (P_{resina} , em mg dm^{-3}), cálcio, magnésio e potássio (Ca, Mg e K, em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) foram extraídos com resina trocadora de íons, sendo o P determinado por fotolorimetria, Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e o K por fotometria de emissão atômica. O alumínio (Al, em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) foi extraído com KCl e determinado por titulometria, analisou-se também o teor de S. A soma de bases (SB) corresponde à soma dos teores de $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$ e a $\text{CTC} = \text{SB} + \text{H} + \text{Al}$. O V% corresponde à saturação por bases, ou seja, $(\text{SB}/\text{CTC}) \times 100$. O boro (B) foi extraído em água quente, enquanto o cobre, ferro, manganês e zinco (Cu, Fe, Mn,

Zn) foram extraídos com DTPA, e determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e os resultados expressos em mg dm^{-3} .

5.5 Análise Granulométrica, densidade de partículas e umidade atual do solo

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, com dispersão em água com NaOH, agitação lenta (16 horas) e sedimentação, a areia foi fracionada por tamisação e o silte calculado por diferença, de acordo com os métodos descritos em EMBRAPA (1997).

A densidade de partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico, usando-se 4g de TFSA, em balão volumétrico de 10 ml, com 4 ml de álcool etílico, e dando pequenas batidas para retirar bolhas de ar e deixando-se estabilizar por 24 horas, posteriormente completou-se o volume (v) anotando seu valor para o cálculo ($D_p = 4/(10-4-v)$) expressa em kg dm^{-3} . Esta determinação foi realizada em 42 amostras deformadas escolhidas no início, meio e final de cada linha de amostragem para caracterização desta propriedade na área.

A umidade atual foi determinada pelo método gravimétrico descrito em EMBRAPA (1997).

5.6 Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo

Nos anéis, determinou-se a densidade do solo, a porosidade total, a macro e microporosidade, pelo método da mesa de tensão, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

A densidade do solo, expressa em kg dm^{-3} , foi obtida dividindo-se o peso do solo da amostra seca a 105°C pelo volume do anel.

A porosidade total, expressa em $\text{dm}^3 \text{ } 100 \text{ dm}^{-3}$, foi calculada dividindo-se o volume de água, obtido por diferença de massa entre a amostra saturada e a amostra seca a 105°C , pelo volume do anel.

A microporosidade, expressa em $\text{dm}^3 \text{ } 100 \text{ dm}^{-3}$, foi calculada dividindo-se o volume de água, obtido por diferença de massa entre a amostra saturada,

submetida a uma tensão de 60cm de coluna d'água durante 24 horas, e a amostra seca a 105°C, pelo volume do anel.

A macroporosidade, expressa em $\text{dm}^3 / 100 \text{ dm}^{-3}$, foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

5.7 Análise espacial dos dados

As análises estatísticas descritivas, ou seja, análise exploratória dos dados foi obtida com o auxílio do Programa Geoestatístico GS+ “Geostatistical for Environmental Sciences”, Versão 5.0.3 Beta (GS+, 2000).

A análise da dependência espacial foi realizada através do ajuste dos dados ao semivariograma experimental, pela equação de Clark (1979). Para esta estimativa utilizou-se o programa GS+ (GS+, 2000) que utilizou os valores das variáveis associados as suas respectivas coordenadas de campo. Tipicamente, todos os pares de amostras possíveis foram examinados e agrupados dentro de classes de distâncias e direções aproximadamente iguais. Posteriormente, definidos os modelos teóricos de variogramas (esférico, exponencial, gaussiano, linear e linear com patamar) foram superpostos à seqüência de pontos obtidos no variograma experimental, de modo que a curva que melhor se ajustou aos pontos do variograma até onde esta se estabilizasse. Na análise estrutural do variograma foram fornecidos o efeito pepita (C_0), o patamar ($C + C_0$), o alcance (a) e estrutura ou proporção espacial ($C/C+C_0$). A análise da variabilidade espacial foi estudada pela detecção do índice de dependência espacial, proposto por Zimback (2001), como: índice $\leq 25\%$ – fraca dependência espacial; de 25 a 75% – moderada dependência espacial e $\geq 75\%$ – forte dependência espacial.

Na análise do variograma foi verificada a possibilidade das variáveis estudadas possuírem a propriedade de anisotropia, que é a heterogeneidade das distribuições das variâncias em ângulos diferentes no espaço (ENGLUND; SPARKS, 1988); sendo que o variograma isotrópico, é suficiente para descrever a variabilidade das variáveis no campo.

Após as estimativas dos parâmetros dos variogramas experimentais foram feitas as interpolações de dados por krigagem, visando definir o padrão espacial das variáveis estudadas. A krigagem ordinária dos valores obtidos dos atributos estudados, que

consiste numa interpolação desses valores entre os pontos amostrados, foi efetuada pelo módulo Interpolação – Krigagem do programa GS+ (GS+, 2000), com a opção pontual por serem utilizadas amostras simples (WEBSTER, 1985). A Validação Cruzada foi empregada para avaliar os resultados obtidos. Para isso, cada valor de dado foi eliminado e daí esse valor foi estimado usando-se informações dos dados restantes, de acordo com o método descrito por Kane et al. (1982) e Goovaerts (1997). O critério de validação cruzada empregado para selecionar o variograma foi o coeficiente de determinação entre os valores obtidos e estimados (MYERS, 1991).

Pela interpolação dos dados foram confeccionados separadamente os mapas de distribuição espacial dos atributos físicos e químicos. A visualização dos resultados foi feita na forma de mapas bidimensionais através do programa GS+ (GS+, 2000).

Com base nos mapas obtidos foram estabelecidas quatro zonas de manejo da fertilidade do solo e dos parâmetros físicos-hídricos, este número de classes foi estabelecido para que pudesse ser operacionalmente possível de ser realizado nas práticas de campo. Servindo como base para o planejamento da utilização dos insumos e para o manejo da irrigação, com aplicações a taxas variáveis.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise Descritiva

A análise descritiva dos dados foi realizada pelo módulo estatístico “Resumo Estatístico” do programa GS⁺ (GS⁺ 2000).

6.1.1 Parâmetros químicos do solo

Todos os pontos escolhidos para o estudo dos parâmetros químicos do solo foram localizados espacialmente, para que pudessem ser processados pelo referido programa. Foram avaliados os seguintes atributos químicos do solo: pH em CaCl₂; MO (g dm⁻³); P (mg dm⁻³); Al (mmol_c dm⁻³); H+Al (mmol_c dm⁻³); K (mmol_c dm⁻³); Ca (mmol_c dm⁻³); Mg (mmol_c dm⁻³); SB (mmol_c dm⁻³); CTC (mmol_c dm⁻³); V%; S (mg dm⁻³); B (mg dm⁻³); Cu (mg dm⁻³); Fe (mg dm⁻³); Mn (mg dm⁻³) e Zn (mg dm⁻³). Porém, para a análise descritiva e posteriormente a análise espacial, o S (mg dm⁻³) não foi estudado, visto algumas amostras apresentarem traços e outras ausência total do elemento.

Os resultados das análises descritivas das variáveis químicas encontram-se nas Tabelas 1 e 2. Pelos resultados obtidos pode-se verificar que os valores médios na profundidade de 0-0,2m são ligeiramente maiores que na profundidade de 0,2-0,4m, verificando-se que mesmo em camadas mais profundas a fertilidade do solo apresenta bons

Tabela 1. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas na profundidade de 0-0,2m.

Variáveis	Média	Desvio	Assimetria	Curtose	Valor	Valor	Variância (S ²)
		Padrão			Mínimo	Máximo	
pH em CaCl ₂	5,03	0,43	0,53	-0,14	4,30	6,20	0,19
MO (g dm ⁻³)	18,27	3,36	0,77	1,48	11,00	33,00	11,28
P (mg dm ⁻³)	80,08	38,62	0,50	-0,35	11,00	199,00	1491,56
Al (mmol _c dm ⁻³)	1,26	1,35	1,53	2,47	0,00	6,00	1,82
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	29,86	6,29	0,00	-0,48	13,00	45,00	39,52
K (mmol _c dm ⁻³)	1,76	0,98	1,29	2,90	0,40	6,60	0,96
Ca (mmol _c dm ⁻³)	20,30	7,23	0,32	-0,30	5,00	37,00	52,29
Mg (mmol _c dm ⁻³)	8,41	3,07	0,54	-0,01	2,00	18,00	9,44
SB (mmol _c dm ⁻³)	30,95	10,34	0,57	0,00	12,00	61,00	106,85
CTC (mmol _c dm ⁻³)	61,20	8,23	0,67	-0,08	44,0	86,00	67,67
V%	49,75	12,71	-0,03	-0,29	18,0	81,00	161,65
B (mg dm ⁻³)	0,32	0,14	2,33	6,49	0,13	1,00	0,02
Cu (mg dm ⁻³)	3,90	1,06	0,54	1,85	0,00	8,40	1,12
Fe (mg dm ⁻³)	14,40	12,41	0,93	-0,18	0,00	55,00	154,08
Mn (mg dm ⁻³)	7,02	3,68	1,23	1,39	0,00	21,00	13,54
Zn (mg dm ⁻³)	5,71	2,76	0,70	0,43	0,00	14,40	7,64

Tabela 2. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas na profundidade de 0,2-0,4m.

Variáveis	Média	Desvio	Assimetria	Curtose	Valor		Variância (S ²)
	Padrão				Mínimo	Máximo	
pH em CaCl ₂	5,00	0,39	0,29	0,24	4,10	6,20	0,16
MO (g dm ⁻³)	14,05	3,08	0,61	0,44	6,00	23,00	9,49
P (mg dm ⁻³)	42,47	32,46	2,02	5,00	7,00	182,00	1053,73
Al (mmol _c dm ⁻³)	1,04	1,29	1,83	3,71	0,00	7,00	1,65
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	26,93	5,91	0,53	0,37	10,00	45,00	34,97
K (mmol _c dm ⁻³)	1,47	0,73	0,95	1,46	0,10	4,30	0,53
Ca (mmol _c dm ⁻³)	17,07	7,07	0,86	0,84	4,00	44,00	49,94
Mg (mmol _c dm ⁻³)	6,31	3,23	1,83	4,37	2,00	22,00	10,41
SB (mmol _c dm ⁻³)	25,27	9,31	0,93	0,42	10,00	55,00	86,68
CTC (mmol _c dm ⁻³)	51,72	8,38	0,63	0,13	37,00	78,00	70,21
V%	46,85	12,26	-0,07	-0,12	19,00	76,00	150,31
B (mg dm ⁻³)	0,30	0,10	1,37	3,54	0,13	0,75	0,01
Cu (mg dm ⁻³)	3,29	0,95	2,51	12,64	1,90	9,90	0,90
Fe (mg dm ⁻³)	9,07	7,70	0,78	-0,51	1,00	29,00	59,26
Mn (mg dm ⁻³)	5,95	3,31	0,96	0,90	1,20	19,20	10,94
Zn (mg dm ⁻³)	2,16	1,32	0,60	-0,57	0,30	5,70	1,75

níveis para a produção agrícola, onde o incremento de MO do sistema plantio direto promove melhoria da qualidade do solo, ou seja, o sistema traz benefícios em profundidade no solo.

Os valores mínimos e máximos apresentaram grandes variações em relação à média, mostrando uma grande amplitude, principalmente para a variável P a amplitude é muito representativa nas duas profundidades como é verificada pela variância amostral (S^2) alta. Isso pode ser explicado pela baixa solubilidade do P e como este nutriente é aplicado na linha de plantio, há uma variação de valores dentro da área. Resultados semelhantes foram encontrados por Mello et al. (2006a) e Corá et al. (2004). Os parâmetros seguintes tiveram alta variância (S^2) foram: V%, Fe e SB na profundidade de 0-0,20m e V%, SB e CTC na profundidade de 0,20-0,40m. Essa grande amplitude de valores observados revela os problemas que podem ocorrer quando se usa a média das variáveis para a realização do manejo do solo, ou seja, quando se usa a análise de solo da maneira como é feita atualmente, usando-se a amostra composta, para recomendar adubação e calagem, podendo haver aplicação excessiva em alguns locais e insuficientes em outros, causando prejuízos econômicos.

Os valores de assimetria e curtose apresentaram valores baixos, isso demonstra que os resultados apresentam uma distribuição normal e a amostragem é representativa da área.

6.1.2 Parâmetros físicos do solo

Pela análise de caracterização da densidade de partículas, que apresentou valores praticamente constante, obteve-se um resultado médio de $2,61 \text{ kg dm}^{-3}$ que está dentro dos padrões de densidade para Latossolos, segundo Kiehl (1979).

De acordo com os mesmos pontos analisados para os parâmetros químicos do solo, foram feitas as análises físicas de areia, silte e argila, nas profundidades de 0-0,2m e 0,2-0,4m; e umidade atual (%), porosidade total – PT ($\text{dm}^3 100\text{dm}^{-3}$), microporosidade ($\text{dm}^3 100 \text{ dm}^{-3}$), macroporosidade ($\text{dm}^3 100 \text{ dm}^{-3}$) e densidade do solo (kg dm^{-3}) nas profundidades de 0-0,05m e 0,20-0,25m.

Os resultados das análises descritivas das variáveis físicas encontram-se na Tabela 3. Os valores médios apresentaram pequena variação nas diferentes

profundidades, somente havendo uma maior diferença da média na macroporosidade, devido esta ser um valor menor e sofrer maior interferência tanto na coleta do anel quanto do manejo do solo. Os valores de máximo e mínimo variaram bastante principalmente para as variáveis areia e argila que apresentaram uma variância amostral (S^2) muito alta, evidenciando uma grande heterogeneidade granulométrica dentro da área estudada. O silte apresentou variabilidade média e os demais apresentaram baixa variação.

Os valores de assimetria e curtose apresentaram valores baixos, demonstrando que os resultados apresentaram uma distribuição normal e, conseqüentemente, a amostragem foi representativa da área.

Tabela 3. Valores da estatística descritiva das variáveis físicas nas respectivas profundidades.

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose	Valor		Variância (S^2)
					Mínimo	Máximo	
profundidade 0-0,2m							
Areia ($g\ kg^{-1}$)	639,51	90,64	-1,53	1,67	321,00	763,00	8215,09
Silte ($g\ kg^{-1}$)	52,49	14,10	0,75	-0,13	28,00	87,00	198,89
Argila ($g\ kg^{-1}$)	307,24	80,77	1,54	1,72	187,00	592,00	6524,17
profundidade 0,2-0,4m							
Areia ($g\ kg^{-1}$)	624,01	92,23	-1,38	1,20	312,00	753,00	8506,09
Silte ($g\ kg^{-1}$)	50,72	14,78	1,64	5,00	24,00	131,00	218,54
Argila ($g\ kg^{-1}$)	323,10	80,39	1,49	1,49	203,00	590,00	6462,39
profundidade 0-0,05m							
Umidade (%)	15,05	2,41	0,19	-0,39	10,28	21,38	5,83
PT ($dm^3\ 100\ dm^{-3}$)	41,23	5,48	0,46	-0,60	30,79	55,75	30,08
Microp. ($dm^3\ 100\ dm^{-3}$)	28,80	3,41	0,55	0,37	21,15	37,34	11,66
Macrop. ($dm^3\ 100\ dm^{-3}$)	12,35	5,63	0,80	-0,08	3,65	27,37	31,67
Dens. ($kg\ dm^{-3}$)	1,50	0,15	-0,27	-0,30	1,10	1,80	0,02
profundidade 0,20-0,25 m							
PT ($dm^3\ 100\ dm^{-3}$)	34,61	4,26	1,01	0,56	28,52	46,77	18,16
Microp. ($dm^3\ 100\ dm^{-3}$)	28,36	3,51	1,17	1,45	22,70	39,21	12,36
Macrop. ($dm^3\ 100\ dm^{-3}$)	6,25	2,40	0,45	-0,21	1,70	13,20	5,78
Dens. ($kg\ dm^{-3}$)	1,72	0,12	-0,93	0,12	1,40	1,90	0,02

PT= porosidade total; microp.= microporosidade; macrop.= macroporosidade; Dens= densidade do solo.

6.2 Análise Espacial

A análise espacial foi efetuada por meio da análise dos variogramas, conforme descrito por Journel e Huijbregts (1978) e Isaaks e Srivastava (1989), no programa GS+ (GS+, 2000), onde os dados apresentaram distribuição normal, através dos valores de assimetria e curtose.

6.2.1 Parâmetros químicos do solo

As análises espaciais foram processadas pelo módulo “Análise da variância” do programa GS+.

Pela análise da superfície de tendência fornecida pelo próprio programa, não foi observada evidência de anisotropia para os atributos químicos do solo estudados, segundo os parâmetros estabelecidos por Zimmerman (1993).

Primeiramente, para o ajuste dos variogramas teóricos ao variograma experimental, foi selecionada a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) como índice de avaliação do erro de ajuste, descrito por Zimmerman e Zimmerman (1991), como a melhor medida de avaliação.

A função foi ajustada apenas para os dados das distâncias menores, onde há uma tendência de elevação da curva do variograma, isto é, onde ocorre a influência do espaço na variabilidade dos dados, descrito por Ribeiro Júnior (1995), como ajuste “a sentimento”.

Os resultados das análises variográficas dos parâmetros químicos do solo são apresentados nas Figuras 4 a 8. Praticamente, todas as variáveis apresentaram bons ajustes aos modelos teóricos, sendo que somente o P e o Zn na profundidade de 0-0,2m e o H+Al na profundidade de 0,2-0,4m apresentaram efeito pepita puro, isso quer dizer que pela amostragem realizada não foi possível detectar a dependência espacial, sendo que estes dados apresentaram valores distantes até nas menores distâncias entre as amostras. Os gráficos com efeito pepita puro não foram expostos nas figuras.

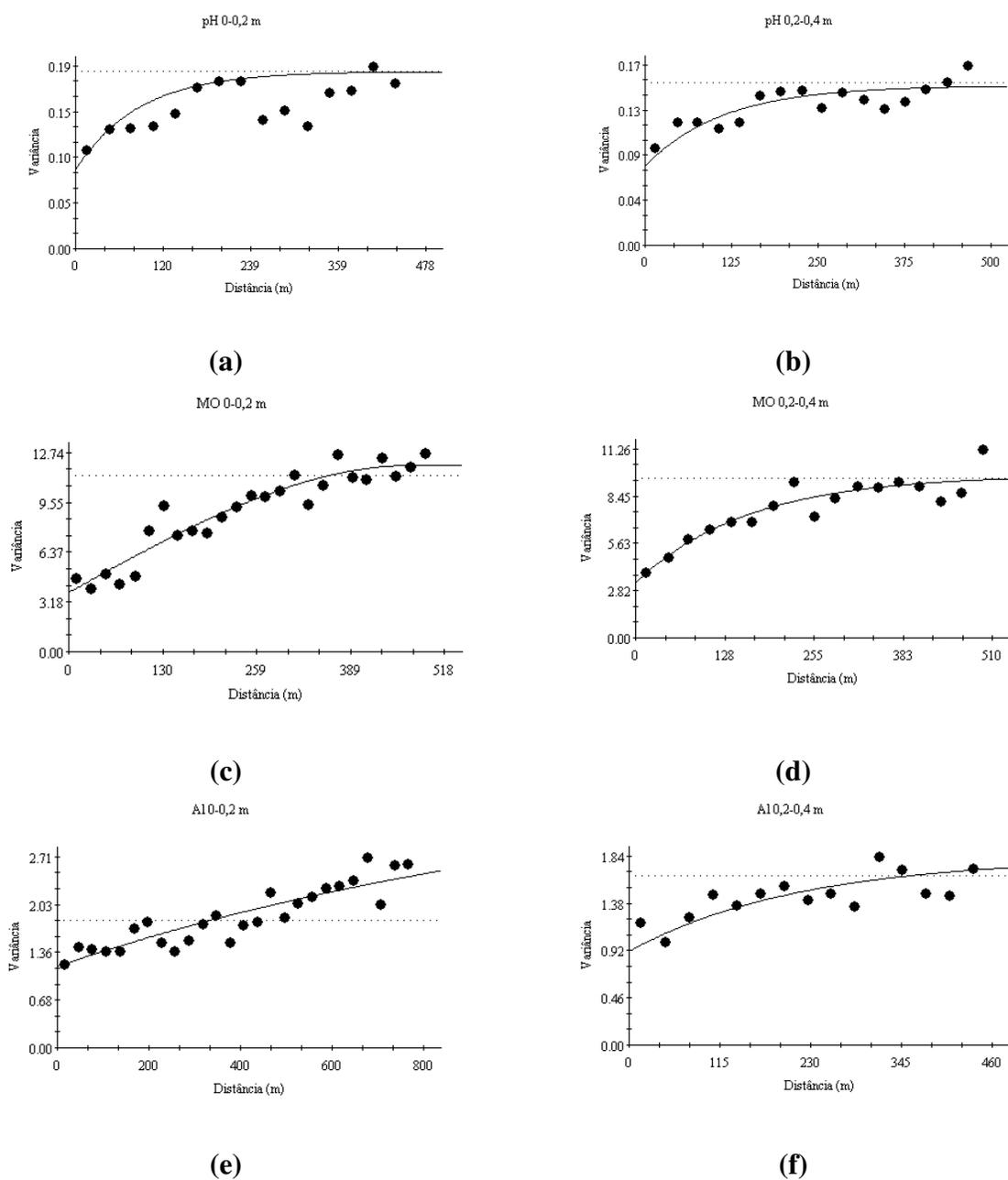


Figura 4. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas pH, MO e Al para as duas profundidades estudadas.

