

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

RELAÇÃO SOLO-RELEVO EM ÁREAS SOB CULTIVO DE CAFÉ NO
SUDOESTE DE MINAS GERAIS

Maria Gabriela Baracat Sanchez

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Setembro - 2009

S211r Sanchez, Maria Gabriela Baracat
Relação solo relevo em áreas sob cultivo de café no sudoeste de Minas / Maria Gabriela Baracat Sanchez. -- Jaboticabal, 2009
viii, 90 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009
Orientador: José Marques Júnior
Banca examinadora: André Luis Teixeira Fernandes, Marcílio Vieira Martins Filho
Bibliografia

1. Atributos físicos 2. Atributos químicos 3. *Coffea arabica* L.
4. Geoestatística 5. Multivariada 6. Zonas de manejo específico. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.73

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Maria Gabriela Baracat Sanchez – nascida aos 27 de abril de 1977, em Tupã – SP, cursou Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Viçosa – câmpus de Viçosa – UFV, de 1995 a 2001. Desde formada, é Engenheira Agrônoma da Fazenda Dois Irmãos, no município de Coromandel – MG. Iniciou, em março de 2007, o curso de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, nível de mestrado, na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal-SP.

...cada ser em si carrega o dom de ser capaz, de ser feliz...
(Almir Sater)

DEDICO

Aos meus pais, pelo amor, carinho e dedicação em todos os momentos, e ao meu irmão Rodrigo, pelo apoio, incentivo e amizade.

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, por todos os momentos em que me apoiaram.

Ao Professor Dr. José Marques Júnior, pela dedicação e, principalmente, pela compreensão durante todo o período de pós-graduação.

Ao Professor Dr. Gener Tadeu Pereira, pelos valiosos ensinamentos e sugestões a este trabalho.

Aos Professores Dr. Newton, Dr. Marcílio, Dra. Teresa e Dr. André, pelas sugestões dadas a este trabalho.

À Fazenda Dois Irmãos, pelo apoio à pesquisa e total seriedade com o projeto.

Aos amigos Lívia, Diogo e Sammy, pelo companheirismo e dedicação durante todo o meu curso de pós-graduação.

À aluna de graduação Iara, pelo apoio nas análises de laboratório.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos.

Ao meu namorado Jehan, pela paciência, confiança e dedicação durante todos esses anos.

A todos os meus amigos dentro e fora da universidade.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	01
1.1 Introdução	01
1.2 Revisão de Literatura.....	03
1.2.1 A cultura do café	03
1.2.2 Modelos de paisagem	04
1.2.3 Variabilidade espacial de atributos do solo	06
1.2.3.1 Atributos físicos do solo	06
1.2.3.2 Atributos químicos do solo	09
1.2.4 Estatística clássica, geoestatística e multivariada.....	10
1.3 Referências	14
CAPÍTULO 2. MAPEAMENTO DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SOB CULTIVO DE CAFÉ NA REGIÃO SUDOESTE DE MINAS GERAIS.....	25
2.1 Introdução	27
2.2 Material e Métodos.....	28
2.3 Resultados e Discussão.....	31
2.4 Conclusões	40
2.5 Referências.....	40
CAPÍTULO 3- IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ZONAS DE MANEJO ESPECÍFICO PARA PREDIZER A PRODUTIVIDADE DE CAFÉ COM BASE NOS ATRIBUTOS DO SOLO.....	45
3.1 Introdução	47
3.2 Material e Métodos.....	48
3.3 Resultados e Discussão.....	53
3.4 Conclusões	59
3.5 Referências.....	60
APÊNDICE	64

RELAÇÃO SOLO-RELEVO EM ÁREAS SOB CULTIVO DE CAFÉ NO SUDOESTE DE MINAS GERAIS

RESUMO – Os atributos físicos, químicos e de produção apresentam dependência espacial, e a distribuição dos mesmos é dependente do relevo. O mapeamento da distribuição espacial dos atributos físicos, químicos e de produtividade permite identificar zonas de manejo específico da cultura do café. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos, identificando e mapeando zona de manejo específico, para prever a produtividade do café, com base nos atributos físicos e químicos do solo. O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. A área produziu, exclusivamente, café nos últimos 18 anos e, atualmente, está plantada a variedade *Coffea arabica* (Catuaí), com espaçamento de 4,0 x 0,75 m. Na área escolhida, com representatividade fisiográfica regional, estabeleceu-se uma malha, com intervalos regulares de 50 m, perfazendo um total de 145 pontos nos 31,7 hectares. Em cada ponto do cruzamento desta malha, foram retiradas amostras de solo, nas profundidades de 0,0 - 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, para a avaliação dos atributos físicos, granulométricos e químicos do solo. Uma unidade amostral composta por nove plantas foi construída em cada ponto amostral para a coleta dos atributos qualitativos e quantitativos do rendimento da cultura (produção, porcentagens de grãos nas peneiras 16; 17; 18 e do tipo de bebida). A área de estudo foi intensamente amostrada para a avaliação da espessura do *solun*, realizando tradagens profundas por meio das quais se estabeleceu o limite de 1,6 m para presença de cascalho, o que permitiu a divisão da área em dois compartimentos. Efetuou-se a análise estatística, geoestatística e multivariada para a análise dos dados. Todos os atributos físicos estudados, nas duas profundidades, apresentaram dependência espacial. Pequenas variações nas formas do relevo condicionaram variabilidade diferenciada desses atributos. Por meio de resultados da análise multivariada, o estudo da variância dos atributos do solo pôde ser resumido no estudo de somente alguns atributos, como teor de argila e teor de ferro. Nos locais da

paisagem com maiores teores de argila e ferro, foram encontrados os grãos de maior qualidade de bebida e produção. No entanto, somente com base nos teores de argila e ferro do solo foi possível estimar 18,6% da porcentagem de grãos correspondentes à peneira 18. Assim, os atributos teor de argila e teor de ferro no solo podem ser utilizados como indicadores ambientais, auxiliando na identificação de zonas de manejo específico e predição de atributos do café.