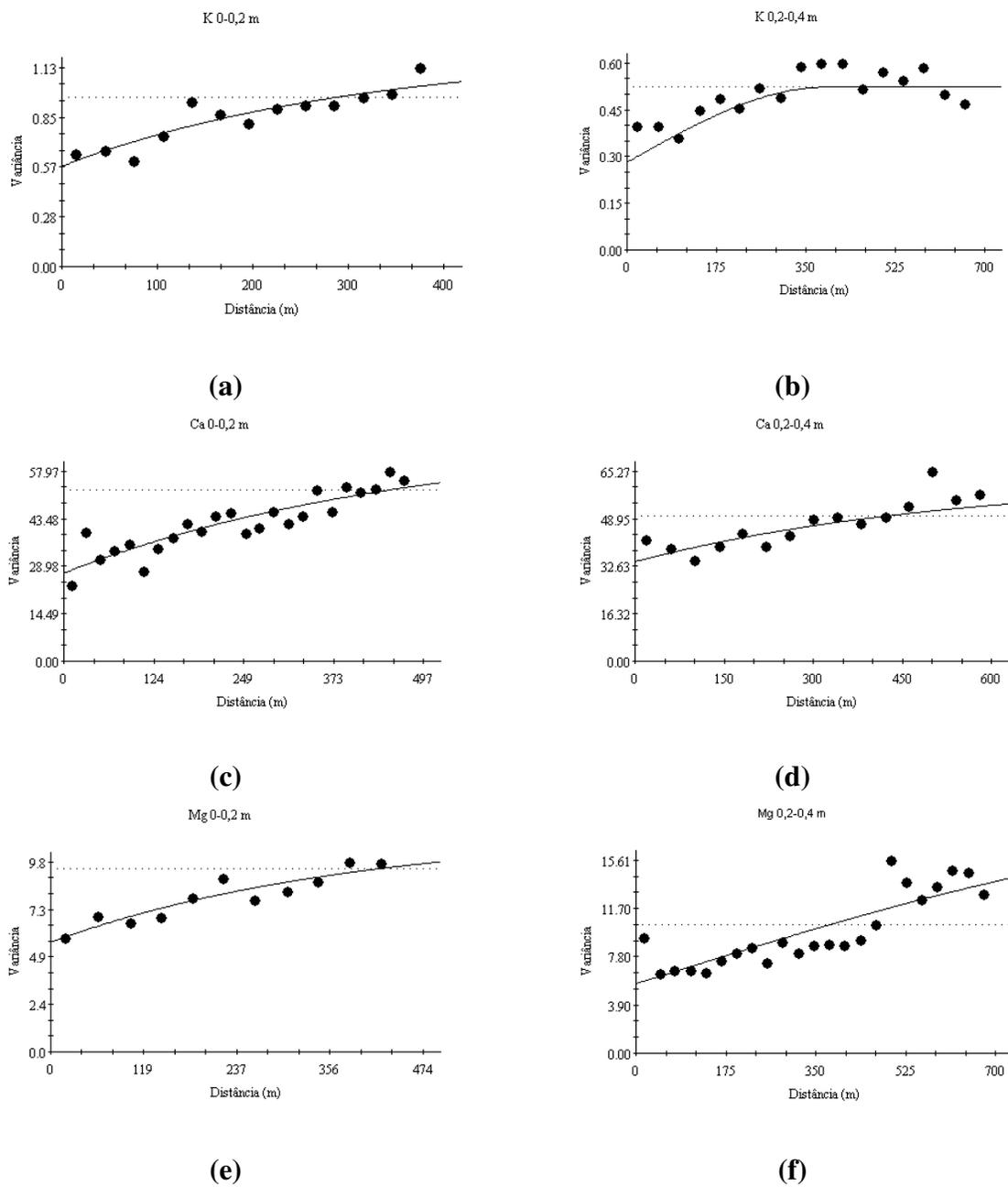


Figura 5. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas K, Ca e Mg para as duas profundidades estudadas.

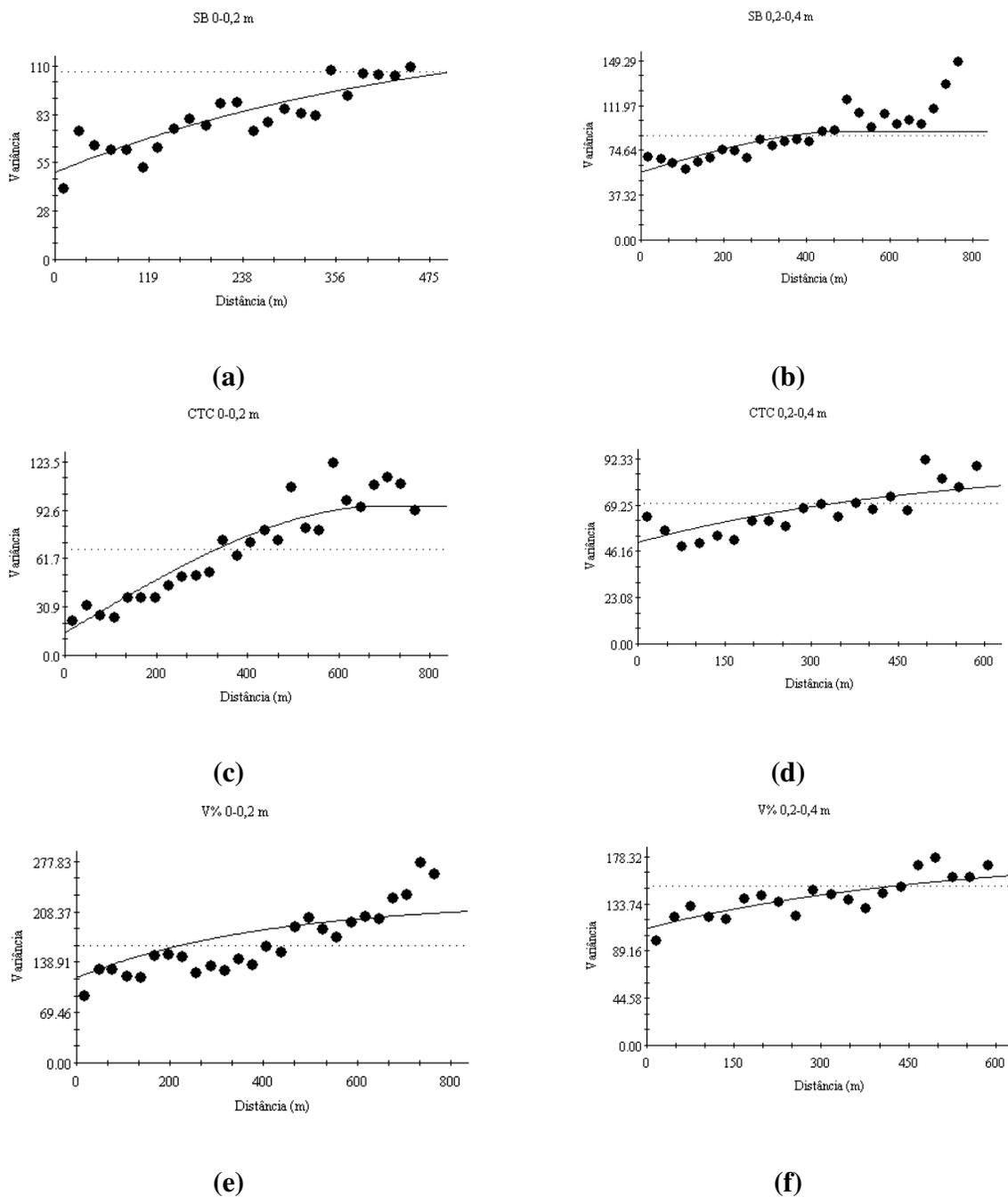


Figura 6. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas SB, CTC e V% para as duas profundidades estudadas.

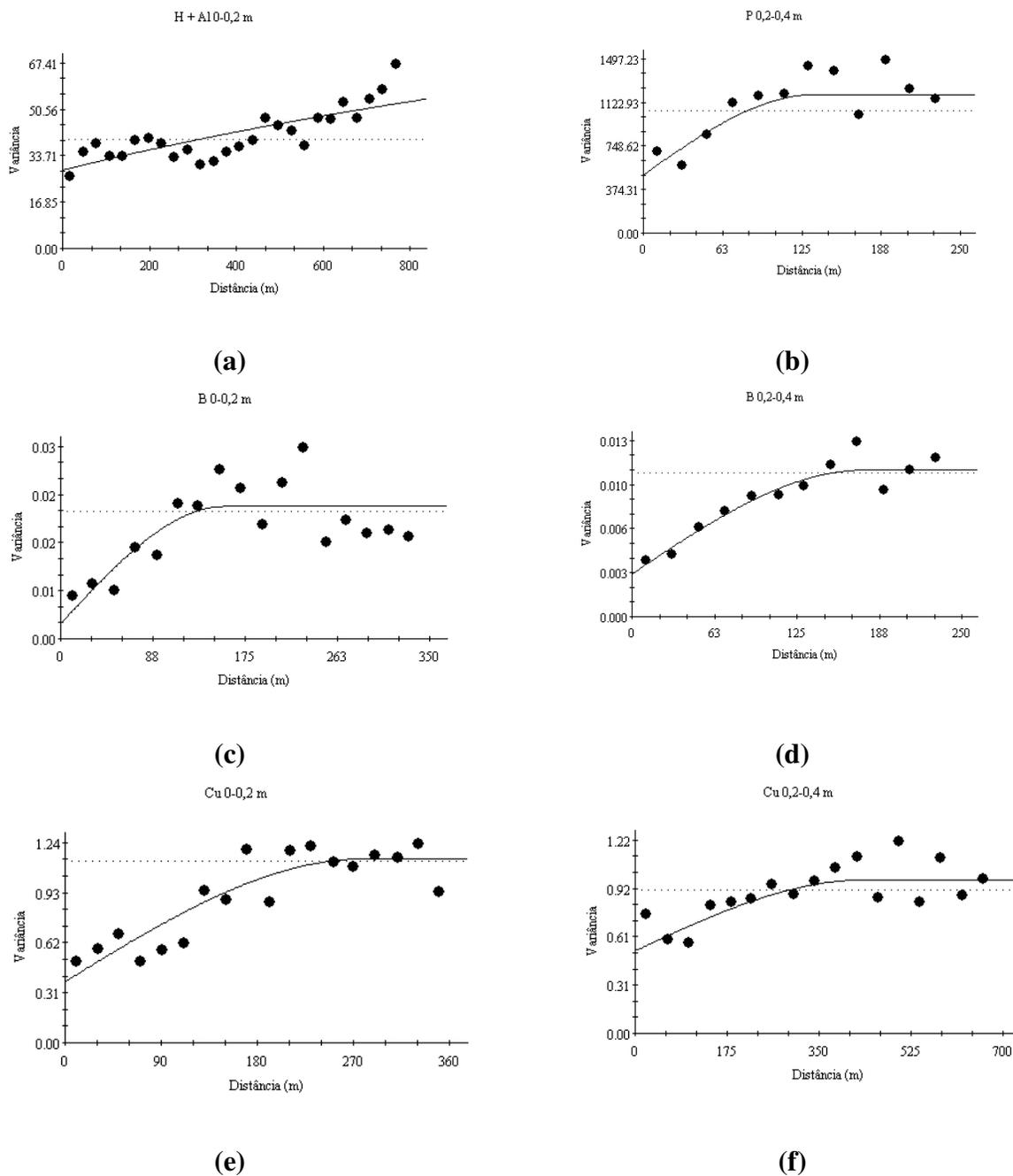


Figura 7. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas H+Al, B e Cu para as duas profundidades estudadas.

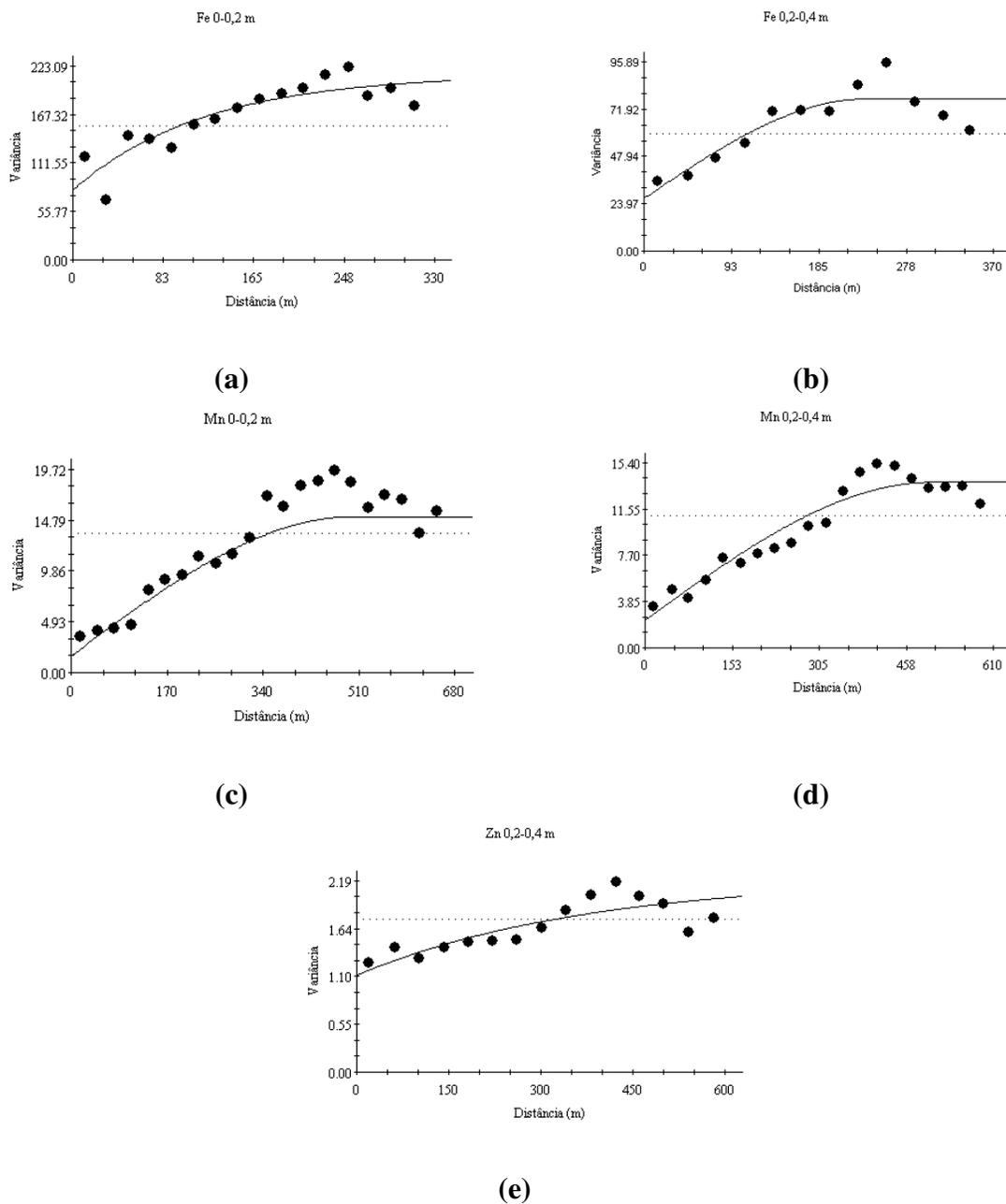


Figura 8. Variogramas isotrópicos das variáveis químicas Fe, Mn e Zn para as duas profundidades estudadas.

A Tabela 4 mostra o resumo dos parâmetros variográficos obtido pela análise espacial dos atributos químicos na profundidade de 0-0,2m.

Tabela 4. Parâmetros variográficos das variáveis químicas na profundidade de 0-0,2m.

Variáveis	Modelo	Efeito Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (m)	SQR	C/(Co+C) (%)	Classe de Dependência Espacial
pH em CaCl ₂	Exp	0,0836	0,1882	86	8,839E-03	89,5	Forte
MO (g dm ⁻³)	Esf	3,78	11,92	473	17,800	68,3	Média
P (mg dm ⁻³)	EPP	4,742	13,185	–	602,0	–	–
Al (mmol _c dm ⁻³)	Exp	1,154	2,075	300	0,926	44,4	Média
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	Exp	28,50	97,160	1775*	797,0	70,7	Média
K (mmol _c dm ⁻³)	Exp	0,57	1,217	309	0,0504	53,2	Média
Ca (mmol _c dm ⁻³)	Exp	26,90	68,490	478	367,0	60,7	Média
Mg (mmol _c dm ⁻³)	Exp	5,66	11,374	385	2,32	50,2	Média
SB (mmol _c dm ⁻³)	Exp	49,50	136,10	465	1634,0	63,6	Média
CTC (mmol _c dm ⁻³)	Esf	14,40	95,40	700	3257,0	84,9	Forte
V%	Exp	117,60	221,80	400	22909,0	47,0	Média
B (mg dm ⁻³)	Esf	0,00238	0,02076	155	2,763E-04	88,5	Forte
Cu (mg dm ⁻³)	Esf	0,3760	1,1350	280	0,262	66,9	Média
Fe (mg dm ⁻³)	Exp	80,10	213,70	120	5244,0	62,5	Média
Mn (mg dm ⁻³)	Esf	1,60	15,13	500	103,0	89,4	Forte
Zn (mg dm ⁻³)	EPP	7,5012	7,5012	–	87,7	–	–

Exp = exponencial; Esf = esférico; EPP = efeito pepita puro; SQR = soma dos quadrados dos resíduos

* valor projetado, podendo não ser o valor real.

As variáveis em que foi detectada a dependência espacial tiveram ajuste pelos modelos exponencial ou esférico, sendo escolhido o modelo pelo menor SQR. Como o alcance determina o limite da dependência espacial entre as amostras este apresentou valores de 86m para pH; Fe, 120m; B, 155m; Cu, 280m; Al, 300m; K, 309m; Mg, 385m; V%, 400m; SB, 465m; MO, 473m; Ca, 478m; Mn, 500m e, apresentando a maior distância de dependência espacial entre as amostras o CTC com dependência espacial de 700m. Para o parâmetro H+Al o programa determinou um valor de alcance de 1775m sendo este valor projetado e não experimental visto que a maior distância entre as amostras foi de 990m, que é referente ao diâmetro do pivô central, ou seja, é a distância máxima de amostragem.

Os parâmetros pH, CTC, B e Mn apresentaram classe de dependência espacial forte demonstrando com isso que 75% ou mais da variabilidade entre as amostras é devido a variação do espaço e 25% ou menos é devido às variações casuais ou aleatórias. Os valores de MO, H+Al, K, Ca, Mg, SB, Fe e Mn apresentaram classe de dependência espacial média. Apenas Al e V% obtiveram valores inferiores a 50% de dependência espacial (44,4 e 47,0%, respectivamente), o que caracteriza dependência espacial média. Para as variáveis P e Zn não foi possível identificar a dependência espacial, pois apresentaram efeito pepita puro.

Na Tabela 5 está demonstrado o resumo dos parâmetros variográficos obtido pela análise espacial dos atributos químicos na profundidade de 0,20-0,40m.

O atributo H+Al apresentou efeito pepita puro, sendo que com um maior adensamento de amostragem talvez pudesse ser detectada a distância da dependência espacial. As variáveis em que foi detectada a dependência espacial tiveram ajuste pelos modelos exponencial ou esférico, sendo escolhido o modelo pelo menor SQR. Como o alcance determina o limite da dependência espacial entre as amostras, este apresentou valores de 113m para pH; P, 135m; MO, 161m; B, 176m; Al, 216m; Fe, 234m; Zn, 373m; K, 390m; Cu, 435m; SB, CTC e V%, 500m; Mn, 501m e, apresentando a maior distância de dependência espacial entre as amostras, o Ca com dependência espacial de 533m. Para o parâmetro Mg, o programa determinou um valor de alcance de 1342m sendo este valor projetado e não experimental, visto que a maior distância entre as amostras foi de 990m.

Tabela 5. Parâmetros variográficos das variáveis químicas na profundidade de 0,2-0,4m.

Variáveis	Modelo	Efeito Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (m)	SQR	C/(Co+C) (%)	Classe de Dependência espacial
pH em CaCl ₂	Exp	0,0761	0,1532	113	2,014E-03	50,3	Média
MO (g dm ⁻³)	Exp	3,28	9,71	161	8,42	66,2	Média
P (mg dm ⁻³)	Esf	500,0	1190,0	135	304855,00	58,0	Média
Al (mmol _c dm ⁻³)	Exp	0,912	1,825	216	0,327	50,0	Média
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	EPP	33,463	34,562	–	225,0	–	–
K (mmol _c dm ⁻³)	Esf	0,2824	0,5258	390	0,0468	46,3	Média
Ca (mmol _c dm ⁻³)	Exp	34,20	62,86	533	325,0	45,6	Média
Mg (mmol _c dm ⁻³)	Esf	5,62	17,25	1342*	53,90	67,4	Média
SB (mmol _c dm ⁻³)	Esf	56,60	90,50	500	7305,0	37,5	Média
CTC (mmol _c dm ⁻³)	Exp	50,60	90,11	500	1026,0	43,8	Média
V%	Exp	110,70	180,50	500	2270,0	38,7	Média
B (mg dm ⁻³)	Esf	0,00309	0,01060	176	9,031E-06	70,8	Média
Cu (mg dm ⁻³)	Esf	0,5220	0,97	435	0,224	46,2	Média
Fe (mg dm ⁻³)	Esf	26,60	77,01	234	807,0	65,5	Média
Mn (mg dm ⁻³)	Esf	2,27	13,76	501	25,0	83,5	Forte
Zn (mg dm ⁻³)	Exp	1,1080	2,2170	373	0,421	50,0	Média

Exp = exponencial; Esf = esférico; EPP = efeito pepita puro; SQR = soma dos quadrados dos resíduos

* valor projetado, podendo não ser o valor real.

Apenas o parâmetro Mn apresentou classe de dependência espacial forte demonstrando com isso que 83,5% da variabilidade entre as amostras é devido a variação do espaço e 16,5% é devido às variações casuais ou aleatórias. Os valores de pH, MO, P, Al, Mg, Zn, Fe e B apresentaram classe de dependência espacial média. Os valores de K, Ca, SB, CTC, V% e Cu obtiveram valores inferiores a 50% de dependência espacial, caracterizando dependência espacial fraca.

6.2.2 Parâmetros físicos do solo

Os resultados das análises variográficas dos parâmetros físicos areia, argila e silte estão expostos nas Figuras 9 e umidade, densidade do solo, porosidade total, e microporosidade estão demonstrados na Figura 10. As variáveis apresentaram bons ajustes aos modelos teóricos, sendo que somente densidade do solo na profundidade de 0-0,05m e macroporosidade nas duas profundidades não apresentaram ajustes, ou seja, apresentaram efeito pepita puro, isso quer dizer que pela amostragem realizada não foi possível detectar a dependência espacial, sendo que estes dados são muito diferentes até nas menores distâncias entre as amostras.

A Tabela 6 apresenta o resumo dos parâmetros variográficos obtidos pela análise espacial dos atributos físicos nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4m para areia, silte e argila e 0-0,05 e 0,20-0,25m para porosidade total, microporosidade, macroporosidade e densidade do solo e para umidade atual na profundidade de 0-0,05m.

Os atributos macroporosidade nas duas profundidades e densidade do solo na profundidade de 0-0,05m apresentaram efeito pepita puro, sendo que com um maior adensamento de amostragem talvez pudesse ser detectada a distância da dependência espacial.

Os parâmetros areia e argila nas duas profundidades foram ajustados pelo modelo esférico, não sendo o espaço amostral suficientemente grande para se detectar o limite da dependência espacial. É evidente pelos variogramas e pelos baixos valores de SQR e efeito pepita que a classe de dependência espacial seja forte, muito embora não se tenha valor da variabilidade total para o cálculo das classes.

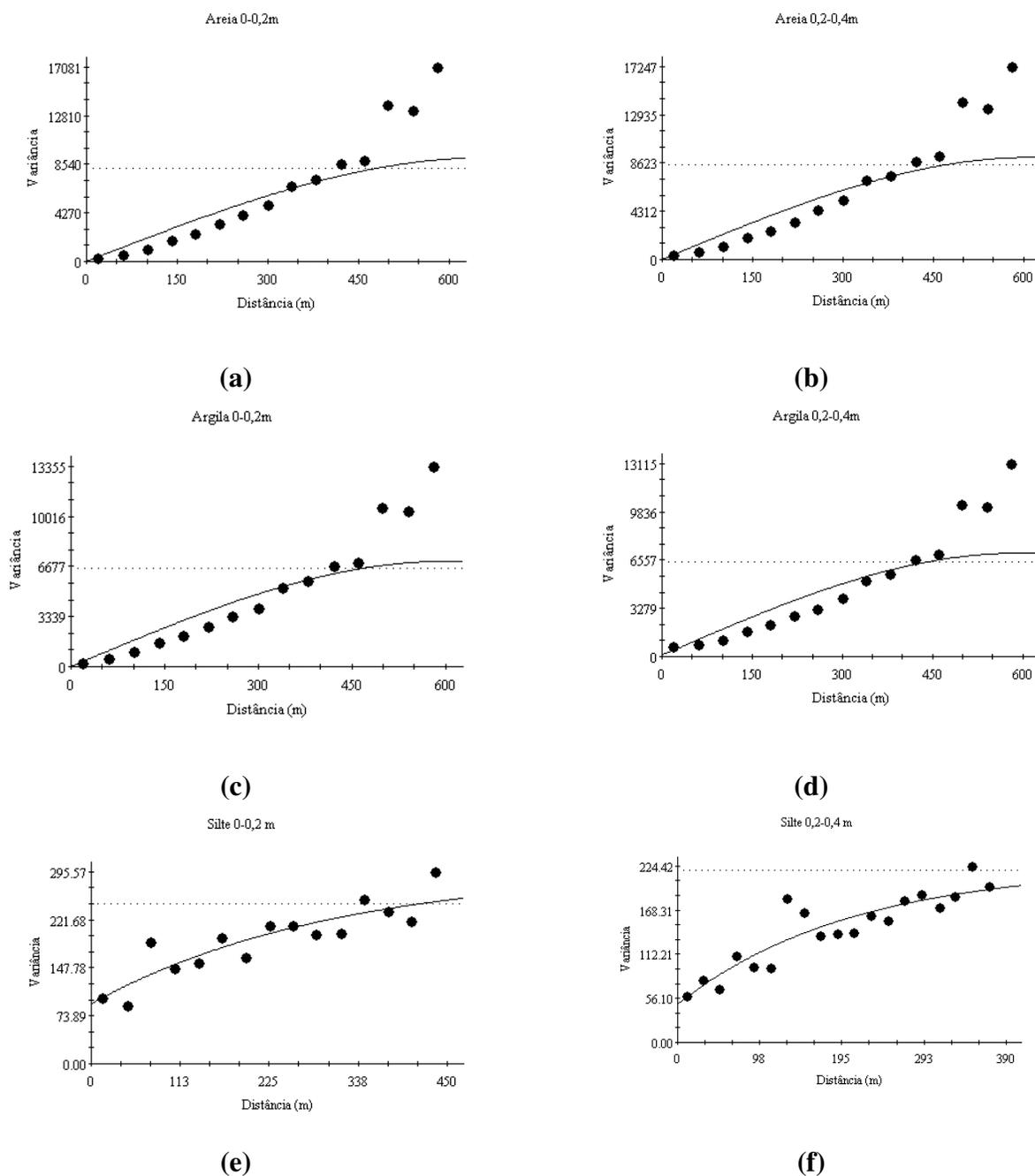


Figura 9. Variogramas isotrópicos das variáveis físicas areia, argila e silte nas duas profundidades estudadas.

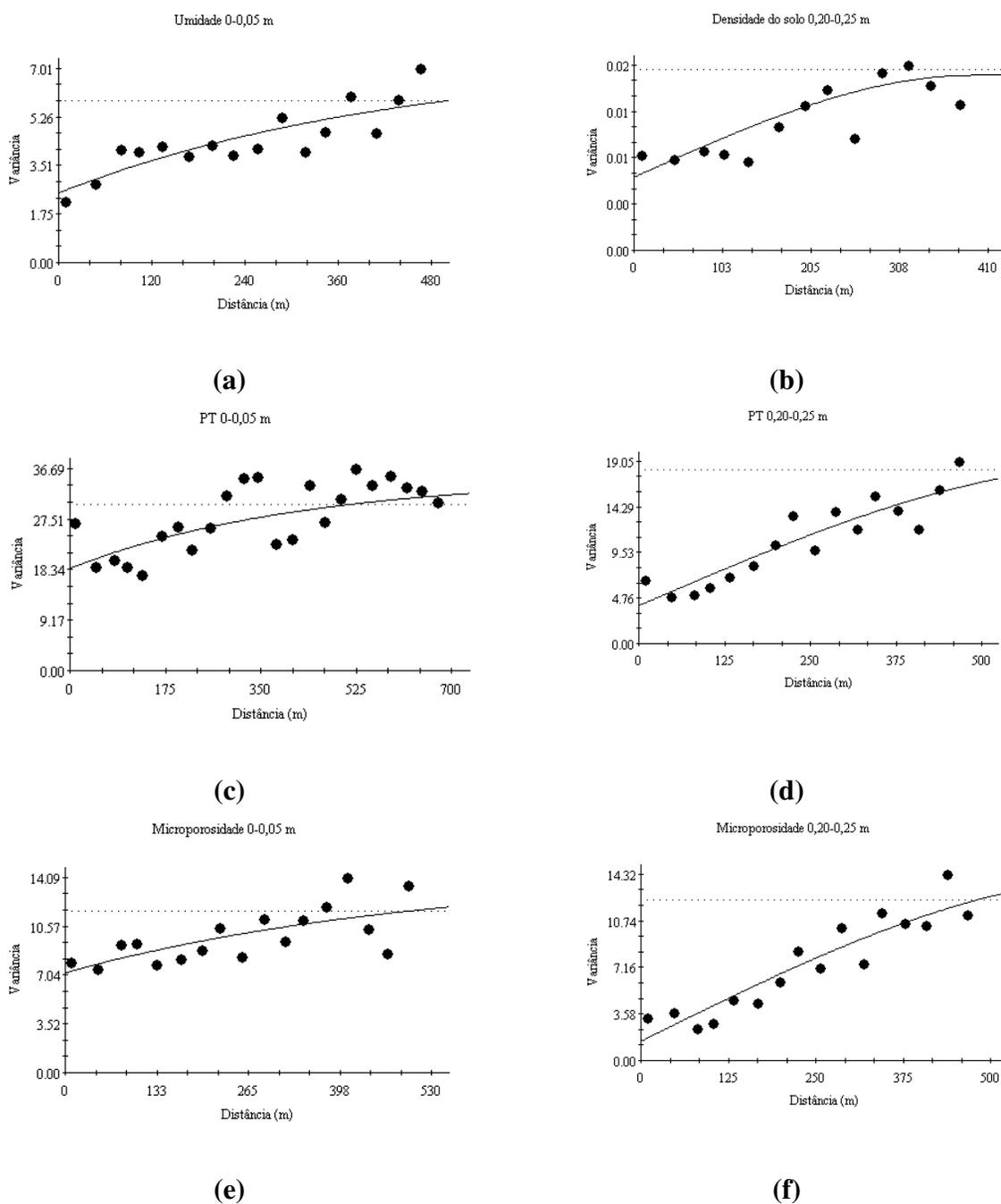


Figura 10. Variogramas isotrópicos das variáveis físicas umidade, densidade do solo, PT e microporosidade do solo nas respectivas profundidades.

Tabela 6. Parâmetros variográficos das variáveis físicas nas respectivas profundidades.

Variáveis	Modelo	Efeito Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (m)	SQR	C/(Co+C) (%)	Classe de Dependência Espacial
profundidade 0-0,2m							
Areia (g kg ⁻¹)	Esf	10,0	91,20	662	1,249E+08	99,9	Forte
Silte (g kg ⁻¹)	Exp	92,1	298,8	304	8830,0	69,2	Média
Argila (g kg ⁻¹)	Esf	10,0	7020,0	599	7,33E+07	99,9	Forte
profundidade 0,2-0,4m							
Areia (g kg ⁻¹)	Esf	10,0	9120,0	610	1,258E+08	99,9	Forte
Silte (g kg ⁻¹)	Exp	48,60	223,90	207	7238	78,3	Forte
Argila (g kg ⁻¹)	Esf	100,0	7020,0	587	6,613E+07	98,6	Forte
profundidade 0-0,05m							
Umidade (%)	Exp	2,51	7,424	441	6,01	66,2	Média
PT (dm ³ 100 dm ⁻³)	Exp	18,54	35,09	424	423,0	47,2	Média
Microp. (dm ³ 100 dm ⁻³)	Exp	7,21	14,43	518	32,2	50,0	Média
Macrop. (dm ³ 100 dm ⁻³)	EPP	29,29693	29,29693	–	184,0	–	–
Dens. (kg dm ⁻³)	EPP	0,02429	0,02429	–	3,694E-04	–	–
profundidade 0,20-0,25m							
PT (dm ³ 100 dm ⁻³)	Esf	3,96	18,67	714	46,7	78,8	Forte
Microp. (dm ³ 100 dm ⁻³)	Esf	1,48	14,14	712	27,2	89,5	Forte
Macrop. (dm ³ 100 dm ⁻³)	EPP	5,78591	5,78591	–	5,26	–	–
Dens. (kg dm ⁻³)	Esf	0,00634	0,01518	393	4,056E-05	58,2	Média

PT= porosidade total; microp.= microporosidade; macrop.= macroporosidade; Dens= densidade do solo; Exp = exponencial; Esf = esférico; EPP = efeito pepita puro; SQR = soma dos quadrados dos resíduos

Os parâmetros em que foi detectada a dependência espacial tiveram ajuste pelos modelos exponencial ou esférico, sendo escolhido o modelo pelo menor SQR. Como o alcance determina o limite da dependência espacial entre as amostras este apresentou distância de 207m para silte na profundidade 0,2-0,4m; silte, 304m na profundidade de 0-0,2m; densidade do solo de 0,20-0,25m de 393m; porosidade total de 0-0,05, de 424m; umidade na profundidade 0-0,05m de 441m; 518m para microporosidade na profundidade de 0-0,05m; 587m para argila de 0,2-0,4m; 599m para argila de 0-0,2m; 610m para areia de 0,2-0,4m; 662m para areia de 0-0,2m; 712m para microporosidade na profundidade 0,20-0,25m; apresentando a maior distância de dependência espacial entre as amostras para porosidade total na profundidade 0,20-0,25m; com dependência espacial de 714m.

A macroporosidade nas duas profundidades não tiveram ajustes por serem muito influenciadas pelo trânsito de máquinas, pois podem ocorrer pequenas variações a curtas distâncias. E no momento da amostragem pôde ser observada a grande presença de organismos da macrofauna no solo (minhocas e vários tipos de insetos benéficos), e foi possível verificar uma boa quantidade de restos vegetais e de palha desde a superfície até alguns centímetros do solo, e isso pode ter influenciado na não identificação da dependência espacial para a macroporosidade.

Areia e argila apresentaram classe de dependência espacial forte nas duas profundidades e o silte classe de dependência média na superfície e forte em profundidade. Superficialmente, umidade e microporosidade mostraram classe de dependência espacial média. Em profundidade, porosidade total e microporosidade apresentaram classe de dependência espacial forte. Densidade do solo apresentou efeito pepita puro superficialmente e classe de dependência espacial média na profundidade 0,20-0,25m. É possível que na superfície ocorra locais com compactação, ou sofra influência pela quantidade de raízes e matéria orgânica. Apenas o parâmetro porosidade total apresentou dependência espacial média com 47,2% de variabilidade espacial entre as amostras e 52,8% devido às variações casuais ou aleatórias. Os demais valores apresentaram variabilidade espacial com mais de 50% do total da variabilidade entre as amostras.

6.3 Interpolação dos dados

6.3.1 Parâmetros químicos do solo

Utilizando os parâmetros variográficos obtidos na análise espacial foram elaborados os mapas das variáveis químicas do solo pelo método da krigagem ordinária por ser considerada um bom interpolador por Vieira et al. (1983) e Zimmerman e Zimmerman (1991). Todos os valores interpolados por krigagem foram testados e validados pelo método da validação cruzada.

As Figuras de 11 a 26 mostram a distribuição espacial dos atributos químicos nas duas profundidades estudadas. Para a confecção dos mapas krigados optou-se por quatro classes ou zonas de manejo por serem viáveis para sua implantação na prática.

Na Figura 11 está exposta a espacialização do pH nas duas profundidades estudadas obtidos por krigagem. A distribuição dos valores de pH tanto em superfície quanto em subsuperfície apresentou-se bastante heterogênea com predomínio das duas classes de valores intermediários de pH variando de 4,9 a 5,4 na profundidade de 0-0,2m e 4,8 a 5,3 na profundidade de 0,2-0,4m. As áreas com acidez mais alta (amarela) são comuns tanto em superfície quanto em subsuperfície, o mesmo ocorre com as áreas de pH mais elevado (marrom), que estão localizadas nas áreas mais elevadas e mais planas do terreno.

A Figura 12 mostra os valores interpolados por krigagem da MO nas duas profundidades estudadas. Os teores de MO tanto em superfície quanto em subsuperfície apresentaram-se com maior homogeneidade que o pH, sendo que em superfície é possível verificar maior homogeneidade. Os valores de MO são maiores em superfície com classe de manejo mais elevada (marrom) variando de 23 a 27 g dm⁻³ e a classe inferior com valores abaixo de 17 g dm⁻³ coincidindo com as áreas com acidez mais alta (amarela) que estão na Figura 11.

Na Figura 13 está exposta a interpolação do P apenas na profundidade de 0,2-0,4m obtido por krigagem. Como não foi possível um ajuste adequado do variograma experimental a um modelo teórico dos teores de P na profundidade de 0-0,2m, não foram encontrados os parâmetros necessários para se fazer a interpolação por krigagem. A

distribuição dos valores de P em subsuperfície apresentou-se bastante heterogênea com predomínio dos valores inferiores a 46 mg dm^{-3} (classe amarela).

A Figura 14 mostra os valores interpolados por krigagem dos teores de Al nas duas profundidades estudadas. Os teores de Al tanto em superfície quanto em subsuperfície apresentam similaridade nos valores coincidindo valores altos tanto em superfície quanto em subsuperfície. Apresenta correlação negativa com os valores de pH, onde os valores de pH são mais baixos (amarela) os teores de Al são mais elevados (marrom, vermelha e laranja).

A Figura 15 demonstra o mapa dos valores interpolados por krigagem dos teores de K nas duas profundidades estudadas. As zonas de manejo, tanto em superfície quanto em subsuperfície, apresentam similaridade coincidindo valores altos tanto em superfície quanto em subsuperfície. Quanto à classe de teores baixos (amarela), para o K não houve semelhança com a mesma classe de outros parâmetros químicos. Do mesmo modo que nos atributos anteriores as áreas de maior altitude foram as que apresentaram maiores teores do elemento (marrom).

Nas Figuras 16, 17, 18, 19, e 20 estão expostas as espacializações dos teores no solo de Ca, Mg, SB, CTC e V%, respectivamente, nas duas profundidades estudadas obtidos por krigagem. Os teores tanto em superfície quanto em subsuperfície apresentam similaridade nos valores coincidindo valores altos tanto em superfície quanto em subsuperfície. Apresentam correlação negativa com os valores de pH, onde os valores de pH são mais baixos os teores são mais elevados.

Na Figura 21 está apresentada a interpolação do H+Al apenas na profundidade de 0-0,2m obtido por krigagem. Não foi adequado o ajuste do variograma experimental a um modelo teórico dos teores na profundidade de 0,2-0,4m, e portanto não foram obtidos os parâmetros para se fazer a interpolação por krigagem. A distribuição dos valores de H+Al apresentou-se bastante heterogênea, sem um padrão definido, que dificulta sua utilização como referencial para o planejamento do manejo da fertilidade do solo.

No estudo do mapeamento espacial dos micronutrientes no solo pode-se detectar que estes não apresentaram um padrão de distribuição como mostra o mapa interpolado dos teores de B na Figura 22, Fe na Figura 24, Mn na Figura 25 e Zn na Figura 26.

Quanto aos teores de Cu, expostos na Figura 23, pode-se verificar a similaridade de distribuição com o pH e a maior parte das bases trocáveis no solo.