Palavras-chave: atributos físicos, atributos químicos, *Coffea arabica* L. geoestatística, multivariada, zonas de manejos específicos

SOIL - RELIEF RELATION IN AREAS UNDER CULTIVATION OF COFFEE IN THE SOUTHWEST OF MINAS GERAIS

Summary - The physical, chemical and production attributes present spatial dependence and the distribution of the same ones is dependent of the relief. The mapping of the spatial distribution of the physical, chemical and productivity helps to identify areas of specific management of the coffee crop. The objective of this study work was to evaluate the space variability of the physical attributes identifying and mapping area of specific handling to predict the productivity of the coffee with base in the physical and chemical attributes of the soil. The soil of the study area was classified as Oxisol. The area produces exclusively coffee in the last 18 years, and is currently planted the variety *Coffea Arabica* (Catuaí) with spacing of 4.0 x 0.75 m. In the chosen area, with regional physiographic representativeness, a grid was established, with regular intervals of 50 m, making a total of 145 points on 31.7 hectares. In each point of the crossing of this grid, soil sample were taken in the depths of 0.0 - 0.20 m and 0.20 - 0.40 m, for the evaluation of physical, granulometric and chemical attributes. A sample unit consistses of nine plants were built at each sample point for collection of qualitative and quantitative attributes of yield (production, percentage of grain in the sieves 16, 17, 18 and the type of drink). The study area was intensively sampled to assess the thickness of solun, which established the limit of 1.6 m for the presence of gravel which allowed the division of the area into two compartments. Was made the statistical analysis, geostatistical and multivariate data analysis. All physical attributes studied at both depths, showed spatial dependence. Small variations in the forms of the relief conditioned differentiated variability of these attributes. The results of multivariate analysis showed that the study of variance of soil attributes can be summarized in the study of only a few attributes, such as clay content and iron content. In places with higher clay and iron were found the highest quality crop coffee and beverage production. Being that only on the basis of clay and iron from the soil and can be estimated 18.6% of the percentage of the corresponding grain sieve 18. Thus, the attributes and clay

content and Fe content in the soil can be used as environmental indicators to aid in the identification of management zones and prediction of specific attributes of coffee.

Keywords: areas of specific management practices, chemical attributes, physical attributes, *Coffea arabica* L. geostatistics, multivariate analysis

Capítulo 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 Introdução

O café chegou ao Brasil, mais precisamente em Belém, no ano de 1727. Devido às condições climáticas, o cultivo do café espalhou-se rapidamente, com produção voltada para o mercado doméstico, ou seja, mercado consumidor interno. Em sua trajetória pelo Brasil, o café passou pelo Maranhão, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Minas Gerais. Em curto espaço de tempo, estendeu-se de uma posição relativamente secundária para a de produto-base da economia brasileira. Seu desenvolvimento foi independente, ou seja, utilizaram-se apenas de recursos nacionais.

Hoje, o Brasil é o maior produtor, com 50,25 milhões de sacas na safra de 2008/2009, e o principal exportador, com aproximadamente 28 milhões de sacas exportadas em 2008 (ABIC, 2009). O consumo interno brasileiro de café continua crescendo. No período compreendido entre novembro de 2007 e outubro de 2008, a ABIC registrou um consumo de 17,66 milhões de sacas, representando um acréscimo de 3,21% em relação ao período anterior correspondente (2006 e 2007), cujos índices apontam para que havia sido de 17,11 milhões de sacas. Isso significa que o País ampliou seu mercado interno de café em 550 mil sacas nos 12 meses considerados. Para 2009, a ABIC projeta um crescimento em torno de 3,0%, o que elevaria o consumo para 18,2 milhões de sacas.

BALASTREIRE (2002c) relatou que são indispensáveis estudos preliminares sobre a adoção ou não do Sistema de Agricultura de Precisão. Se a resposta for positiva, os ganhos serão conclusivos, uma vez que os resultados da aplicação desses estudos terão a capacidade de melhorar a produtividade e a qualidade dos grãos de café, bem como a otimização de custos. Nesse sentido, são de relevante importância os estudos de variabilidade dos atributos do solo que interferem na produtividade da cultura do café e na qualidade de seus grãos.

Classes taxonômicas de solos têm como objetivo identificar corpos de solos mapeados, pressupondo-se certa homogeneidade em vários de seus atributos, os quais são resultados da interação dos fatores de formação do solo. Já, em grandes manchas de solos, em áreas tropicais apresentadas pelos levantamentos de escalas pequenas, conforme aponta BUOL (1990), a variabilidade dos atributos do solo foi mascarada, dando um falso sentido de uniformidade, contribuindo, de certa maneira, para difundir essas ideias entre os agricultores.

MULLA & MCBRATNEY (2002) asseguram que as mudanças dos atributos do solo encontram-se relacionadas às pequenas variações do relevo, que afetam o transporte e o armazenamento de água entre e dentro dos perfis de solos. Apesar disso, esses autores afirmam, que no nível de série dos mapas de solos dos EUA, com escala de 1:24.000, pode ser encontrado com até 40% de compreensão; ou seja, porções de solos desiguais daquele tido como mais representativo constam com o nome na legenda dos mapas. Contudo, sabendo-se que mapas de solo em nível de série podem não ser aceitáveis para caracterizar variações de uma vertente, vários autores têm indicado a utilização de métodos de amostragem, para a caracterização e a representação da variabilidade dos atributos dos solos, empregando transeções, ou malhas, com espaçamento regular, permitindo a aplicação de técnicas geoestatísticas (MULLA & MCBRATNEY, 2002; DI et al., 1989; ROGOWSKI & WOLF, 1994).

Outros autores (MARQUES JR & LEPSCH, 2000; SOUZA et al. 2004) indicaram ainda que variações pequenas na topografia expressadas por suas formas, capazes de interferir no armazenamento e movimento de água, fossem também mapeadas, como auxílio à confecção do mapa de detalhamento dos atributos do solo, cujas informações poderão ser cruzadas com mapas de atributos das plantas cultivadas.

As diferentes formas do relevo têm a capacidade de auxiliar na classificação e na demarcação dos corpos de solos de maneira qualitativa. TROEH (1965), levado pela precisão de transformar dados qualitativos de paisagem em dados quantitativos, desenvolveu modelos matemáticos para mensurar os compartimentos de uma encosta. Hoje, técnicas de modelos de elevação digital do terreno permitem visualizar e delimitar as mais variadas formas de paisagem, auxiliando na demarcação dos solos

e na compartimentação da paisagem. Com isso, observa-se uma importante ferramenta que, associada a mapas de variabilidade espacial dos atributos dos solos, ajuda na interpretação dos dados geoestatísticos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos, identificando e mapeando zona de manejo específico, para prever a produtividade do café com base nos atributos físicos e químicos do solo.

1.2 Revisão de Literatura

1.2.1 A cultura do café

A espécie *Coffea arabica* L. surgiu nas regiões montanhosas da Etiópia, África, com latitudes de 6 a 9° N , longitudes de 34 a 40° e altitudes entre 1.000 e 2.500 metros. Nessas regiões, a temperatura permanece entre 20° C, há precipitações acima de 1.600 mm anuais e um período seco de 3 a 4 meses.

Segundo Carvalho et al. (1997), a produção mundial de café está direcionada ao cultivo das espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre. No Brasil, as principais cultivares de café arábica são: Acaiá, Mundo Novo, Catuaí, Bourbon e Rubi. Já para o café robusta, os principais cultivares são: Apotã e Conillon.

O Brasil é o maior produtor, exportador e o segundo maior consumidor mundial de café. A modernização da cafeicultura, aliada à crescente pressão internacional pela preservação da biodiversidade, gera uma necessidade de desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (ALVARENGA & MENDES, 2003).