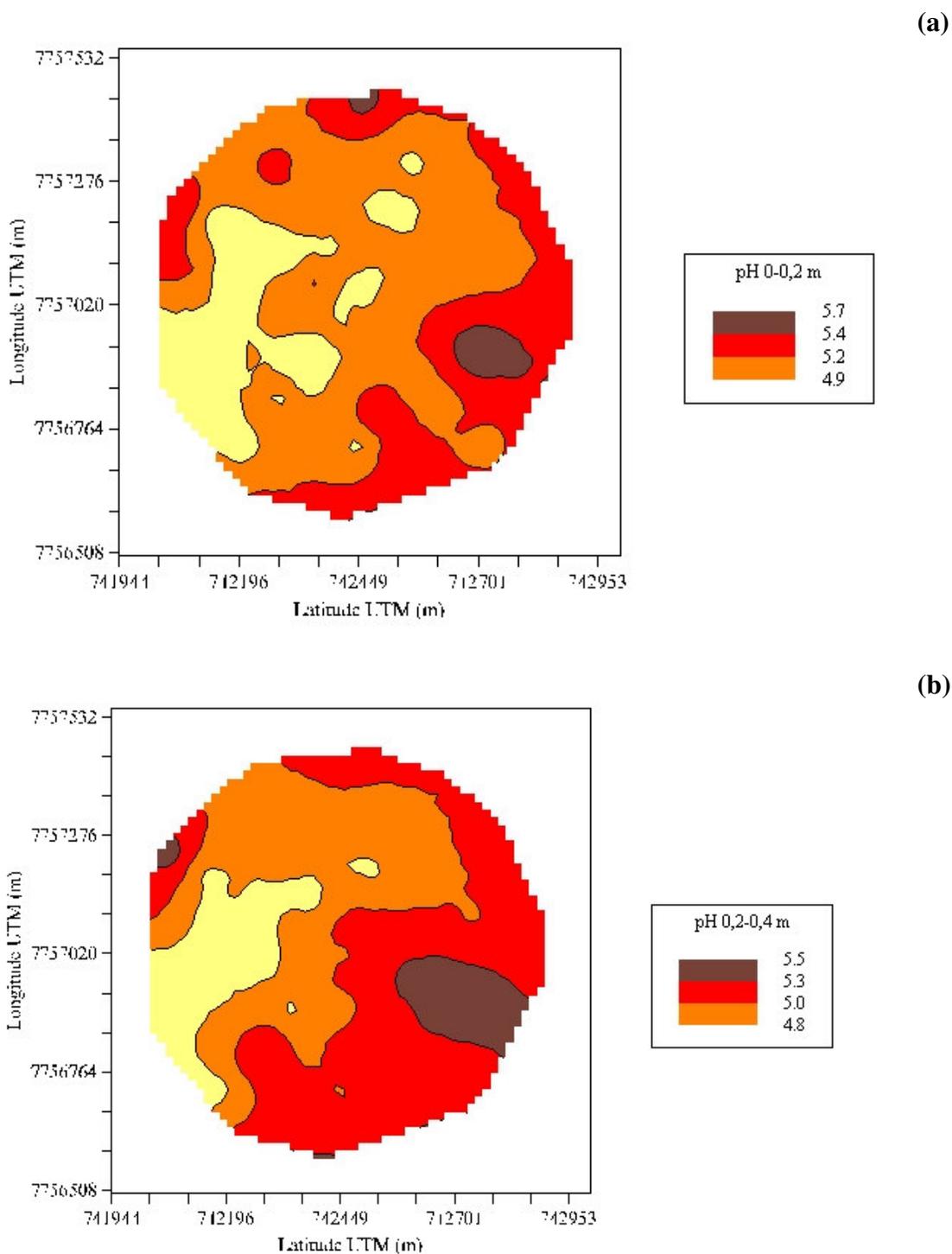


Figura 11. Mapa do pH do solo nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

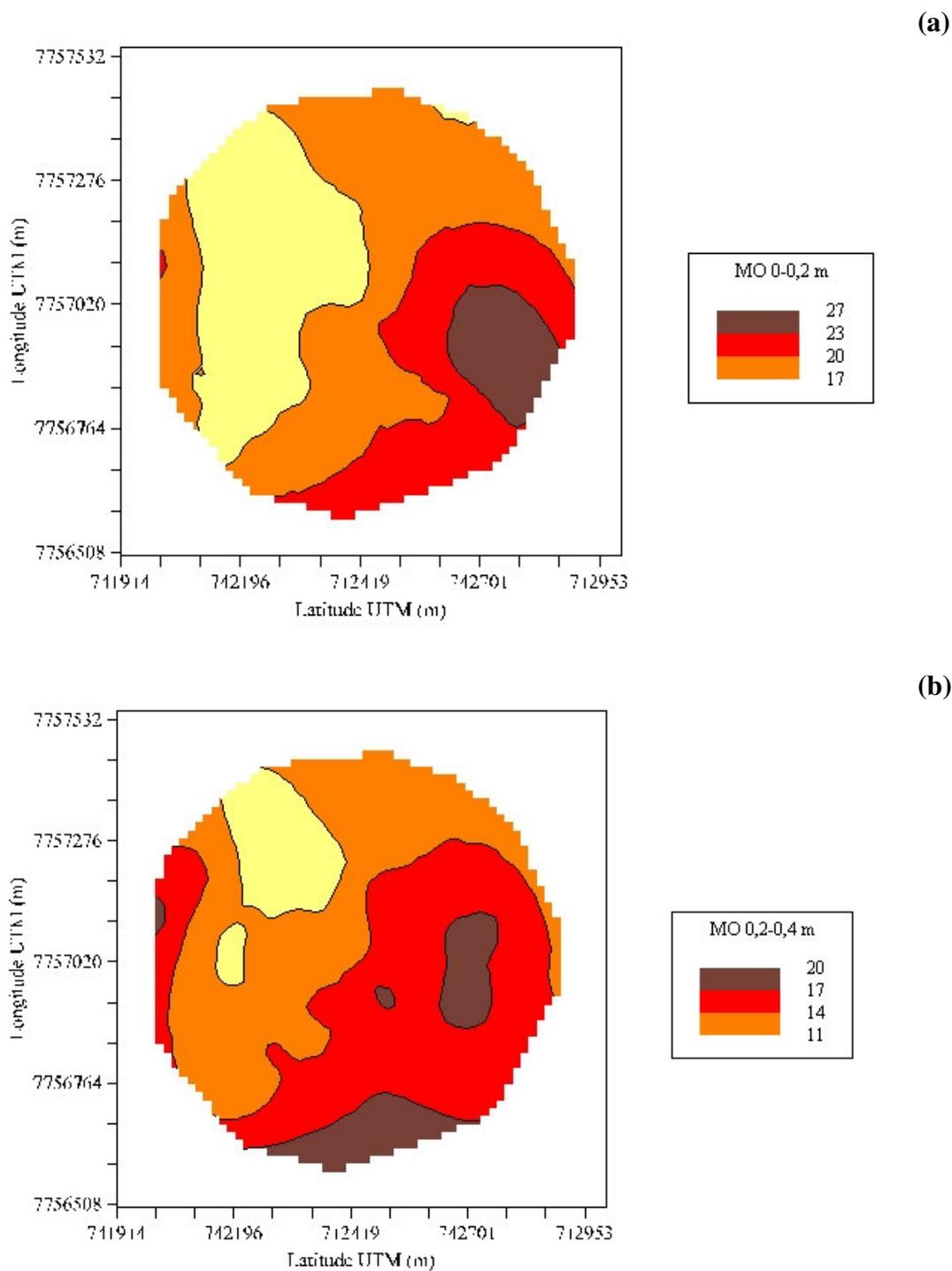


Figura 12. Mapa da MO nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

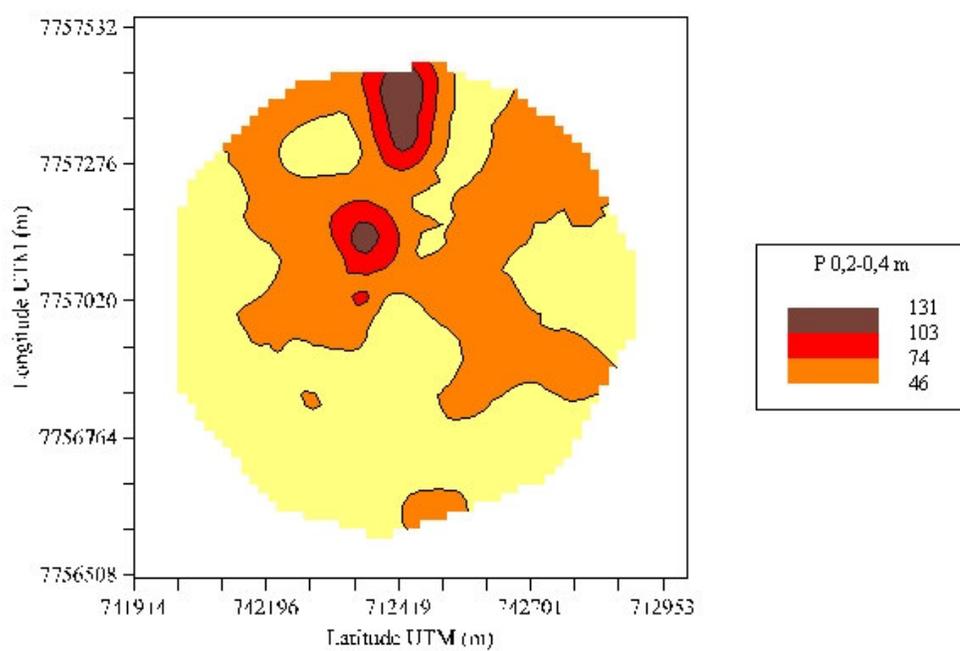


Figura 13. Mapa do P na profundidade de 0,2-0,4m.

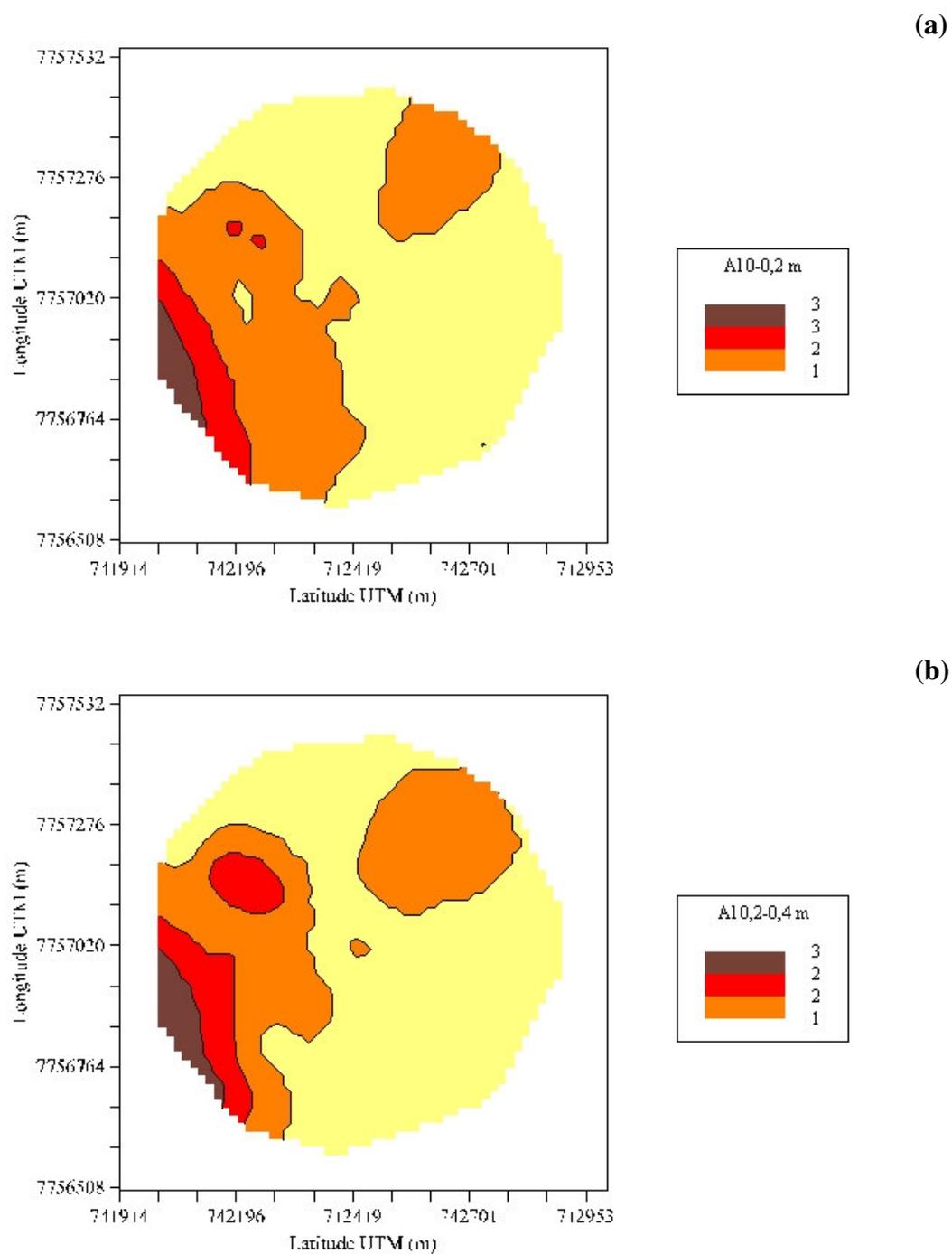


Figura 14. Mapa do AI nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

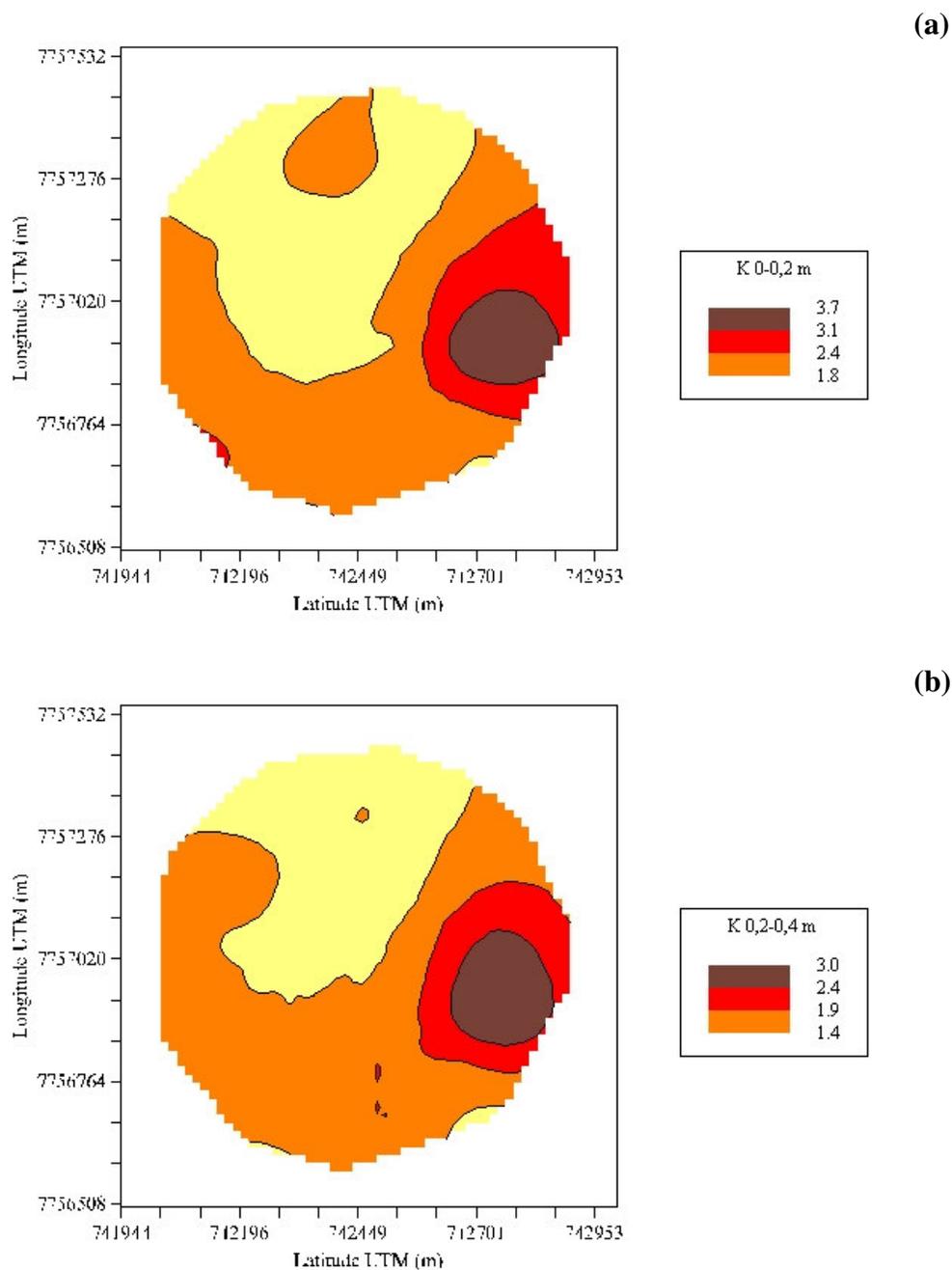


Figura 15. Mapa do K nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

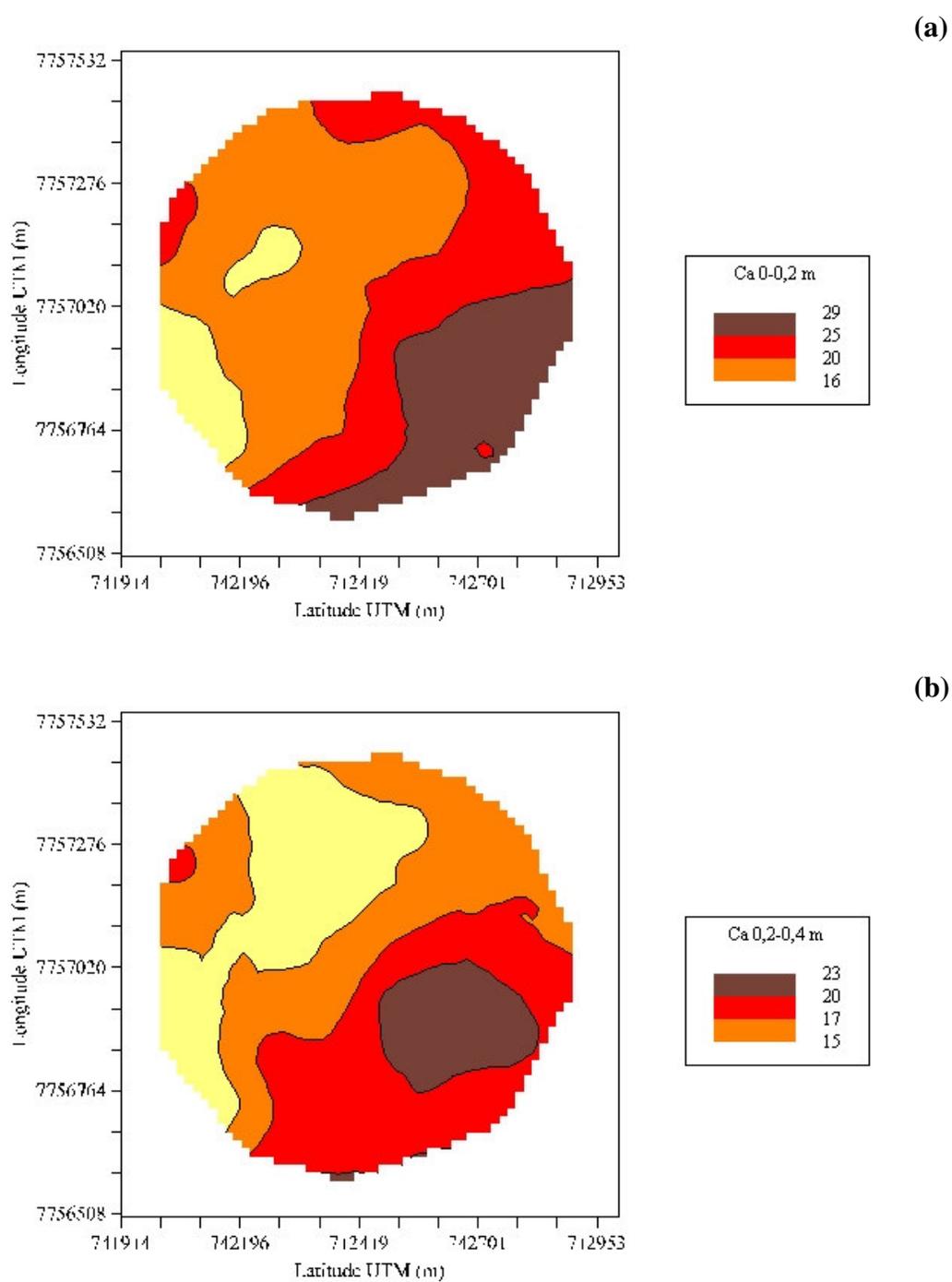
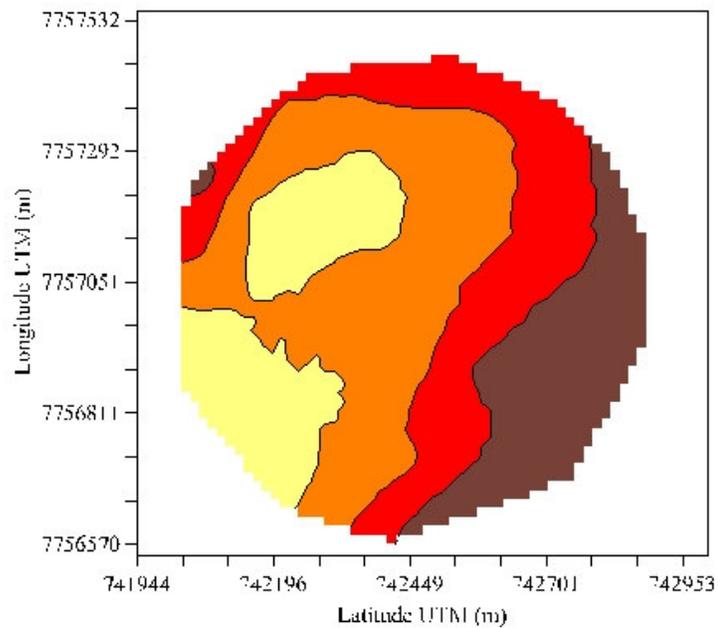