A cultura de café ocupa uma grande área no território brasileiro. Atualmente, o Estado de Minas Gerais é o maior produtor do Brasil, com mais de 50 % da produção total. Ressalte-se que grande parte da área cultivada, originalmente, era ocupada por vegetação de cerrado. Essa região tem seu destaque pelas excelentes condições topográficas e climáticas favoráveis à cafeicultura (TEODORO et al., 2003). Nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, a cafeicultura tem sido desenvolvida de

forma acelerada e com tecnologia avançada, sendo mecanizada em todas as suas etapas, desde a fase de instalação até a fase de produção.

O cafeeiro da espécie *Coffea arabica* tem oscilações de produções a cada duas safras, o que se denomina de ciclo bienal de produção, ou seja, o café é propenso a frutificar em excesso, o que ocasiona desde um depauperamento de nutrientes na planta, à restrição do crescimento vegetativo, assim como à redução de gemas disponíveis para o florescimento no ano seguinte. Quando os nutrientes das folhas e ramos são transferidos para os frutos, os ramos vegetativos frequentemente secam. A morte dos ramos é acompanhada pela morte das raízes, o que limita a capacidade de recuperação da planta (WILSON, 1985b).

1.2.2 Modelos de paisagem

Estudos das relações solo-geomorfologia, a partir de trabalhos de TROEH (1965), RUHE et al. (1967), DALRYMPLE et al. (1968) e DANIELS et al. (1971), tiveram grande avanço com a aplicação dos conceitos de modelos de paisagem, que levam em consideração pequenas formas de relevo. Esses estudos ajudaram a melhorar o grau de pureza dos levantamentos de solos, permitindo identificar e mapear áreas de solos mais homogêneas.

Para vários autores (TROEH, 1965; RUHE et al., 1967; DALRYMPLE et al., 1968 ; DANIELS et al., 1971), a paisagem pode ser delimitada e delineada segundo modelos predeterminados, definindo ambientes diferenciados, associados, na maioria das vezes, à condição de movimentação de água no perfil e drenagem (perda ou retenção de água), condicionando ambientes erosionais ou deposicionais, onde o declive pode ser considerado o fator principal, influenciando as características físicas e morfológicas dos solos e suas interações.

Segundo RUHE (1975), cada solo ocupa um espaço tridimensional e possui limites que podem ser definidos e mapeados, isto é, a distribuição geográfica do solo nas paisagens é a paisagem do solo, ou pedoforma.

YOUNG et al. (1999) asseguram que, no ambiente deposicional dos sedimentos, a pedoforma e os processos pedogeomórficos operantes são os determinantes da variabilidade dos atributos do solo, e que o conhecimento da variabilidade é de grande importância para entender e interpretar a pedogênese.

Segundo HAMMER et al. (1995), os modelos de elevação digital do terreno são a representação dos dados de elevação em uma grade de intervalos regulares que, associados aos mapas de variabilidade, constituem-se ferramentas de grande valor para visualizar e entender as relações de causa e consequência da distribuição espacial dos atributos do solo. O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é capaz de dar suporte à classificação multivariada de elementos da paisagem, fornecendo uma divisão em segmentos de diferentes setores topográficos (VALERIANO, 2003).

O movimento da água e o transporte superficial de sedimentos do solo alteram, frequentemente, os solos de uma encosta. Ressalta-se que tais processos são controlados pela geometria da superfície de uma encosta (PARK & BURT, 2002). Corroborando essa afirmação, recorreremos aos estudos de DANIELS & HAMMER (1992), que afirmam que, a partir da interação entre a hidrologia e as formas de paisagem, resultam os solos. Deste modo, a água move-se em áreas convexas, por meio de fluxos de água superficiais divergentes. Assim, a água que percola em áreas convexas é menor do que a que o faz em superfícies lineares.

Dentre os diversos fatores que influenciam na variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo, SOUZA et al. (2001) citaram a posição do terreno na paisagem (declividade e forma do relevo) como uma característica de grande influência. Os autores acrescentaram, ainda, que a forma da paisagem pode gerar rotas preferenciais para o fluxo de água, podendo afetar a variabilidade espacial das propriedades do solo.

MOORE et al. (1993) estudaram a relação do relevo com os processos erosivos e hidrológicos, chegando à conclusão de que a topografia pode explicar a variação do pH, fósforo e espessura do horizonte A. POCAY (2000), analisando a variabilidade espacial de atributos químicos e granulométricos de Latossolos Vermelhos

eutroféricos (LVef), no município de Jaboticabal (SP), descobriu maior variabilidade espacial para estes atributos, em pedoformas erosionais e menor nas deposicionais. SOUZA et al. (2003) avaliaram, também, a relação entre formas de paisagem e erosão, em uma pedoforma côncava e outra linear, em um LVef e concluíram que a maior variabilidade ocorreu na pedoforma côncava.

Dessa maneira, o estudo dos modelos de paisagem, integrado com a distribuição espacial de parâmetros químicos, físicos e mineralógicos do solo, pode oferecer importantes contribuições para identificar locais específicos e explicar produtividade de culturas, podendo atuar como moldura didática muito útil para auxiliar na transferência de conhecimentos para áreas afins.

1.2.3 Variabilidade espacial de atributos do solo

1.2.3.1 – Atributos físicos do solo

A produção e a qualidade dos frutos são influenciadas pela variabilidade dos atributos do solo (STAFFORD et al. 1996). Com isso, o estudo da variabilidade dos atributos do solo é de fundamental importância para a definição de um manejo localizado, visando a maior produtividade com qualidade e custos reduzidos (TRANGMAR et al., 1985).

Outros autores têm estudado a variabilidade dos atributos do solo em superfícies geomórficas (MARQUES JÚNIOR, 1995; MEIRELLES, 1998; SANCHEZ, 1999; CUNHA, 2000), estabelecendo correlações entre a variabilidade dos solos e as pedoformas e seus segmentos de vertentes.

FERNANDES (1982) e DADALTO et al. (1989) concluíram que os agregados mostram diferenças quanto a tamanho, forma, estabilidade e adesão entre si e que alterações nas condições naturais do solo, por sistemas de manejo, podem alterar o tamanho, a distribuição e a estabilidade desses agregados.

Estudos ressaltam a importância de se avaliarem os atributos físicos do solo, pois as raízes das plantas crescem sob condições de estresse e parecem ser capazes

de identificar tais condições, enviando sinais para a parte aérea, conforme DAVIES & ZHANG (1991).

O transporte e o armazenamento de água dentro dos perfis do solo são afetados pelas variações dos atributos físicos e químicos do solo, que estão relacionados a pequenas variações do relevo (MARQUES JÚNIOR, 1995; SOUZA et al., 2004a). A heterogeneidade é uma propriedade inseparável do solo que tipifica sua anisotropia, pois, em uma paisagem natural, o solo apresenta ampla variabilidade dos seus atributos, tanto no sentido espacial como no vertical, resultante da interação dos processos de sua formação, influência dos elementos geomórficos e formas da paisagem (CARVALHO et al, 2003).

Devido ao manejo exercido pelo homem nas mais variadas formas, em uma área cultivada, Silveira & Cunha (2002) relataram que, além da variabilidade natural, existem fontes adicionais possíveis de tornarem o solo heterogêneo. Tais variações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do solo do que nos conservacionistas, e influenciam principalmente, no acúmulo de material orgânico, na taxa de infiltração da água no solo e na erosão hídrica (BERTOL et al., 2004).

Recentemente, alguns trabalhos foram desenvolvidos abordando a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo, a qualidade da produção ligada às formas do relevo, auxiliando no levantamento de zonas específicas de manejo (SOUZA et al., 2004a; SOUZA et al., 2004b; SOUZA et al. 2004c; LEÃO et al. 2004; CUNHA et al., 2005; MIRANDA et al., 2005; SANCHEZ 2007). Esses estudos auxiliaram na caracterização de diferentes ambientes e servem de base para a transferência de conhecimento para locais de mesmo domínio pedogeomórfico. SIMÕES et al. (2006), estudando a variabilidade espacial dos atributos físicos de um Latossolo, sob cultivo de café no município de Lavras-MG, relataram que o manejo do solo e a posição da área na topossequência do terreno influenciam na variabilidade espacial dos teores de areia, silte e argila, e também na densidade de partículas do solo.

A variabilidade do solo e os princípios básicos de experimentação, segundo LIBARDI et al. (1986), ocorrem de forma aleatória. No entanto, alguns estudos têm

mostrado que a variabilidade das propriedades físicas do solo apresenta dependência espacial. A caracterização dos solos, a textura e a densidade de partículas são consideradas elementos de grande importância na identificação e na classificação do solo.

O entendimento da variabilidade dos atributos do solo no campo auxilia na tomada de decisões relativas à diminuição de custos, uso localizado e racional de insumos e recursos naturais, no sentido de aumentar e melhorar a qualidade da produção (LEÃO et al. 2004).

A variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta, em geral, não é levada em conta durante o cultivo agrícola, para o qual se opta, por razões de simplificação, por aplicar práticas homogêneas de manejo do solo na totalidade da área cultivada. Essa prática pode ocasionar o uso demasiado de insumos, causando a não otimização do sistema agrícola.

TRANGMAR et al. (1987) relataram a influência das propriedades do solo no padrão e na distribuição espacial de atributos da planta, pois a planta atua como integradora da variabilidade dos atributos do solo. COUTO & KLANT (1999) também afirmam que o comportamento das plantas acompanha a distribuição e a variação de nutrientes no solo.

As relações entre variabilidade espacial dos atributos do solo e planta têm sido observadas para auxiliar e identificar a relação de causa e efeito desses atributos, como demonstram os estudos de VIEIRA et al. (1987), MILLER et al. (1988), SALVIANO et al. (1998) e MARQUES JÚNIOR (1995).

No setor de grãos, BALASTREIRE et al. (2002b) desenvolveram mapas de produtividade em tempo real. Trata-se de um instrumento essencial para agricultura de precisão. No entanto, para culturas perenes, são precários os trabalhos desenvolvidos. Na cultura do café sobre um Latossolo, no município de Coromandel, SANCHES et al. (1999) concluíram que a distribuição e a variação da produtividade se relacionam muito com os atributos da camada de solo situada entre 0,0-0,20 m de profundidade. Os semivariogramas de produção indicaram grande relação espacial com o comportamento dos parâmetros químicos e granulométricos do solo. Já

BALASTREIRE et al. (2002c), estudando a cultura do café sobre um Podzólico Vermelho-Amarelo, encontraram dependência espacial, considerada moderada, para os dados de produtividade. Pesquisando a variabilidade espacial em uma área cultivada com cana-de-açúcar, SOUZA et al. (2004) relacionaram atributos do solo e planta (variabilidade dos teores de nutrientes nas folhas), chegando à conclusão de haver relação espacial na maioria dos nutrientes.

Hemerly (2000) mencionou que novas exigências têm alimentado na cafeicultura a busca pela otimização do gerenciamento de propriedades rurais. MARTIN et al. (1995) garantiram que isso só é possível com a adoção de sistemas de produção inovadores que permitem o aumento da competitividade pela diferenciação do mercado, em termos de qualidade, redução de custos com o aumento da produtividade, adoção de novas tecnologias de produção e de administração eficiente do negócio.

1.2.3.2 Atributos químicos do solo

BRUBAKER et al. (1993) analisaram, em uma vertente, o efeito dos diferentes segmentos da encosta nos atributos do solo e descobriram um aumento no pH e nos teores de silte, Ca e Mg nas posições mais baixas da encosta.

LEÃO et al. (2004), estudando a variabilidade dos atributos do solo em um Latossolo, na produção de laranja-pera, localizaram dependência espacial. Os mapas de isolinhas, nos dois anos consecutivos de colheita, apesar de diferentes condições de florada, apresentam semelhanças, comprovando que existe dependência espacial da qualidade dos frutos em relação às formas do relevo. SANCHEZ (1999), estudando a distribuição e a variação da produtividade na cultura do café, em Latossolo, encontrou resultados de produção que sugeriram uma grande correlação espacial com o comportamento dos atributos granulométricos e químicos do solo.

BRONSON et al. (2003), estudando, por dois anos consecutivos e em duas áreas distintas, a influência da paisagem do solo e da adubação com fósforo (P), na produção de algodão, abordaram a resposta em produção da adubação tradicional e a

taxa-variada, e também o efeito da orientação da encosta (face sul e face norte). Eles concluíram que a posição e a orientação da encosta têm impacto significativo na produção de algodão, mas não na resposta à adubação de P. Tais autores observaram que a adubação à taxa variada de P não produziu mais fibra que a adubação convencional. Ressalta-se, no entanto, que foram aplicados 47 % a menos de P, comparado à área com adubação tradicional, com base no teor médio de P no solo.

Para o entendimento pedogeomórfico, foram realizados estudos da variabilidade espacial dos parâmetros químicos e físicos dos solos por MARQUES JÚNIOR (1995), MEIRELLES (1998), SANCHEZ (1999), CUNHA (2000), POCAY (2000), GOBIN et al. (2001), CARVALHO et al. (2002), IPPOLITTI (2003) e PENNOCK (2003). A variabilidade espacial das propriedades do solo, associada aos modelos de paisagem, também pode auxiliar no mapeamento de locais com necessidades de técnicas específicas de manejo (SANCHEZ, 1999; CUNHA, 2000; POCAY, 2000; MOLIN et al., 2008). Tais estudos auxiliaram na caracterização de diferentes ambientes de produção e servem de base para a transferência de conhecimento de áreas experimentais para locais de mesmo domínio pedogeomórfico.

1.2.4 Estatística clássica, geoestatística e multivariada

As análises estatísticas convencionais, que não contemplam a posição relativa da amostra ou sua correlação entre observações vizinhas, não são adequadas para se entender a variabilidade dos atributos do solo e sua relação com a planta, o que exige um tratamento estatístico diferenciado e caracterizado, por meio de autocorrelogramas, semivariogramas, métodos de interpolação e outros.