Figura 16. Mapa do Ca nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

(a)



(b)

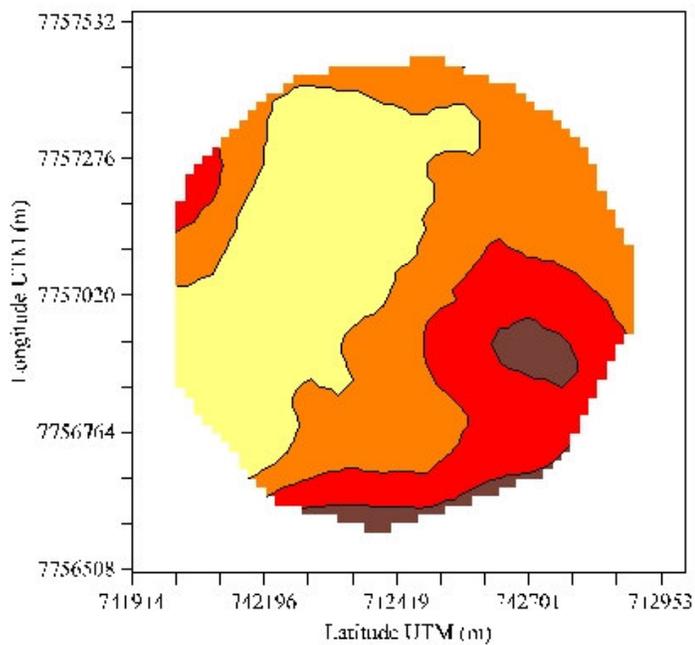
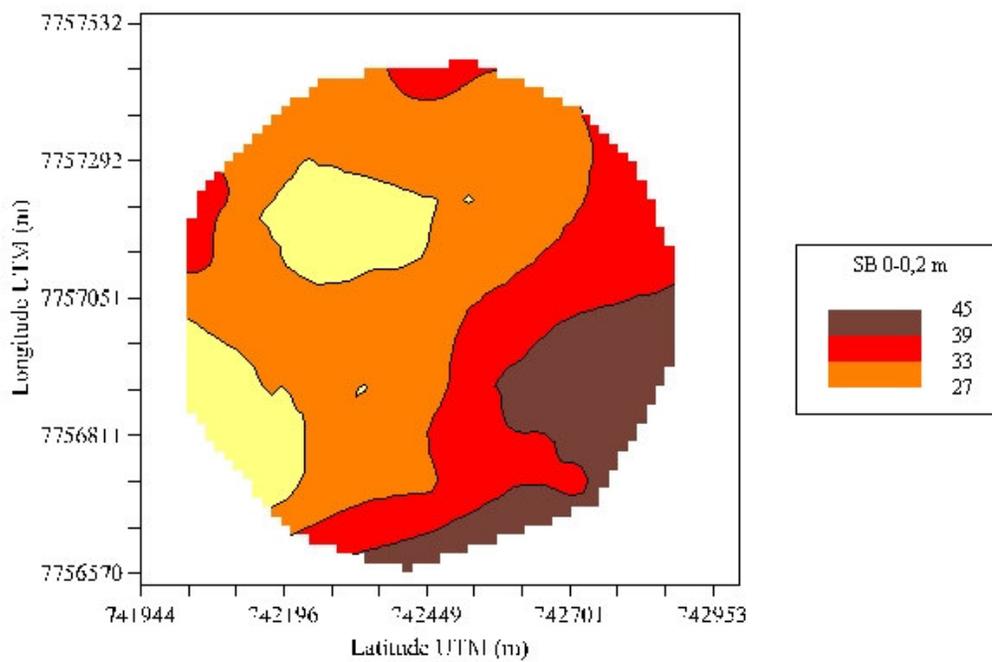


Figura 17. Mapa do Mg nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

(a)



(b)

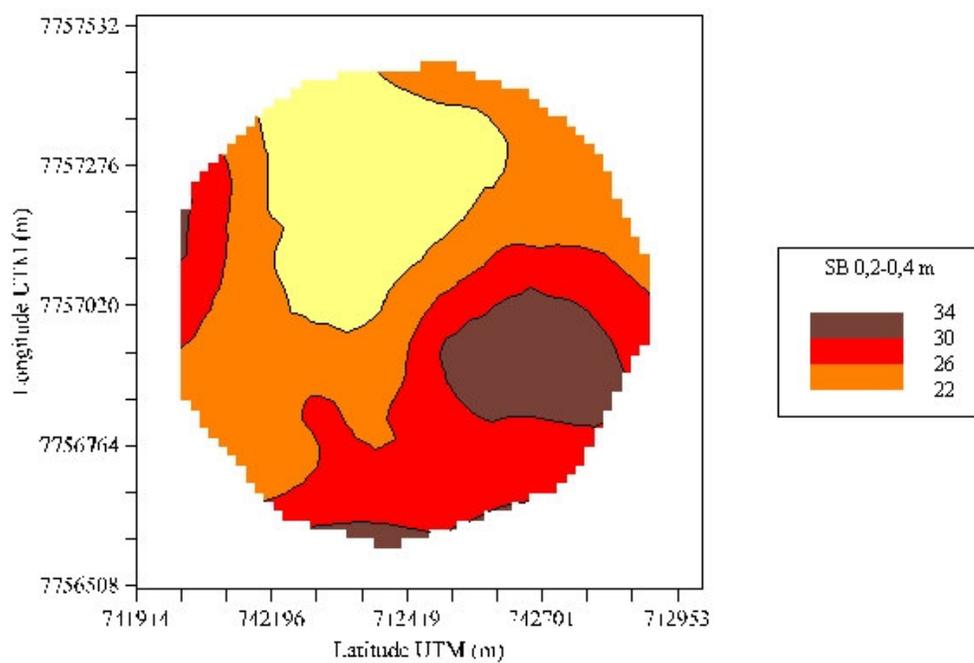
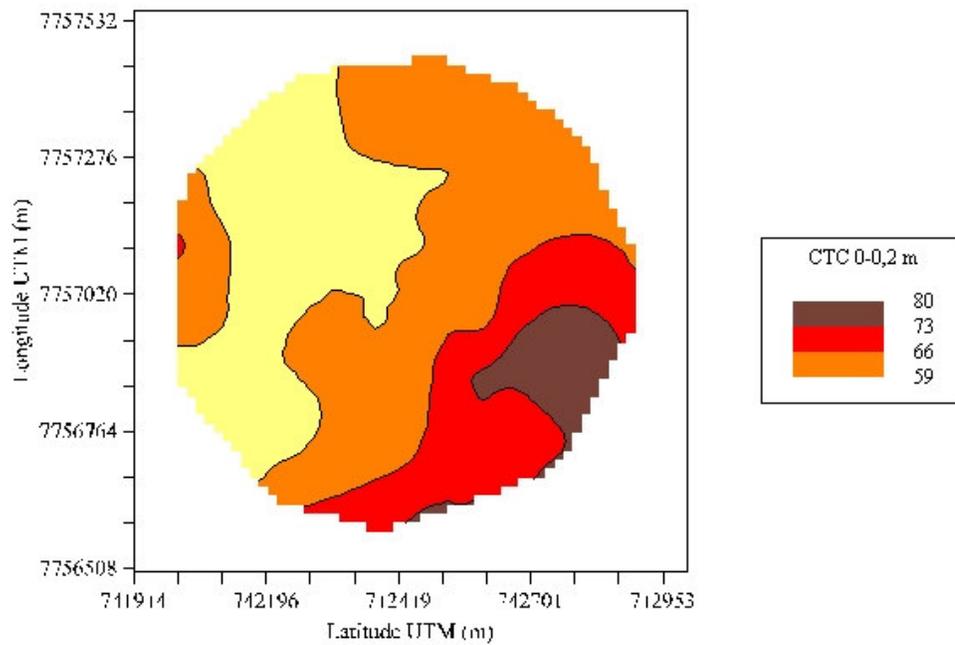


Figura 18. Mapa da SB nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

(a)



(b)

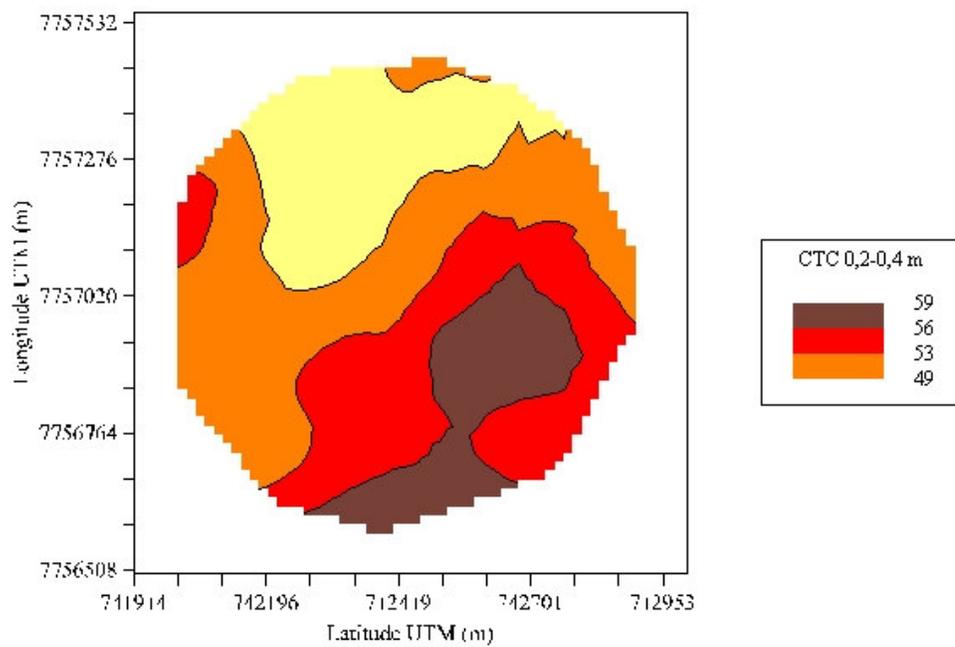
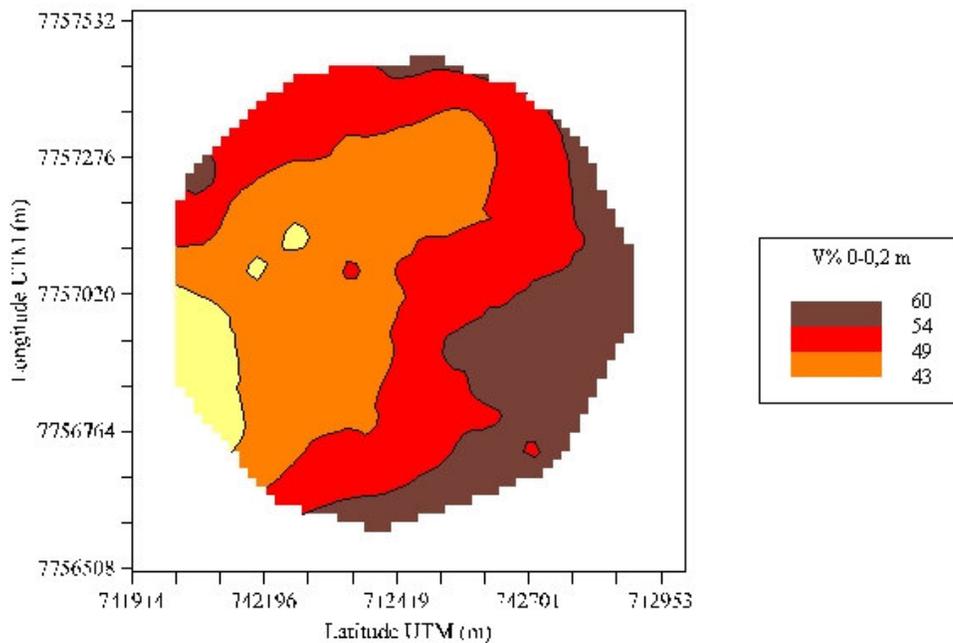


Figura 19. Mapa da CTC nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

(a)



(b)

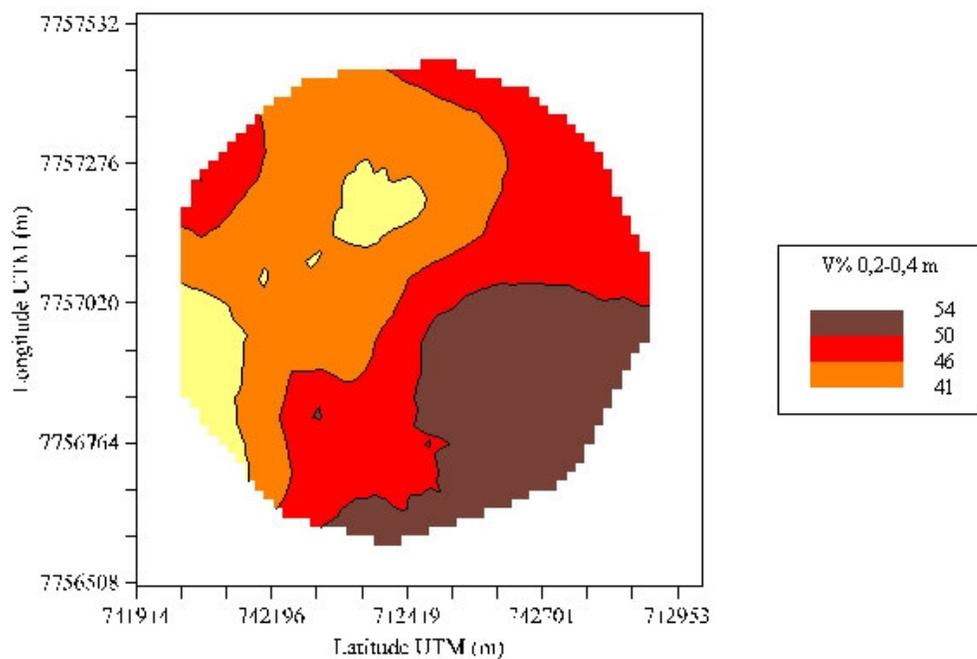


Figura 20. Mapa do V% nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

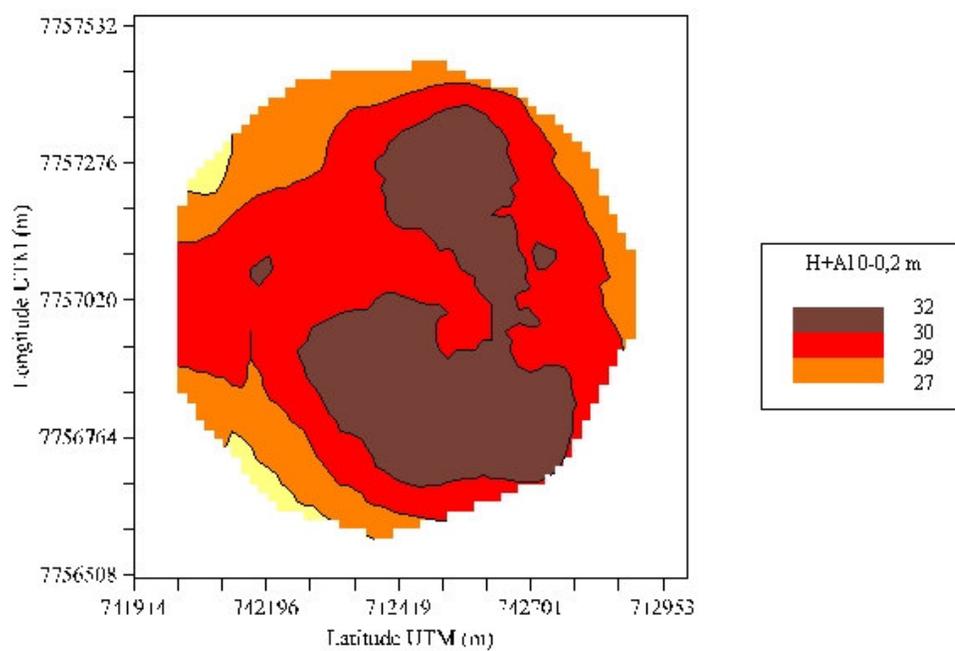


Figura 21. Mapa do H+Al na profundidade de 0-0,2m.

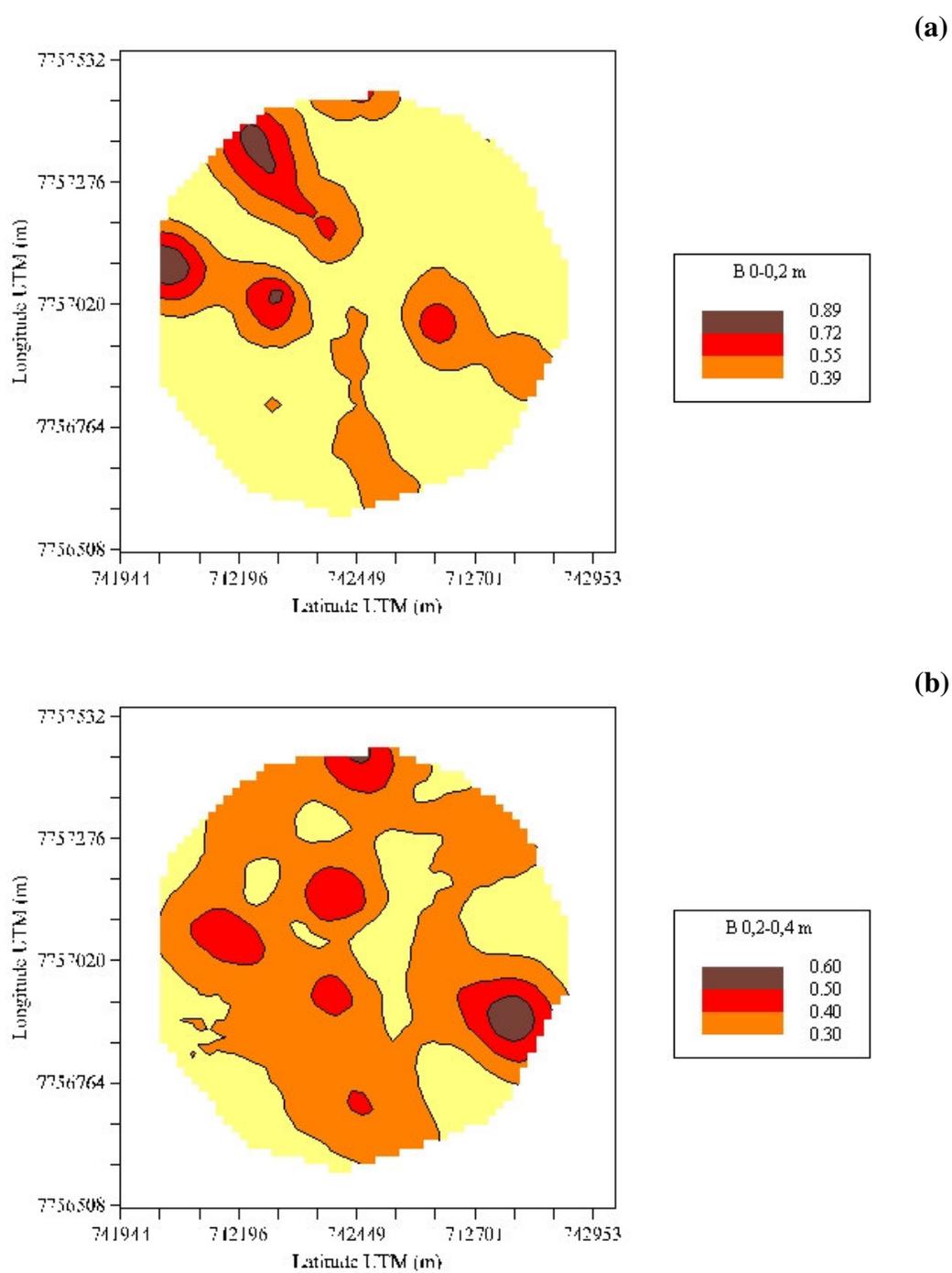


Figura 22. Mapa do B nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

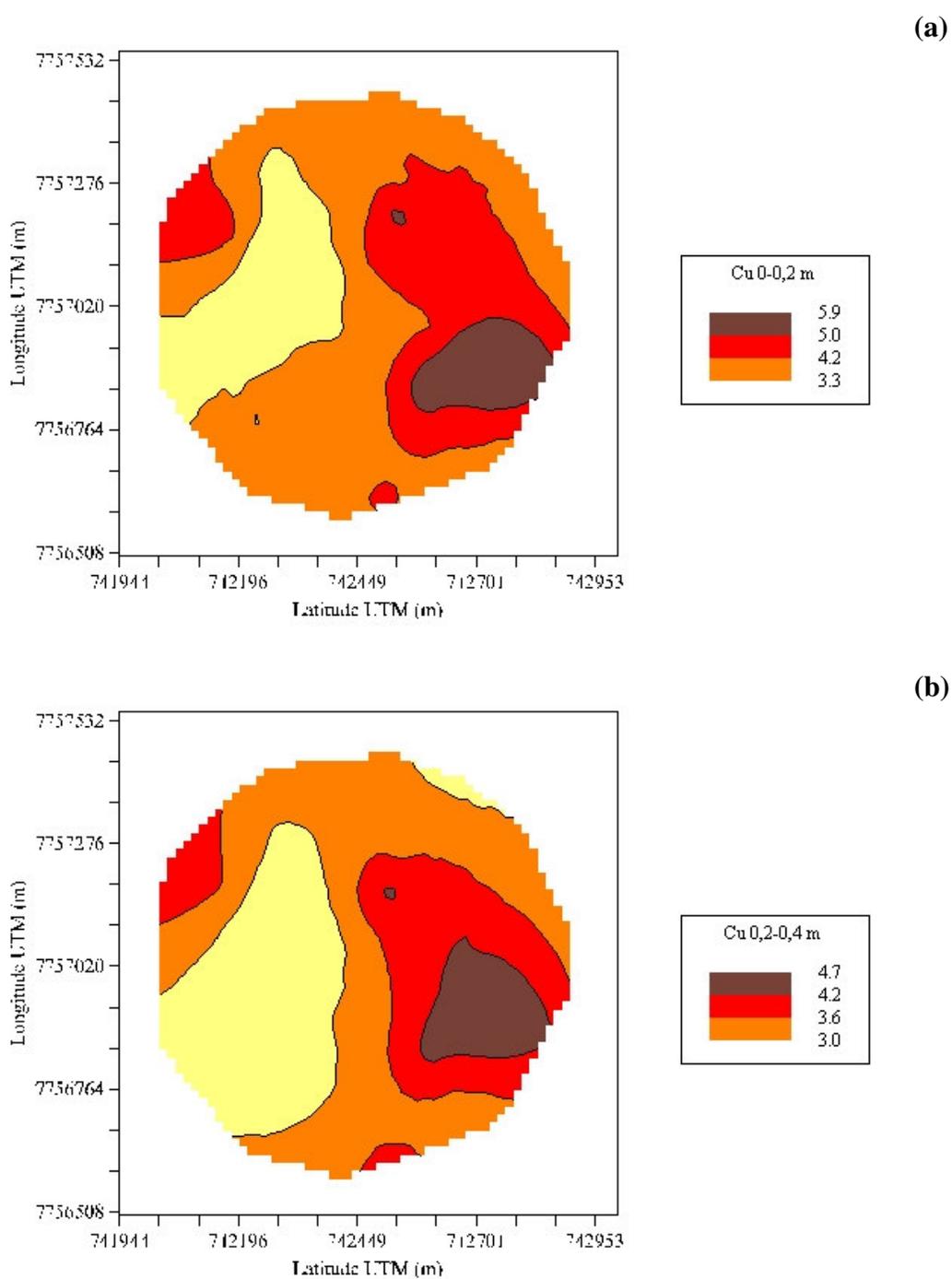


Figura 23. Mapa do Cu nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

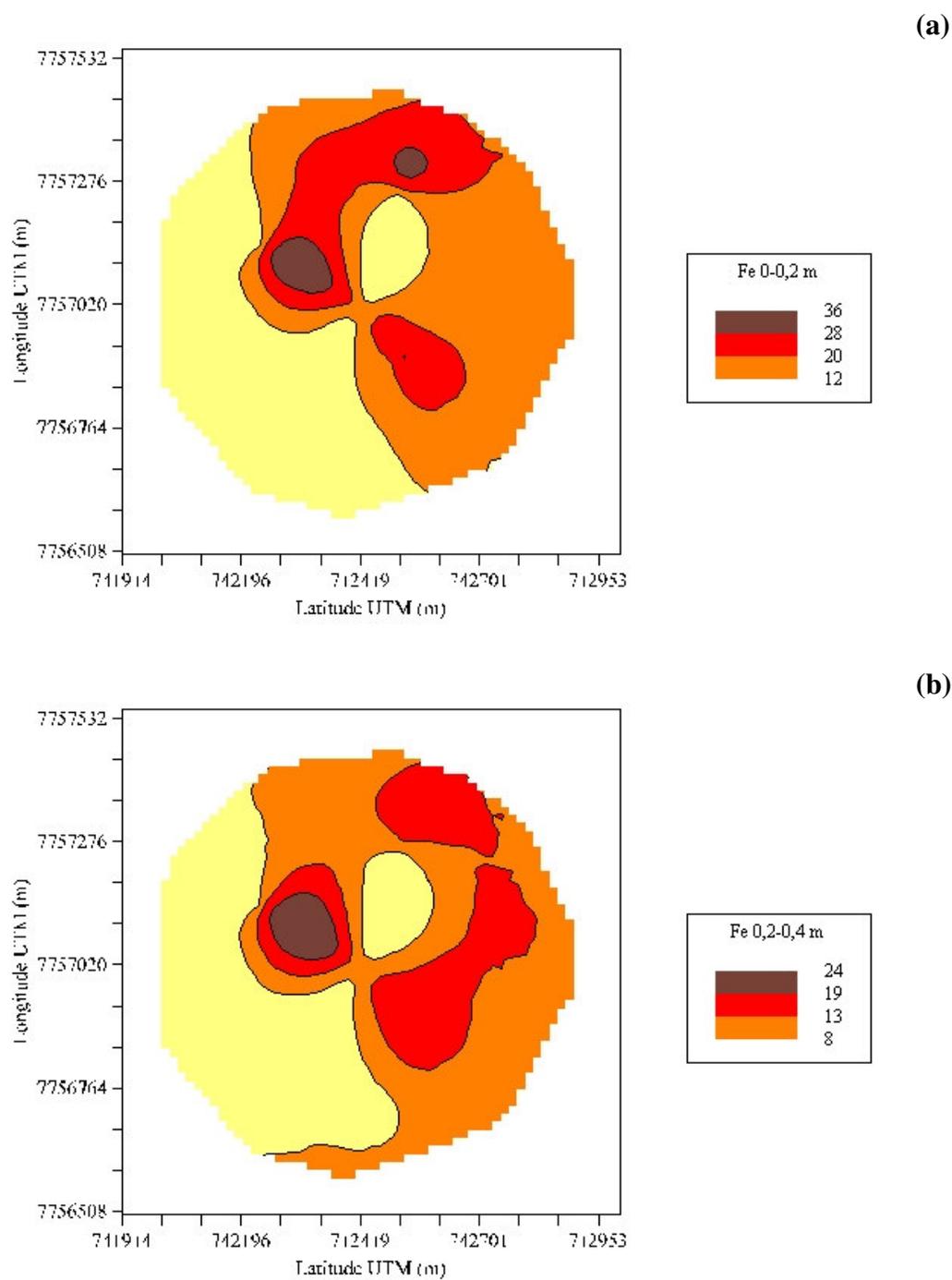


Figura 24. Mapa do Fe nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

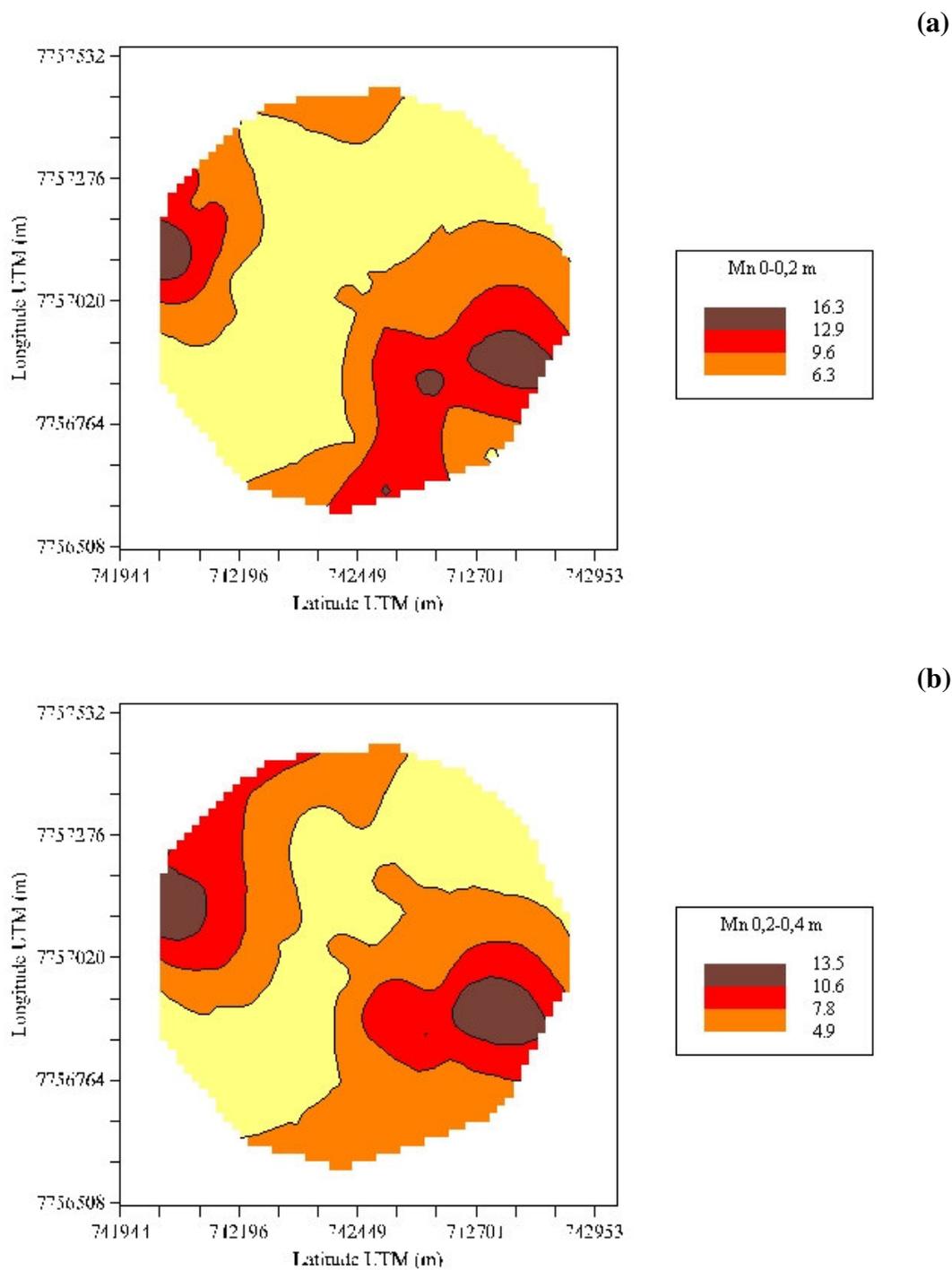


Figura 25. Mapa do Mn nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

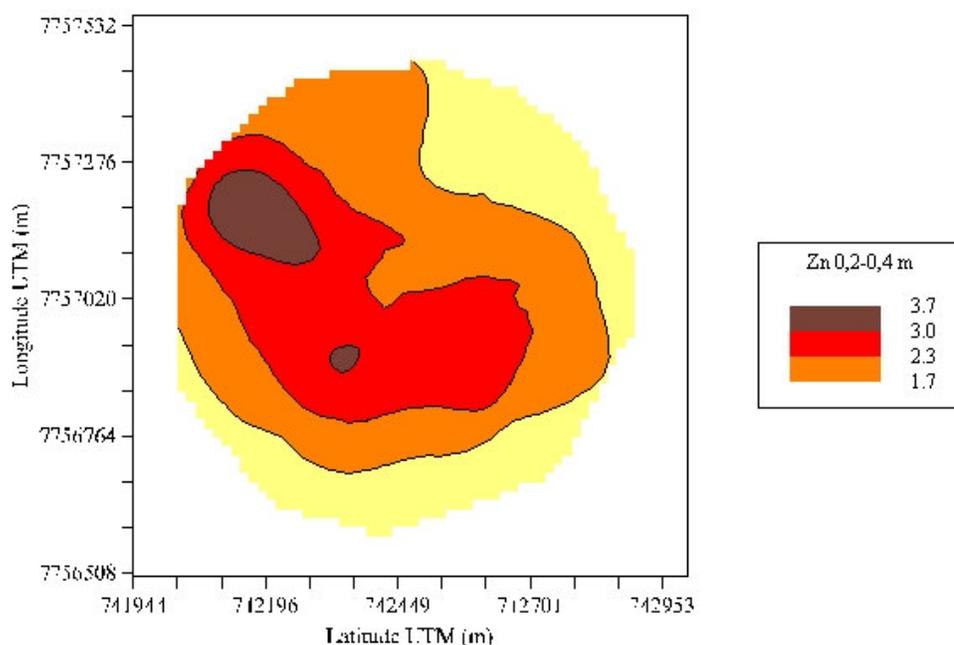


Figura 26. Mapa bidimensional do Zn na profundidade de 0,2-0,4m.

6.3.2 Parâmetros físicos do solo

De acordo com o discutido por Vieira et al. (1983) e Zimmerman e Zimmerman (1991) que consideraram a krigagem um bom interpolador foram utilizados os parâmetros variográficos obtidos na análise espacial para a elaboração dos mapas interpolados das variáveis físicas do solo pelo método da krigagem ordinária. Todos os valores interpolados por krigagem foram testados e validados pelo método da validação cruzada.

As Figuras 27 e 28 mostram a distribuição espacial da areia e da argila nas duas profundidades estudadas. Os teores ocorrem, logicamente, com correlação linear inversa nos teores de areia elevados os teores de argila são menores e vice-versa, demonstrando que os teores de silte apresentados na Figura 29, como deve se esperar, em clima tropical tem pouca significância na granulometria do solo. A distribuição dos teores de silte apresentou-se heterogênea sendo difícil uma explicação plausível.

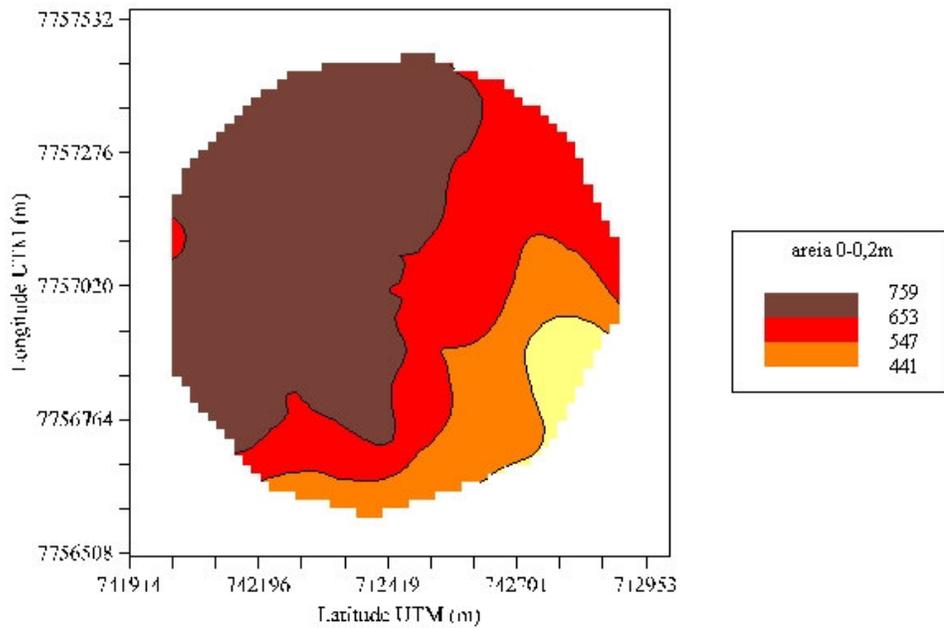
Os valores dos atributos químicos, principalmente as bases trocáveis e os parâmetros a elas relacionados, possuem forte correlação com os teores de argila. As classes com altos valores dos atributos estão localizadas nas áreas de maior conteúdo de argila.

Na Figura 30 estão expostos os valores de porosidade total (PT) e na Figura 31 encontra-se a microporosidade, evidenciando a semelhança entre eles. Os teores de poros totais estão muito próximos dos teores de microporos nas áreas com elevados valores de argila, evidenciando a importância da argila, para a determinação da porosidade total.

A Figura 32 mostra a disposição da umidade na superfície do solo demonstrando certa semelhança entre maiores teores de água e proporção de argila. O conhecimento desse parâmetro é muito importante para manejo de irrigação e da fertilidade do solo. Principalmente quando for estabelecer as zonas de manejo para a irrigação pode-se aplicar menos água nos locais onde o solo permanece úmido por mais tempo.

Na Figura 33 está exposta a interpolação da densidade do solo apenas na profundidade de 0,20-0,25m obtido por krigagem. Não foi possível um ajuste adequado do variograma experimental a um modelo teórico na profundidade de 0-0,05m, pois não foram encontrados os parâmetros necessários para se fazer a interpolação por krigagem. Isso ocorreu muito provavelmente devido à densidade do solo na superfície ter sido perturbada pelo tráfego de máquinas em função das práticas agrícolas, ou como estas ficam muitas vezes restritas às camadas superficiais, isto talvez tenha provocado uma compactação no solo, tornando-o homogêneo e portanto sem variabilidade para o atributo.

(a)



(b)