Na estatística descritiva, os dados são analisados, calculando-se a média, a mediana, o desvio-padrão, o coeficiente de variação, os coeficientes de assimetria e a curtose. Assim, é possível visualizar quando o conjunto apresenta distribuição normal ou relativa simetria e, ainda, a presença ou não de dados discrepantes. Quando a

distribuição dos dados não é normal, a média (aritmética) sofre influência de valores extremos, não representando adequadamente o conjunto de dados (EGUCHI et al., 2002). Já a mediana representa o valor central dos dados, quando colocados em ordem crescente.

A distância máxima de um dado em relação à média é o Desvio-Padrão e o coeficiente de variação expressa à variabilidade dos dados. O grau de assimetria de uma distribuição é representado pelo coeficiente de assimetria, e o grau de achatamento da curva de distribuição é representado pelo coeficiente de curtose. Quanto aos coeficientes de assimetria e curtose, os quais avaliam se os dados seguem uma distribuição normal ou não, estes devem ser iguais ou o mais próximo possível de zero, sendo aceitos valores entre +2 e -2 (ORTÍZ, 2003). Segundo VIEIRA (1997) e CARVALHO et al. (2002), a variação entre 0 e 3 para os coeficientes de assimetria e curtose pode ser considerada como distribuição normal.

Como as propriedades do solo, de um modo geral, não são distribuídas aleatoriamente no espaço, pois obedecem a um arranjo estrutural que tem uma dimensão particular, constituindo-se em seu domínio correspondente a distância dentro da qual há interdependência dos valores medidos (RUSSO & BRESLER, 1981). Assim, a estatística clássica pode não ser apropriada para estudos com este enfoque e deve ser complementada por análises espaciais, considerando-se as relações entre observações vizinhas (HAMLETT et al., 1986).

A diferença básica entre a estatística clássica e a geoestatística é considerar ou não o local das amostras e se essas apresentam dependência espacial. Nos fundamentos da geoestatística, com base na teoria das variáveis regionalizadas, a variabilidade espacial é caracterizada através de autocorrelogramas, semivariogramas e métodos de interpolação, como, por exemplo, a “krigagem” (WEBSTER & CUANALO, 1975; VIEIRA et al., 1981; VAUCLIN et al., 1983; LIBARDI et al., 1986; SILVA et al., 1989; VIEIRA, 1997; VIEIRA, 2000; BUCENE et al., 2003). O semivariograma determina se existe ou não dependência espacial entre as amostras. A dependência espacial de uma propriedade do solo e da planta pode ser descrita, utilizando-se do semivariograma experimental (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989), ao

qual pode ser ajustado um modelo matemático, conforme descrito por McBRATNEY & WEBSTER (1986).

Na elaboração do semivariograma, todos os dados são pareados em todas as combinações aceitáveis e agrupados dentro de classes de distâncias e direções aproximadamente iguais (ZIMBACK, 2001).

O semivariograma possibilita observar se existe dependência e estabelece valores para o interpolador, permitindo confeccionar mapas de isolinhas, além de apresentar alguns parâmetros:

- Variância pepita, ou efeito pepita (C_0): é a semivariância diferente de zero, quando a distância entre as amostras tende a zero, a qual representa a variância que não pôde ser detectada pelo semivariograma, seja por necessidade de se coletarem amostras a distâncias menores, seja por um erro de alguma etapa do trabalho.
- Patamar ($C_0 + C_1$): corresponde ao ponto onde toda semivariância da amostra é de influência aleatória, obedecendo à variância total obtida pela estatística clássica (TRANGMAR et al., 1985).
- Alcance: este representa a distância máxima entre duas amostras que possuem dependência espacial. Ressalta-se que, no semivariograma, todos os pares localizados, depois da medida do alcance, não possuem dependência espacial.

A relação entre o efeito pepita e o patamar, $C_0 / (C_0 + C_1)$ é comumente usada para expressar o grau de dependência espacial, e muitos trabalhos adotam a classificação proposta por CAMBARDELLA et al. (1994). No Brasil, já existe um variado número de trabalhos que, além de utilizarem a geoestatística, procuram explicá-la passo a passo. Dentre eles, merecem destaque os trabalhos realizados por VIEIRA (2000) e VIEIRA et al. (2002).

Para serem feitos os mapas de isolinhas, os quais permitem visualizar a variabilidade espacial de um determinado parâmetro, faz-se necessário um interpolador de dados para estimar os valores de locais não amostrados. Segundo KRAVCHENCO & BULLOCK (2000), entre os métodos por eles analisados, a Krigagem foi o melhor interpolador para parâmetros da paisagem. A Krigagem

consiste em um método de interpolação para estimar valores em locais não amostrados, a partir de pontos vizinhos provenientes da área amostrada, levando-se em conta a estimativa da dependência espacial da variável, estimada pelo semivariograma experimental e os locais dos valores conhecidos. Na interpolação por Krigagem, os pontos amostrados perto dos locais não amostrados têm maior peso do que pontos afastados, e pontos agrupados levam mais peso do que pontos isolados (VIEIRA et al., 1983).

Uma opção quanto à descrição da rede de correlação é a análise multivariada. Esta técnica consiste basicamente em um conjunto de métodos estatísticos utilizados em situações nas quais várias variáveis são medidas simultaneamente, de forma que a correlação linear entre os grupos de variáveis seja maximizada. Assim, teoricamente, possui maior capacidade de descrever fenômenos, inter e intradependentes, dos agroecossistemas.

A análise multivariada divide-se em dois grupos:

- técnicas exploratórias de simplificação, da qual fazem parte a análise de componentes principais (CP), a análise fatorial, a análise de correlações canônicas (ACC), a análise de agrupamentos ou cluster, a análise discriminante e a análise de correspondência;
- técnicas de inferência estatística, composta pelos métodos de estimação de parâmetros, testes de hipóteses e análise de variância, covariância e regressão multivariada.

A análise dos componentes principais PCA (do inglês *Principal Component Analysis*) é um método para decompor uma matriz de dados X de posto r (ou "rank" r), como uma soma de matrizes de posto igual a 1, em que o posto é um número que expressa a dimensão de uma matriz. Essas novas matrizes de posto 1 são produtos de vetores chamados "scores" t_h e "loadings" p_h . Estes "scores" e "loadings" podem ser calculados par a par por um processo iterativo.

1.3 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ – ABIC. Disponível em <http://www.abic.com.br/estat_exportacoes.html>. Acesso em abril 2009.

ALVARENGA, M.I.N.; MENDES, A.N.G. Propriedades do solo e estado nutricional de orgânicos. Disponível em:<www.coffeebreak.com.br/ocafezal>. Acesso em: 20 abr. 2003.

BALASTREIRE, L.A.; AMARAL, J.R.; LEAL, J.C.G.; BAIO, F.H.R. Agricultura de precisão: Variabilidade espacial dos teores de óleo e Proteína de grãos de soja (Glycine Max, [L.] Merrill). Anais Avanços na Agricultura de precisão, Piracicaba, p. 66-75, 2002b.

BALASTREIRE, L.A.; AMARAL, J.R.; LEAL, J.C.G.; BAIO, F.H.R. Agricultura de precisão: Mapeamento da produtividade de uma cultura de café. Anais Avanços na Agricultura de precisão no período, Piracicaba, p.42-49, 2002c.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J. C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.28, p.1045-1054, 2004.

BRONSON, K.F.; KEELING, J.W.; BOOKER, J.D.; CHUA, T.T; WHEELER. T.A.; BOMAN, R.K.; LASCANO, R.J. Influence of landscape position, soil series and phosphorus fertilizer on cotton lint yield. Agronomy Journal, Madison, v.95, p.949-957, 2003.

BRUBAKER, S.C.; JONES, A.J.; LEWIS, D.T.; FRANK, K. Soil properties associated with landscape position. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.57, p.235-239, 1993.

BUCENE, L.C.; RODRIGUES, J.B.T.; VETTORATO, J.A.; ZIMBACK, C.R.L. Uso da interpolação por krigagem na análise dos dados espaciais de altimetria. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.23, p. 613-619, 2003.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 58, p.1.501-1.511, 1994.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, p.1.151-1.159, 2002.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, p.695-703, 2003.

COUTO, E. G., KLANT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília , v.34, p.2321-2329, 1999.

CUNHA, P. Superfícies geomórficas e variabilidade de Latossolos em uma vertente sobre arenito-basalto em Jaboticabal (SP). 149f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

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

DADALTO, G.G.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W. Alterações em características físicas de solos cultivados com pastagem. Revista Ceres, Viçosa, v.36, p.317-329, 1989.

DI, H.J.; TRANGMAR, B.B.; KEMP, R.A. Use geostatistic in desiging sampling strategies for soil survey. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.53, p.1.163-1.167, 1989.

DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.E.; CADY, J.F. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. Advances in Agronomy, New York, v.23, p.51-87, 1971.

DANIELS, R.B.; HAMMER, R.D. Soil geomorphology. New York: Jonh Wiley, p.236, 1992.

DARLYMPLE, J.B.; BLONG, R.J.; CONACHER, A.J. A hypothetical nine unit land surface model. Geomorphology, Amsterdan, v.12, p.60-76, 1968.

DAVIS, W.J.; ZHANG, J. Antitranspirant activity in the xylem sap of maize plants. Journal of Experimental Botany, London, V.42, p. 317-321, 1991.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L. da; OLIVEIRA, M. S. de. 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, p.242-246, 2002.

FERNANDES, M. R. Alterações em propriedades de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado, decorrentes da modalidade de uso e manejo. 1982. 65f. Tese (Magister Scientiae) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1982.

GOBIN, A.; CAMPLING, P.; FEYEN, J. Soil-landscape modelling to quantify spatial variability of soil texture. Physics Chemistry of the Earth, Oxford, v.26, p.41-45, 2001.

HAMMER, R. D.; YOUNG, N. C.; WOLENHAUPT, T. L.; BARNEY T. L.; HAITHCOATE, T. W. Slope Class Maps Form Soil Survey and Digital Elevation Models. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.59, p.509-519, 1995.

HEMERLY, F.X. Cadeia produtiva do café no Estado de São Paulo: possibilidade de melhoria de suas competitividades no segmento agrícola. 2000. 208 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

HAMLETT, J. M.; HORTON, R.; CRESSIE, N. Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.50, p.868-875, 1986.

IPPOLITTI, G.; COSTA, L.M. da; SCHAEFER, C.E.; FERNANDEZ FILHO, E.I. Uso do geoprocessamento para o levantamento preliminar de solos de uma microbacia na Zona da Mata (MG) In: SBSR, 11.2003, Belo Horizonte. p.153-160, 2003. Disponível em: <iris.sid.inpe.br:1908/col/itid.inpe.br/sbsr/2002/11.06.17.28/doc/01_043.pdk> Acesso em: 10 abril 2003.

KRAVCHENKO, A.N.; BULLOCK, D.G. Correlation of corn and soybean yield with topography and soil properties. Agronomy Journal, Madison, v.75, p.75-83, 2000.

LEAO, G.A.L.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Relação entre atributos de uma vertente com Latossolos e qualidade de frutos cítricos. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, C.L.; PAULETTO, E.A.; MORAES, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v.10, p.85-90, 1986.

MARQUES JÚNIOR, J. Distribuição e atributos dos solos em relação à forma e evolução de uma vertente em Monte Alto-SP. 1995.226f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I.F. Depósitos superficiais neocenoicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto-SP. Geociência, São Paulo, v.19, p.265-281, 2000.

MARTIN, N.B.; VEGRO, C.L.R.; MORICOCCHI, L. Custos e rentabilidade de diferentes sistemas de produção de café. Informações Econômicas, São Paulo, v. 25, p. 35-47, ago.1995.

McBRATNEY, A. B., WEBSTER, R. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sample estimates. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.37, p.617-637, 1986.

MEIRELLES, H.T. Relações entre superfícies geomórficas, segmentos de vertente e propriedades dos solos em Batatais-SP. 1998.118f. Monografia (Trabalho de graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal,1998.

MILLER, M.P.; SINGER, M.J.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.52, p.1.133-1.141, 1988.

MIRANDA, N.O.; OLIVEIRA, T.S.; LEVIEN, S.L.; SOUZA, E.R. Spatial variability of fruit quality of melon under fertigation in Mossoró, Brasil. Horticultura Brasileira, Campinas, v.23, n.2, p.242-249, 2005.

MOLIN, R.N.D.; ANDREOTTI, M.; REIS, A.R.; FURLANI JÚNIOR, E.; BRAGA, G.C.; SCHOLZ, M.B.S. Caracterização física e sensorial do café produzido nas condições topoclimáticas de Jesuítas. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v.30, p.353-358, 2008.

MOORE, I.D.; GESSELER, P.E.; NIELSEN, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.57, p.443-452, 1993.

MULLA, D. J.; McBRATNEY. Soil spatial variability. In: WARRICK, A.W.(Ed.). Soil physics companion. Boca Raton: CRC Press, p.343-347, 2002.

ORTIZ, J.L. Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalípito e atributos do solo e relevo. 2003.91p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz " , Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PARK, S.J.; BURT, T.P. Identification and Characterization of Pedogeomorphological Processes on a Hillslope. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.66, p.1.897-1.910, 2002.

PENNOCK, D. J. Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.69, p.15–26, 2003.

POCAY, V.G. Relações entre pedoforma e variabilidade espacial de atributos de latossolos sob cultivo intensivo de cana-de-açúcar. 2000.177f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2000.

ROGOWSKI, A.S.& WOLF, J.K. Incorporating variability into soil map unit delineations. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.58, p.163-174, 1994.

RUHE, R.V. Climatic geomorphology and fully developed slopes. Catena, Amsterdam, v.2, p.309 – 320, 1975.

RUHE, R.V.; DANIELS, R.B.; CADY, J.G. Landscape evolution and soil formation in South Western Iowa. Ames: USDA, 1967. (Technical Bulletin, 1349).