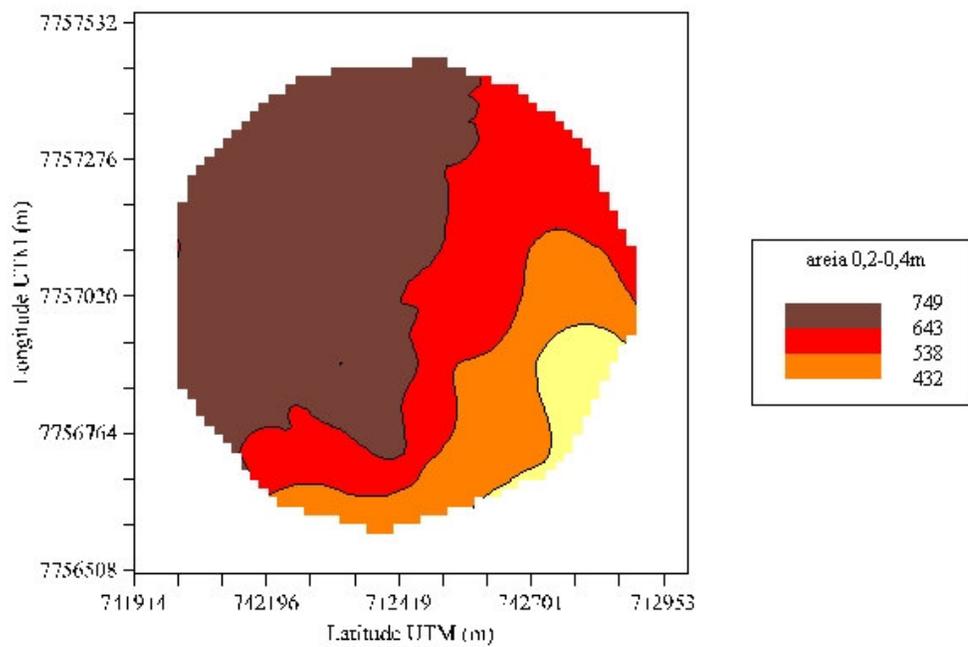


Figura 27. Mapa da areia nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

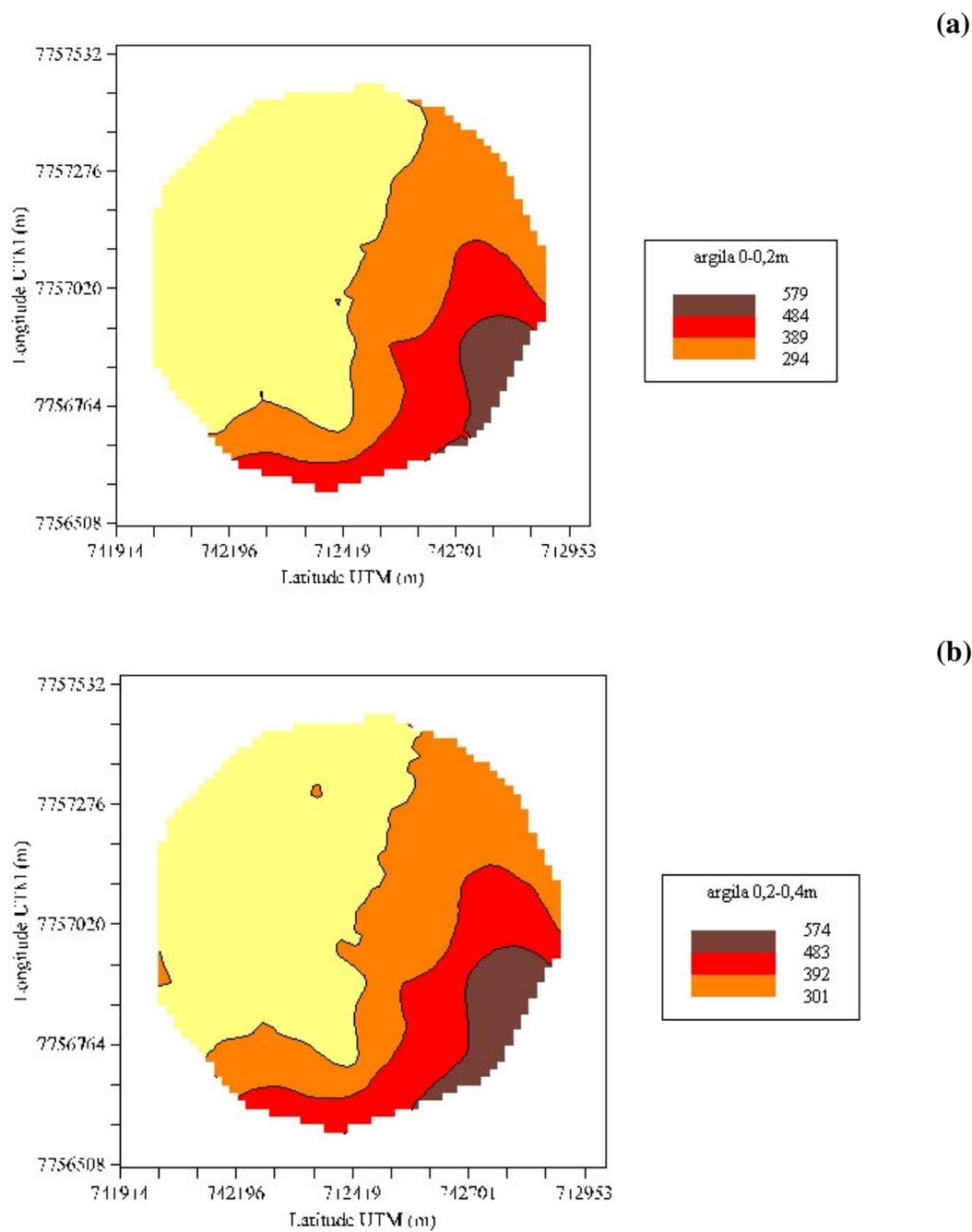


Figura 28. Mapa da argila nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

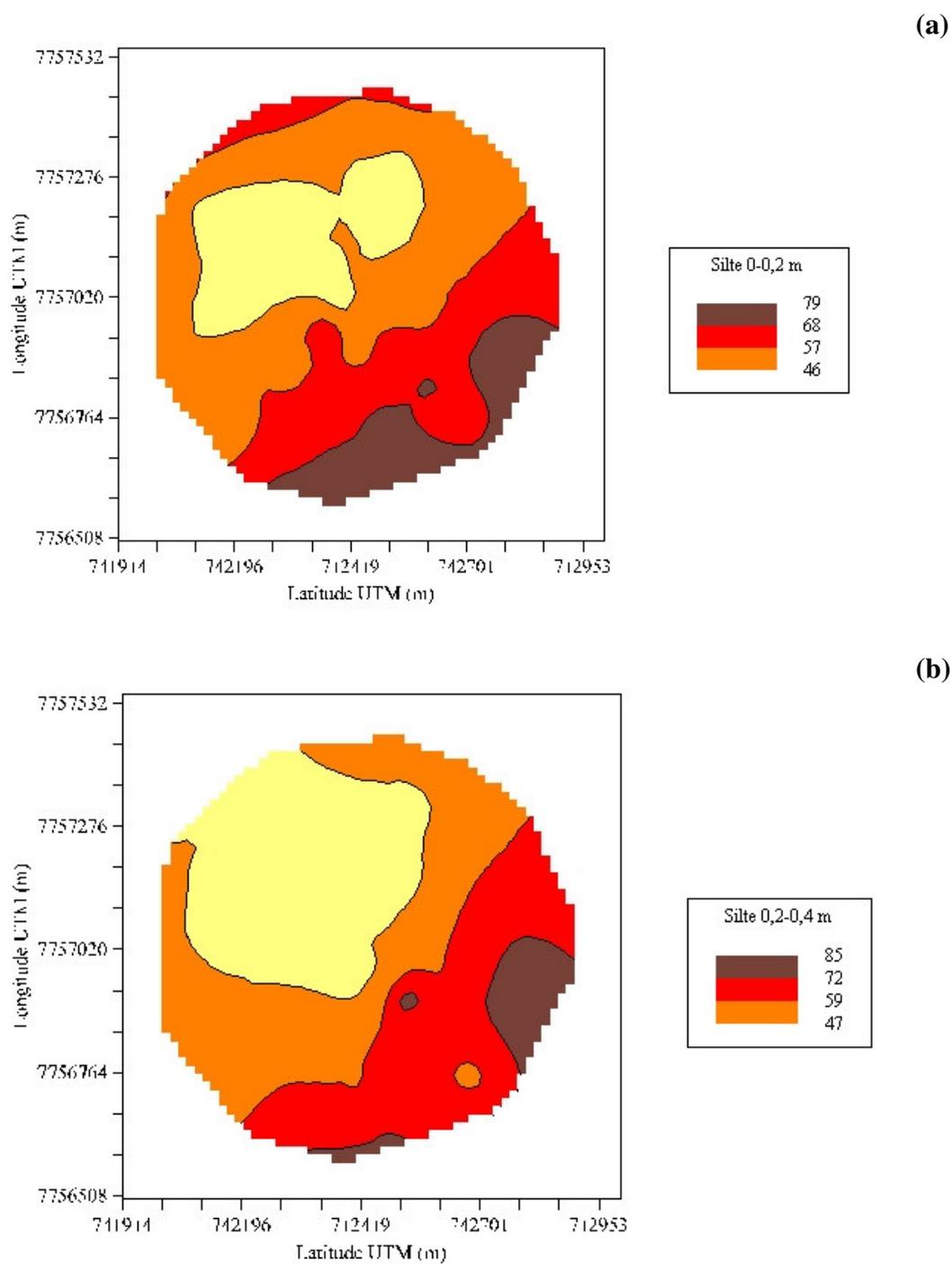


Figura 29. Mapa do silte nas profundidades 0-0,2m (a) e 0,2-0,4m (b).

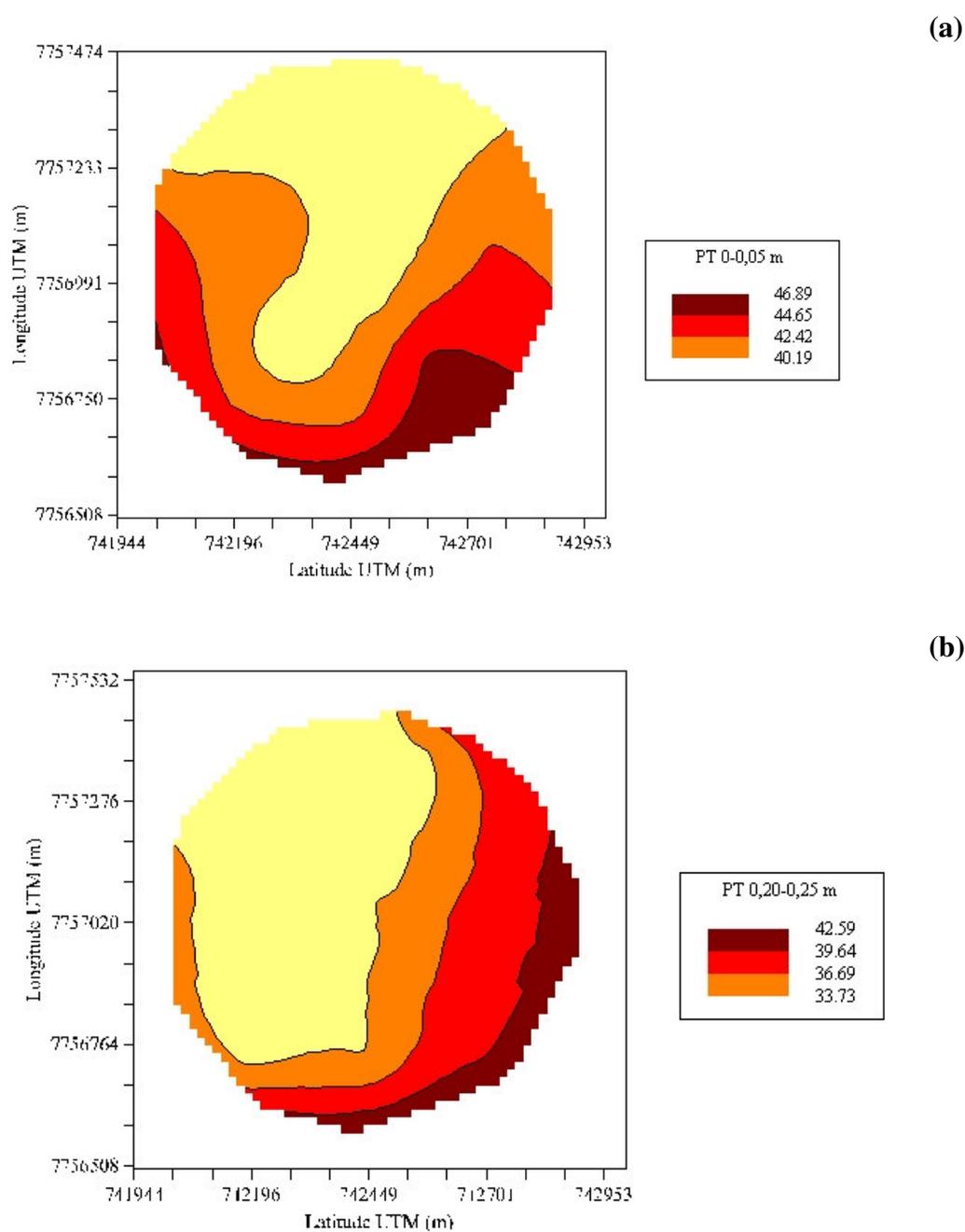
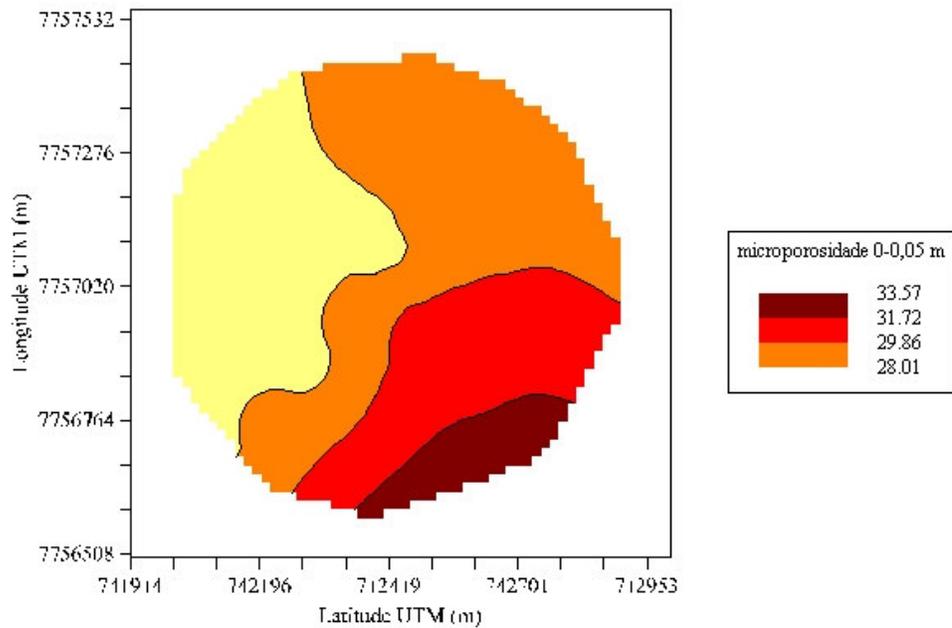


Figura 30. Mapa da PT (porosidade total) nas profundidades 0-0,05m (a) e 0,20-0,25m (b).

(a)



(b)

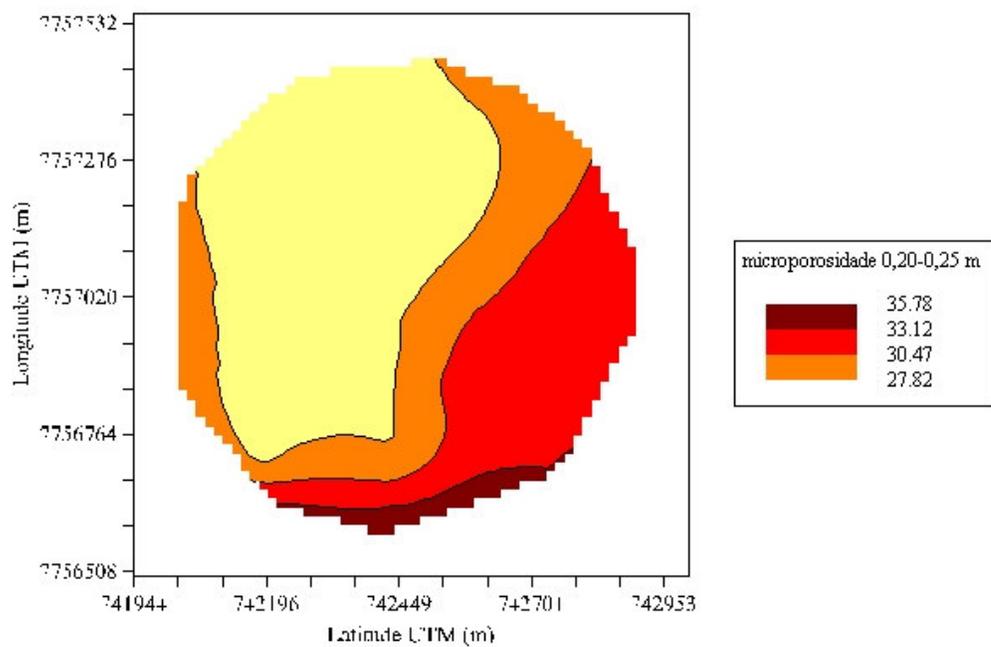


Figura 31. Mapa da microporosidade nas profundidades 0-0,05m (a) e 0,20-0,25m (b).

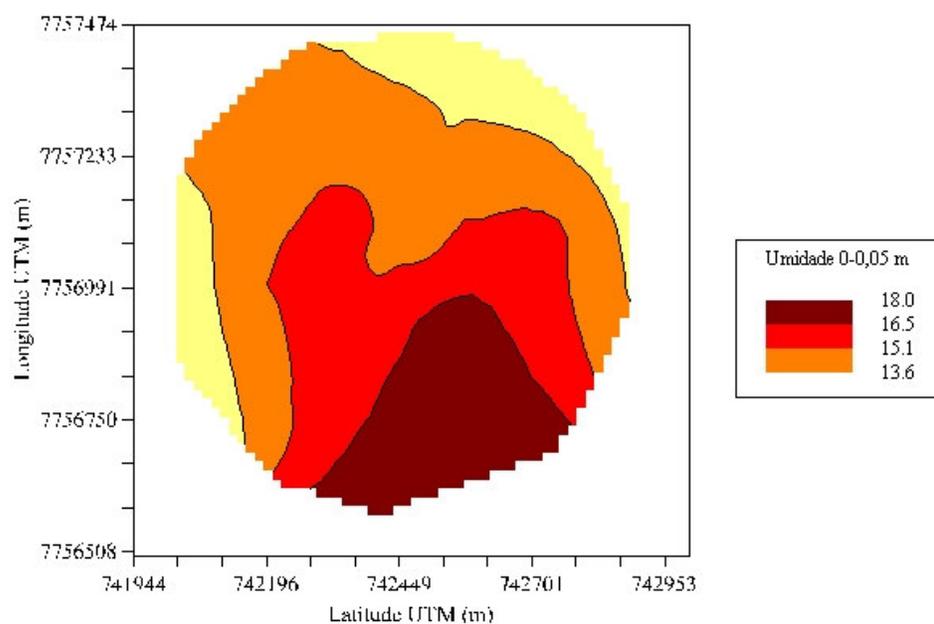


Figura 32. Mapa da umidade na profundidade de 0-0,05m.

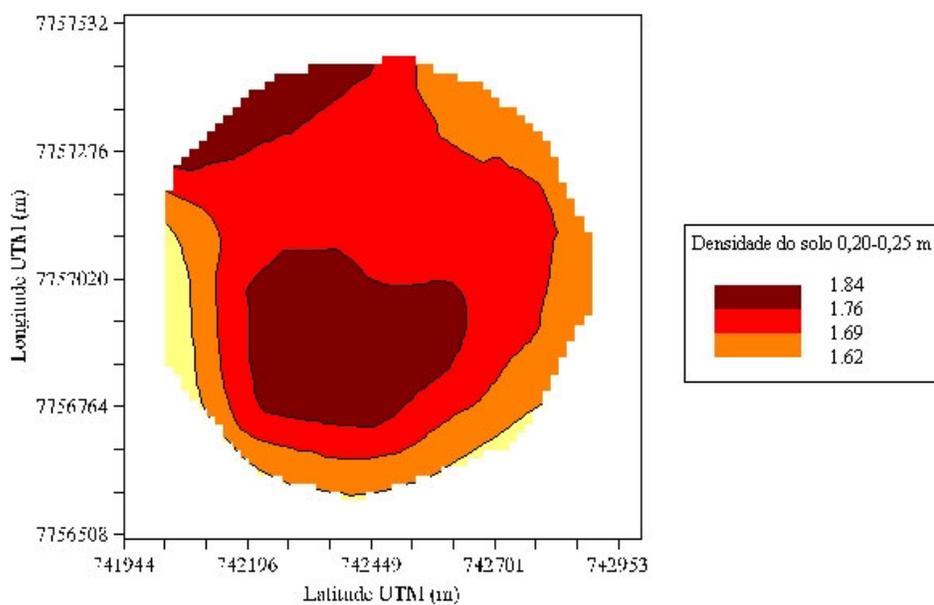


Figura 33. Mapa da densidade do solo na profundidade de 0,20-0,25m

6.4 Validação Cruzada dos dados krigados

A validação cruzada foi utilizada para definir a exatidão da krigagem como interpolador para todos os atributos químicos e físicos do solo, segundo Davis (1987), cujos parâmetros obtidos estão demonstrados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7. Validação Cruzada da krigagem dos parâmetros químicos nas duas profundidades.

Variáveis	Coefficiente de	Intercepto no	Coefficiente de	Intercepto no
	Regressão	eixo Y	Regressão	eixo Y
	profundidade 0-0,2 m		profundidade 0,2-0,4 m	
pH em CaCl ₂	0,739	1,32	0,958	0,21
MO (g dm ⁻³)	0,887	2,10	0,986	0,20
P (mg dm ⁻³)	–	–	0,656	14,10
Al (mmol _c dm ⁻³)	0,801	0,30	1,022	0,00
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	0,271	21,80	–	–
K (mmol _c dm ⁻³)	0,892	0,19	0,842	0,23
Ca (mmol _c dm ⁻³)	0,940	1,20	1,042	-0,70
Mg (mmol _c dm ⁻³)	0,959	0,40	0,883	0,70
SB (mmol _c dm ⁻³)	0,978	0,70	0,991	0,30
CTC (mmol _c dm ⁻³)	0,933	4,10	0,961	2,00
V%	0,869	6,60	1,025	-1,20
B (mg dm ⁻³)	0,612	0,12	0,857	0,039
Cu (mg dm ⁻³)	0,902	0,37	1,066	-0,22
Fe (mg dm ⁻³)	1,177	-2,70	1,129	-1,30
Mn (mg dm ⁻³)	0,854	0,99	0,899	0,58
Zn (mg dm ⁻³)	–	–	1,096	-0,24

Os coeficientes de regressão obtidos (valores próximos de 1) nas validações cruzadas, apresentados na Tabela 7, mostraram que para todos parâmetros químicos, exceto H+Al e B, a krigagem foi um bom interpolador, mostrando grande exatidão para os parâmetros interpolados, pois, os dados estimados apresentam grande similaridade com os dados reais. O intercepto no eixo Y pode ser utilizado para a construção das curvas de regressão para a correção dos dados estimados em observados.

Tabela 8. Validação Cruzada da krigagem dos parâmetros físicos nas duas profundidades.

Variáveis	Coefficiente de	Intercepto no	Coefficiente de	Intercepto no
	Regressão	eixo Y	Regressão	eixo Y
	profundidade 0-0,2 m		profundidade 0,2-0,4 m	
Areia (g kg ⁻¹)	0,963	24,3	0,966	21,9
Silte (g kg ⁻¹)	0,969	1,9	0,936	3,30
Argila (g kg ⁻¹)	0,960	11,3	0,963	11,5
	profundidade 0-0,05 m		profundidade 0,20-0,25 m	
Umidade (%)	1,046	-0,71	Não avaliado	Não avaliado
PT (dm ³ 100 dm ⁻³)	1,056	-2,24	1,061	-2,038
Microp. (dm ³ 100 dm ⁻³)	1,018	-0,49	1,028	-0,721
Macrop. (dm ³ 100 dm ⁻³)	–	–	–	–
Dens. (kg dm ⁻³)	–	–	1,146	-0,259

Os coeficientes de regressão obtidos (valores próximos de 1) nas validações cruzadas, apresentados na Tabela 8, mostraram que para todos parâmetros físicos, a krigagem foi um bom interpolador, mostrando grande exatidão para os parâmetros interpolados, pois, os dados estimados apresentam grande similaridade com os dados reais. O Y intercepto pode ser utilizados, também, para a construção das curvas de regressão para a correção dos dados estimados em reais.