RUSSO, D., BRESLER, E. Soil hydraulic properties as stochastic processes: I analysis of field spacial variability. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.45, p.687, 1981.

SAS Institute. Statistical Analysis System for Windows: Computer program manual. Cary, 1995. 705p.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em áreas severamente erodidas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, p.115-122, 1998.

SANCHEZ, R.B. Variabilidade espacial e propriedades físicas e químicas de latossolos em diferentes superfícies geomórficas sob cultivo de café, em Patrocínio-MG. 1999.

79f. (Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

SANCHEZ, R. B. Agricultura de Precisão em Argissolos com variação nas formas de relevo sob o cultivo de cana-de-açúcar. 2007.101 f. Tese (Doutorado em produção vegetal)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias , Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal 2007.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um latossolo submetido a sistemas de preparo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, p.1.325-1.332, 2002.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L; VIEIRA, S.R. Variabilidade da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.13, p.1-5, 1989.

SIMÕES, W. L.; SILVA, É. L.; LIMA, D. M.; OLIVEIRA, M.S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.30, p.1.061-1.068, 2006.

SOUZA., Z.M.; MARQUES.JÚNIOR., J.; PEREIRA., G.T.; MOREIRA., L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, p.1.763-1.771, 2004.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, p. 491-499, 2004a.

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

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PERREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedoforma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. Irriga, Botucatu, v. 09, p. 1-11, 2004c.

SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de uma Latossolo em Jaboticabal-SP. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.23, p.486-495, 2003.

SOUZA, Z.M.; SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, G.L.; CAMPOS, D.T.S.; CARVALHO, M.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, p.699-707, 2001.

STAFFORD, J. V.; LeBARS, J. M.; AMBLER, B. A hand held data logger with integral GPS for producing weed maps by field walking. Computers and Electronics in Agriculture, v.14, p.235-247, 1996.

TEODORO, R.E.F.; MELO, B.; SEVERINO, G.M.; FERNANDES, D.L.; FERREIRA NETO, J.G. & MARCUZZO, K.V. Avaliação de diferentes lâminas de irrigação do cafeeiro no cerrado mineiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Brasília. Anais:Embrapa Café, Porto Seguro,v.3, p.114, 2003.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy, San Diego, v.38, p.54-94, 1985.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G.; SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.51, p.668-674, 1987.

TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. American Journal of Science, New Haven, v.263, p.616-627, 1965.

VALERIANO, M. M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v.4, p.17-29, 2003.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S.R.; VACHAUD, G., NIELSEN, D.R. The use of cokriging with limited field soil observations. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.47, p.175-184, 1983.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.45, p.1.040-1.048, 1981.

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

VIEIRA, S.R.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F. Utilização das análises de Fourier no estudo do efeito residual da adubação em uva na crotalária. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.11, p.7-10, 1987.

VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). Bragantia, Campinas, v.56, p.181-190, 1997.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Eds.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-53, 2000.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., (Eds). Tópicos em ciência do solo. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p.1-45, 2002.

WEBSTER, R.; CUANALO, H.E. de la C. Soil Transect of correlograms of north Oxfordshire and their interpretation. Journal of Soil Science, Oxford, v.26, p.176-194, 1975.

WILSON, K.C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFFORD, M.N.; WILSON, K.C. (ED.). Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. Croom Helm, London, p. 135-156, 1985b.

YOUNG, F.J.; HAMMER, R.D.; LARSEN, D. Frequency distribution of soil properties on a loess-mantled Missouri watershes. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.63, p.178-185, 1999.

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 Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAPÍTULO 2 - MAPEAMENTO DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SOB CULTIVO DE CAFÉ NA REGIÃO SUDOESTE DE MINAS GERAIS

RESUMO: O conhecimento da variabilidade dos atributos físicos do solo é parte integrante do sistema de Agricultura de Precisão, que envolve conceitos de uso de informações sobre a variabilidade de propriedades locais, para o aumento da produtividade, otimização no uso dos recursos e redução do impacto da agricultura ao meio ambiente. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi mapear a qualidade física do solo, sob cultivo de café, na região sudoeste de Minas Gerais, em Latossolos com pequenas variações na forma do relevo. Uma malha com espaçamento regular de 50 x 50 m foi delimitada em uma área de 31,7 hectares. Foram coletadas 145 amostras de solo nas profundidades 0,0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m, para avaliação dos atributos físicos. Os dados foram submetidos a análises estatística descritiva e geoestatística. Todos os atributos estudados, nas duas profundidades, apresentaram dependência espacial. Pequenas variações nas formas do relevo condicionaram variabilidade diferenciada para os atributos físicos do solo. A investigação da variabilidade espacial de atributos físicos na camada superficial e subsuperficial do solo proporcionou condições para a definição de zonas homogêneas de manejo, o que permite a adoção do sistema de agricultura de precisão e transferência desse conhecimento para áreas similares.

Palavras-chave: densidade, porosidade, granulometria, geoestatística.

MAPPING THE PHYSICAL QUALITY SOIL IN A COFFEE UNDER SOUTHWEST REGION OF MINAS GERAIS

ABSTRACT: The knowledge about soil physical variability attributes is a part of the Agriculture of Precision System, which involves concepts from use of information on the variability of local properties to increase productivity, optimize the use of resources and reduce agriculture impact on the environment. In this way the purpose of the present study was to map the soil physical quality under coffee cultivation in southwest of Minas Gerais in Oxisols with small relief shape variations. A regular mesh with 50 x 50 m of spacing was demarcated in an area of 31.7 hectares. A number of 145 samples of soil from 0.0 to 0.2 m of depth and 0.2 to 0.4 m of depth were collected to evaluate the soil physical attributes. The data were submitted to descriptive statistical analysis and geostatistics analysis. All of the studied attributes, in both depths, showed spatial dependence. Small relief shape variations provided differenced variability to soil physical attributes. The investigation of the spatial variability of soil physical attributes on the soil surface and subsurface provided conditions for the definition of homogeneous areas of management, which allows the adoption of the Agriculture Precision System and the transference of that knowledge for similar areas.

Keywords: physical quality, curvature of the relief, geoprocessing, specifies the management zone.

2.1 Introdução

O conhecimento da continuidade espacial dos atributos do solo em determinada área é importante para a melhoria das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (CAMBARDELLA et al., 1994). Sendo assim, conhecer as causas da variabilidade e mapear as propriedades do solo que influenciam na produção das culturas, depende do conhecimento dos processos que acontecem em locais específicos da paisagem (WILDING & DREES, 1983). Dessa maneira, o conhecimento sobre a estratigrafia, geomorfologia e hidrologia de uma área são de fundamental importância para a compreensão desses processos, permitindo que técnicas agronômicas possam ser aplicadas e transferidas com facilidade e economia para ambientes semelhantes (SOUZA et al., 2004; BARBIERI et al., 2008).