6.5 Zonas de Manejo da umidade do solo

A Figura 34 mostra o mapa de retenção de água no solo dividido em duas classes. A área A abrange a região em que o solo armazena menos água, e a área B está localizada onde o solo mantém a umidade por mais tempo. Levando-se em consideração a ocorrência destas duas áreas pode ser proposto o planejamento da irrigação através da elaboração de um cronograma de tal maneira que a Área A fosse irrigada em uma noite com uma lâmina de água menor do que a Área B na noite seguinte com uma lâmina maior. Pois a irrigação no período noturno é melhor porque apresenta maior eficiência na aplicação devido à ocorrência de ventos serem menores, reduzindo a deriva, e também se pode aplicar menos água por causa da perda de água por evaporação ser menor para obter um determinado teor de

umidade. Além disso, esta proposta de trabalho é fácil de ser realizada na prática, não sendo necessário o uso de equipamentos para isso. Normalmente nas atividades práticas o agricultor relatou que já faz a adequação da lâmina de água aplicada alterando a velocidade de caminhamento do pivô central, em função das variações de pressão que ocorrem em função da posição no terreno, pois quando o sistema de irrigação está trabalhando no sentido do maior aclive a pressão é menor, conseqüentemente a lâmina de água aplicada também é menor em comparação com os locais onde o equipamento trabalha no sentido do declive. Em função destas características pode-se propor a adequação da velocidade para aplicação de uma lâmina menor na área B, onde o solo armazena mais água, e na área A trabalhar com velocidade mais lenta, para aplicar uma lâmina de água maior.

Fazendo-se esta simples adequação da lâmina de água aplicada é possível economizar água e energia para a irrigação.

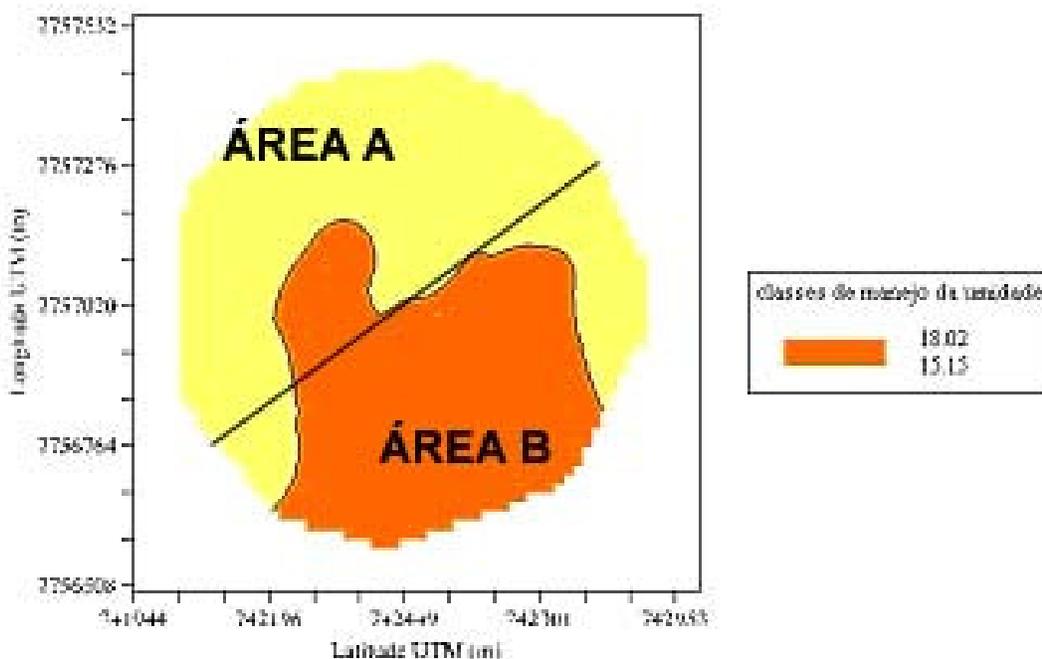


Figura 34. Mapa das zonas de manejo da umidade do solo (da irrigação).

7. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir:

- ✓ mesmo dentro da escala da área estudada, como o pivô central, ocorre variabilidade espacial tanto dos atributos químicos, quanto dos físicos;
- ✓ os atributos químicos e físicos do solo apresentaram dependência espacial de média a forte;
- ✓ a dependência espacial dos atributos químicos variou de 86 a 700m superficialmente e de 113 a 533m em subsuperfície, concluindo-se que no manejo da fertilidade superficial deve-se levar em conta a distância de 86m;
- ✓ a dependência espacial dos atributos físicos variou de 207 a 714m, concluindo-se que no manejo das variáveis físicas do solo deve-se levar em conta a distância de 207m;
- ✓ existe grande relação entre os teores de bases trocáveis e o teor de argila do solo;
- ✓ considerando-se a necessidade de fertilização do solo, pode-se estabelecer quatro regiões de aplicação a taxas variáveis, principalmente no que se refere a correção das características químicas do solo;
- ✓ o teor de argila e a umidade do solo possuem variabilidade e dependência espacial; então é interessante que se estabeleça pelo menos duas zonas de manejo da irrigação;

- ✓ a análise espacial foi um ferramenta útil para detectar e estabelecer parâmetros de planejamento da fertilização e irrigação em área irrigada sob sistema de pivô central cultivado com culturas anuais em plantio direto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. Viçosa, MG: **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.20, p.151-157, 1996.

ALVES, D.S. **Um modelo de dados para Sistemas de Informação Geográfica**. Piracicaba, Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1989. 170 p.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. Viçosa, MG: **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, n.28, p.337-345, 2004.

ARAÚJO, P.M.D.B.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo e potássio em solos das regiões oeste e do baixo açu, estado do Rio Grande do Norte. **Caatinga**, Mossoró, RN, v. 16, (1/2), p. 69-78, dez. 2003.

BATISTA, I.F. **Uso racional da água em alface desenvolvida em ambiente protegido considerando a variabilidade espacial**. 2006. 140 f. Tese(doutorado)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

BATISTA, I. F. **Variabilidade espacial da umidade do solo em irrigação por gotejamento sob cultivo protegido**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BECKETT, P.H.T.; WEBSTER, R. Soil variability: a review. **Soils Fert.**, v.34, p.1-15, 1971.

BERG, M. v. d.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de características de solos na região do Planalto Médio, RS: I. Análise da variância por amostragem aninhada. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.21, p.393-399, 1997 (a).

BERG, M. v. d.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de características de solos na região do Planalto Médio, RS: II. Análise da semivariância e da variância. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v.21, p.401-408, 1997 (b).

BRAGA, L.P.V. **Geoestatística e aplicações**. Rio de Janeiro: Depto. de Métodos Estatísticos, UFRJ, 1990. 36p.

BURGESS, T.M., WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, 1. The semi-variogram and punctual kriging. **J. Soil Sci.**, v. 31, p. 315-331, 1980.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Claredon Press, 193p.,1987a.

BURROUGH, P.A. Mapping and map analysis: new tools for land evaluation. **Soil, Use Manage**, v.3, n.1, p.20-5, 1987b.

CAHN, M. D., HUMMEL, J.W.; BROUER, B. H. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.58, p. 1240-1248, 1994.

CALIJURI, M. L. **Sistemas de Informações Geográficas II**, Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Engenharia Civil, Imprensa Universitária, Viçosa, 40 p. 1995.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas - aplicações na agricultura**. Brasília, DF: EMBRAPA, p. 3-11, 1998.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.58, p.1501-1511, 1994

CARTER, M. R. Spatial variability of porosity under reduced tillage in a homo-ferric podzol. **Can. J. Soil Sci.**, v. 75, p. 149-152, 1995.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004

CASTRO, A. G., VALÉRIO FILHO, M. Simulação da Expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. Viçosa, MG: **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 21, n. 3, p.419-26, 1997.

CASTRO, J. F. M. **Princípios de Cartografia Sistemática, Cartografia Temática e Sistema de Informação Geográfica (SIG)**, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica. Rio Claro, 40 p. 1996.

CHIEN, Y. J.; LEE, D. Y.; GUO, H. Y.; HOUNG, K. H. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west taiwan soils. **Soil Sci.** v. 162, n. 4, p. 291-298, 1997.

CICHOTA, R.; JONG van LIER, Q. Análise da variabilidade espacial de pontos amostrais da curva de retenção da água no solo. Viçosa, MG: **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.28, n.4, p.585-596, 2004.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London, Applied Science, 1979.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ V., V.H. eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Bras. de Ciênc. do Solo, v.3, p. 249-290, 2003.

CORÁ, J.E.; ARAUJO, 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. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.34, n.2, p.289-298, 1999.

COUTO, E.G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob Pivô Central no sul do estado de Mato Grosso. **Pesq. Agrop. Bras.** v.34, n. 12, p. 2321-2339, dez 1999.

CRESSIE, N. **Statistics for spacial data**. New York: John Wiley, 1991. 900 p.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. Revista ITEM (Irrigação & Tecnologia Moderna), nº 54, 2º trimestre, p. 46-55, 2002.

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, n. 27, v. 6, p. 1105-1112, 2003.

CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre as propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciên. Rural**, v.1.n.1, p.27-36, 2001.

DAVID, M. **Handbook of applied advanced geostatistical ore severe estimation**. New York: Elsevier, 1988. 216p.

DAVIS, B. M. Uses and abuses of cross-validation in geostatistics. **Math. Geol.**, v. 19, p. 241-248, 1987.

DELFINER, P.; DELHOMME, J.P. Optimum interpolation by Kriging. In: DAVIS, J.C.; McCULLAGH, M.J. (Ed). **Display and analysis of spatial data**. New York: John Wiley, 1975. p.96-114.

EASTMAN, J. R. **Idrisi: user guide**. Worcester: Clark University, 1992

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 242-246, ago. 2002.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: SNLCS/EMBRAPA, 1997. 212 p.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Ed. Técnicos, Santos et al., 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306 p.

ENGLUND E.; SPARKS, A. **Geo-EAS: users's guide**. Las Vegas: United States Environmental Monitoring Systems, 1988. não paginado.

FIORIO, P. R. , DEMATTÊ, J. A. M., MELÉM JÚNIOR, N. J., MAZZA, J. A. Potencialidade do uso da terra na microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro na região de Piracicaba. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p. 1273-80, 1999.

FIORIO, P. R. , DEMATTÊ, J. A. M., SPAROVEK, G. Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro, em Piracicaba, SP. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.35, n.4, p. 671-9, 2000.

FORMAGGIO, A. R., ALVES, D.S., EPIPHANIO, J. C. N. Sistemas de Informações Geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 16, n. 2, p.249-56, 1992.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. de. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.37, p.223-227, 2002.

GOENSE, D. The accuracy of farm machinery for precision agriculture: a case for fertilizer application. **Neth. J. Agric. Sci**, v.45, p.201-17, 1997.

GONÇALVES, A.C.A. **Variabilidade especial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação**. 1997. 118 f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. Oxford: Oxford University Press, 1997. 483p.

GRANEMANN, E. Z. Apresentação. In: GIS Brasil 97, 1997. Anais... **Revista Fator GIS**, 1997. CD ROM.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

GS+. **GS+ Geostatistical for Environmental Sciences. Version 5.0.** Michigan: Gamma Design Software, 2000.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional.** Brasília: Ministério das Minas e Energia - Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, 1988. 145 p.

GUIMARÃES, E.C.; AQUINO, L.H. de; OLIVEIRA, M.S. de; A variabilidade espacial do pH em água e da argila dispersa em água em um Latossolo Roxo no município de Lavras, MG. **Ciênc. Prát.**, v.16, n.1, p.12-17, 1992.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro - II efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Ambiental**, v.6, p.213-218, 2002.

HAKANSSON, I.; STENBERG, M.; RYDBERG, T. Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in Sweden. **Soil and Tillage Research**, v.46, p.209-223, 1998.

HUIJBREGTS, C.J. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In: DAVIS, J.C.; McCULLAGH, M.J. (Ed.). **Display and analysis of spatial data.** New York: John Wiley, 1975. p.38-53.

IPT, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo, SP). **Mapa geológico do estado de São Paulo.** Programa de desenvolvimento de recursos minerais, v.1. Elaboração: BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONÇANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S.; CREMONINI, O.A. 1981. escala 1: 500.000.

ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford Univ. Press., 1989. 600p.

JOURNEL, A.C. Constrained interpolation and qualitative information - The soft kriging approach. **Math. Geol.**, v. 18, p. 269-285, 1986.

JOURNEL, A. C.; HUIJBREGTS C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.

KANE, V. et al. Interpretation of regional geochemistry using optimal interpolation parameters. **Computers & Geosciences**, Oxford, v. 8, n. 2, p. 117-135, 1982.

KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; COLVIN, T.S.; JAYNES, D.B.; BERRY, E.C. Spatial and temporal variability in corn growth, development, insect pressure and yield. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, Minnesota. **Proceedings...** Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA, 1999, p. 101-112.

KIEHL, E.J. Manual da edafologia: relações solo-planta. São Paulo, **Agronômica Ceres**, 1979. 264p.

KING, B. A.; STARK, J. C.; TABERNA JR., J. P. In season spatial variability of potato petiole Nitrogen. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul-Minnesota. **Proceedings...** St. Paul, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 1998. p.55-66.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. P. Variabilidade espacial da granulometria do solo e da produtividade do feijão sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 1 CD-ROM.

KOFFLER, N.F., OLIVETTI, G.S., ANTONELLO, S.L., MENEZES M.G.de, ROSSETI, L.A.F.G., RODA, L.F.B.. **Sistema de análise ambiental para planejamento agrícola (SAMPA):** Versão 2.0 manual do usuário. Rio Claro, 1995. 34 p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos.** São Paulo: Ed. UNESP, 1998. 226p.

LEENAERS, H.; OKX, J. P.; BURROUGH, P. A Comparison of spatial prediction methods for mapping floodplain soil pollution. **Catena**, Amsterdam, v. 17, n. 6, p. 535-550, Dec. 1990.

LIMA, E. R. V.; KUX, H. J. H.; SAUSEN, T. M. Sistema de Informações Geográficas e Técnicas de Sensoriamento Remoto na elaboração de mapa de riscos de erosão no sertão da Paraíba. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 16, n. 2, p. 257-63, 1992.

LOPES ASSAD, M. L. Uso de um Sistema de Informações Geográficas na determinação da aptidão agrícola das terras. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 19, n.1,p. 133-9, 1995.

MACEDO, J.R.; OTONNI FILHO, T.B.; MENEGUELLI, N.A. Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo Podzólico Vermelho Amarelo de Seropédica, RJ. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.33, p.2043-2053, 1998.

MANZIONE, R. L. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em Araguari-MG.** 2002. 155 f. Dissertação(mestrado)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

MARIA, I.C. de; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo** v.23, p.703-709, 1999.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, Dec. 1963.

MATHERON, G. **Theory of regionalized variables and its applications**. Paris: Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, 1971. 211p.

McBRATNEY, A. B.; ODEH, I. O. A. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. **Geoderma**, v.77, p.85-113, 1997.

McBRATNEY, A.B., HART, G.A., McGARRY, D. The use of region partitioning to improve the representation of geostatistically mapped soil attributes. **J. Soil Sci.**, v. 42, p. 513-532, 1991.

MERCER, W.B.; HALL, A.D. Experimental error of fields trial. **Journal of Agricultural Science**, v.4, p. 107-132, 1911.

MEDEIROS, J. S.; TOMÁS, D. D. **Introdução aos Sistemas de Informações Geográficas (versão preliminar)**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 33 p. 1994.

MELLO, G.; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Ambiental**, v.10, n.2, p.294–305, 2006a.

MELLO, G.; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Ambiental**, v.10, n.2, p.315–322, 2006b.

MENDES, W.; LEMOS, R.C.; CAMARGO, M.N.; LEMOS, P.O.C.; VETTORI, L.; ALVAHYDO, R.; BARROS, H.C.; BENNEMA, J. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de São Paulo**. Contribuição à carta de solos do Brasil, Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, Comissão de Solos, p. 4-45, 1960.

MIRANDA, J.I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 425 p., 2005.

MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em: 16 mar. 2007.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV (Universidade Federal de Viçosa), 3 ed., 320 p., 2005.

MOTOMIYA, A.V.A.; CORÁ, J.E.; PEREIRA, G.T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Rev. Bras. Ciên. do Solo**. v.30, n.3, p.485-496, 2006.

MULLA, D. J.; SCHERPERS, J. S. Key process and properties for site-specific soil and crop management. The site-specific management for agricultural systems. **ASA-CSSA-SSSA**, p. 1-18, 1997.

MYERS, D. E. Interpolation and estimation with spatially located data. **Chenometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 209-228. Oct. 1991.

MYERS, J.C. **Geostatistical error management**: qualifying uncertainty for environmental sampling and mapping. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997. 571 p.

OLIVER, M.A.; WEBSTER, R. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. **International Journal of Geographical Information System**. v.3, p.313-332, 1990.

OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L.H.G.; QUEIROZ J.E.; LUNA, J.G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.23, p.783-789, 1999.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M.M.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; LIMA, J.M.; CARVALHO, R. Relações entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, v.27, n.1, p.1-9, 2003.

PEREIRA, M.A. **Viabilidade técnica e econômica da aplicação de fertilizantes em taxa variável em glebas comerciais do 2º planalto paranaense**. 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

QUEIROZ, T.M. **Desenvolvimento de um sistema automático para irrigação de precisão em pivô central**. 2007. 141 f. Tese (doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesq. Agrop. Bras**, v.35, p.929-938, 2000.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.

REETZ JR., H. F. Map making for variable rate fertilization. **Better Crops**, v.84, n.2, p. 18–20, 2000.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Rev. Bras. de Ci. do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1 p. 1-6, jan./abr. 1986.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: Mecanização e agricultura de precisão, 27, 1998, Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.1-30.

RODRIGUES, L. N.; PRUSKI, F.P.; SILVA, D.D.; MARTINEZ, M.A. GEOPIVO: modelo para simulação do desempenho de sistemas de irrigação tipo pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB,v.5, n.3, p.397-402, 2001.

ROSSI, R. E., DUNGAN, J. L., BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remote Sens. Environ.**, v.49, p. 32-40, 1994.

RUNGE, E.C.A.; HONGS, F.M. **Precision agriculture – development of a hierarchy of variables influencing crop yields**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, Minnesota, 1998. Proceedings... Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA, 1999, p. 143-158.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L.) em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 115-122, jan./mar. 1998.

SANCHEZ, R.B. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de latossolos em diferentes superfícies geomórficas sob cultivo de café, em Patrocínio, MG**. 1999. 79 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

SANTOS, A.O.; MAZIERO, J.V.G.; CAVALLI, A.C.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J.F.L.;YANAI, K. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.5, n.1, p.88-95, 2001.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, v.24, p.191-199, 2000.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 431-436, set./dez., 2001.

SOARES, J.L.; ESPÍNDOLA, C.R.; CASTRO, S.S. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.29, n.6, p.1005-1014, 2005.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; BENTO, M.J.C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 51-58, jan./abr. 2004.

SOUZA, L. da S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 21, p. 367-372, 1997.

STEIN, A., HOOGERWERF, M., BOUMA, J. Use of soil map delineations to improve (co)kriging of point data on moisture deficits. **Geoderma**, v. 43, p. 163-177, 1988.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34. n.3, p.755-760, 2004.

TAKEDA, E. Y. **Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob a videira (*Vitis vinifera*, L.) em Vitória Brasil-SP.** 2000. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção)- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, v.19, p.111-119, 1991.

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

VALERIANO, M.M.; PRADO, H. Técnicas de Geoprocessamento e de amostragem para mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.25, n.4, p.997-1005, 2001.

VERHAGEN, J.; BOUMA, J. Modeling soil variability. In: The state of site-specific management for agriculture, Madison, WI: **ASA-CSSA-SSSA**, 1997, p.55-68.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v. 51, n. 3, p. 1-75, June 1983.

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

WEBSTER, R. **Quantitative spatial analysis of soil in field**. New York: Springer-Verlag, 1985, p. 2-56.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. Statistical methods in soil and land resource survey. **Spatial Information Systems**, New York: Oxford University Press, 1990. 316p.

WEBSTER, R.; OLIVER, A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 43, n. 1, p. 177-192, Mar. 1992.

WILDING, L.P.; DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983. p.83-116.

WOLLENHAUPT, N.C.; MULLA, D.J.; CRAWFORD, C.A.G. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. **The site-specific management for agricultural systems**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1997. p.19-53.

YANG, C.; ANDERSON, G. L.; KING JR., J. H.; CHANDLER, E. K. Comparasion of uniform and variable rate fertilization strategies using grid soil sampling, variable rate technology and yield monitoring. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul-Minnesota. **Proceedings...** St. Paul, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 1998. p.675-87.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

ZIMMERMAN, D.L. Another look at anisotropy in geostatistics. **Mathematical Geology**, Dordrecht, v. 25, n. 4, p. 453-470, May 1993.

ZIMMERMAN, D.L.; ZIMMERMAN, M. B. A comparison of spatial semivariogram estimators and corresponding ordinary kriging predictors. **Technometrics**, Alexandria, v. 33, n. 1, p. 77-91, Feb. 1991.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)