Diferentes atributos físicos são usados na avaliação quantitativa da qualidade física do solo (TOPP & ZEBCHUK, 1979), tais como: densidade, volume total de poros, condutividade hidráulica, dentre outros. Esses atributos são altamente influenciados pelos atributos diagnósticos como a textura do solo. A representação da continuidade espacial da textura do solo auxilia na identificação de classes taxonômicas (WEBSTER & BUTLER, 1976), na delimitação de limites de transição de classes distintas de forma mais precisa, contribui para o entendimento dos processos pedogenéticos (YOUNG et al., 1999), auxilia no conhecimento do movimento de água no corpo do solo, no manejo da adubação e na previsão das necessidades de práticas conservacionistas.

Assim, os mapeamentos dos atributos do solo, que refletem na sua qualidade física, podem auxiliar na definição de melhores estratégias quanto ao seu uso e manejo, promovendo a melhoria na qualidade dos frutos de café colhidos. Estudos têm mostrado que atributos do solo, geralmente, não ocorrem de maneira aleatória dentro de uma área, mas, sim, segundo um arranjo estrutural com uma dimensão característica (VIERA et al., 1981).

Isso mostra que os atributos do solo podem apresentar-se espacialmente

correlacionados em determinada área. O conhecimento dessa dependência espacial contribui para o entendimento sobre a influência dos atributos e do manejo do solo na produtividade das culturas.

Porém, os métodos tradicionais de análises estatísticas não consideram esta questão (TRANGMAR et al., 1985). Nesse sentido, uma ferramenta eficaz em trabalhos que exijam a espacialização de variáveis, é a geoestatística. Essa ferramenta tem sido bastante utilizada em estudos da continuidade espacial de atributos físicos do solo (VOLTZ & GOULARD, 1994; BOGAERT & D'OR, 2002).

A geoestatística leva em consideração a posição das unidades amostrais, introduzindo o conceito das variáveis regionalizadas, determinando a localização de cada amostra (VIEIRA, 2000). Outra ferramenta adicional na identificação de padrões da continuidade espacial é o Modelo Digital de Elevação (MDE). Esse modelo, quando associado aos mapas de variabilidade, pode figurar como importante ferramenta para a visualização e o entendimento das relações de causa e efeito da distribuição espacial dos atributos do solo (HAMMER et al., 1995; PENNOCK, 2003; MONTGOMERY, 2003).

O uso do Modelo de Elevação Digital (MED) permite estabelecer relações das influências da topografia, da hidrologia, da quantidade e do tipo de vegetação sobre as classes de solos. Esse tipo de informação pode aperfeiçoar os levantamentos pedológicos, estabelecendo limites mais exatos sobre as classes de solos. Assim, o objetivo do presente estudo foi mapear a qualidade física do solo sob cultivo de café, na região sudoeste de Minas Gerais, em Latossolos com pequenas variações na forma do relevo.

2.2 Material e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo, Fazenda Olho de Águia, localiza-se no Município de Guimarães, região do Alto Paranaíba, a sudoeste do Estado de Minas Gerais,

entre latitude de 18° 17' S, longitude de 46° 59' W e com altitude variando de 800 a 1.200 metros (Figura 1).

O clima, de acordo com a classificação de KÖEPPEN, é o Aw (tropical), cuja temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C, e a do mês mais quente é de 24° C, com temperatura média anual de 21,9 °C. A pluviosidade anual média é da ordem de 1.600 mm, sendo que o período seco ocorre no outono-inverno, e o úmido, na primavera-verão (80% do total pluviométrico anual).

A vegetação natural remanescente predominante é o cerrado que, em alguns trechos, apresenta-se com vegetação de porte mais alta e compacta (chapadão). Em melhores condições edáficas, quase sempre em trechos planos ou ondulados, coexiste com esta forma vegetal, sob as mesmas condições climáticas, área de matas (floresta mesófito e semidecídua). Nos vales fluviais, também são encontradas matas-galerias (ciliares) subperenifólias.

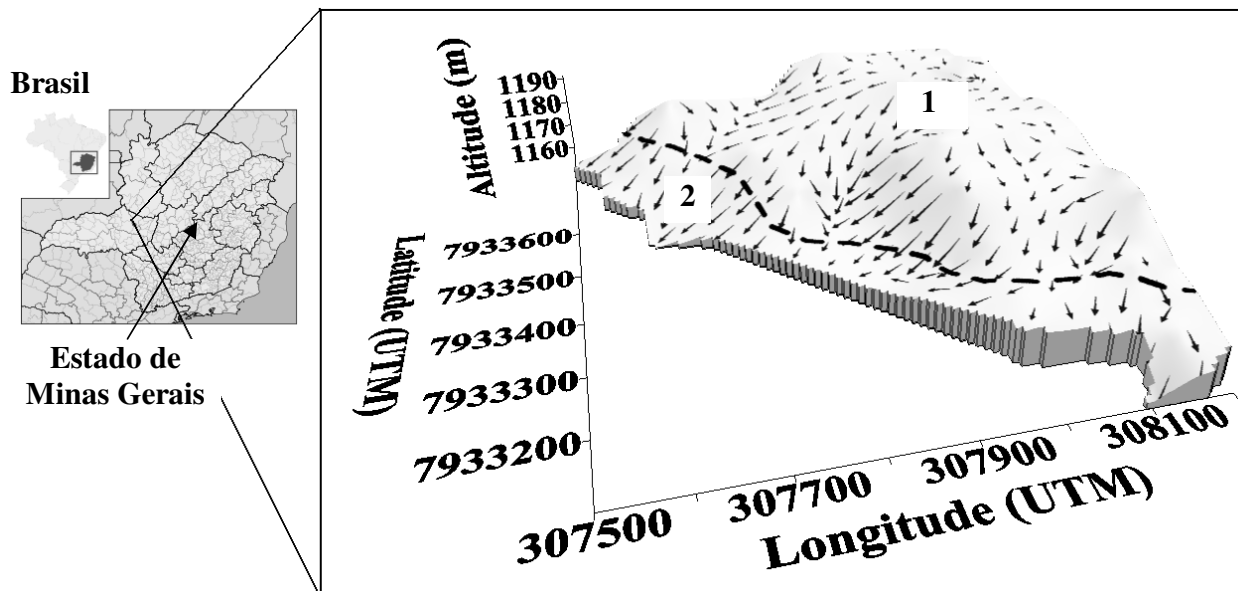


Figura 1. Localização da área e Modelo Digital de Elevação (MDE) com a simulação do fluxo superficial de água e limite da presença de cascalho na posição inferior do relevo, a uma profundidade inferior a 1,6 m (- - -). 1 – Topo; 2 – Encosta Inferior.

A região caracteriza-se pela grande diversidade de formações geológicas, cujas idades variam do Proterozoico Inferior ao Mesozoico. Na área de estudo, predominam as rochas do Grupo Bambuí, constituídas por metafilitos sob depósitos de sedimentos do Terciário. O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006). A área produz exclusivamente café, há 18 anos. A variedade produzida é a *Coffea Arabica L.* (Catuaí) e o espaçamento é de 4,0 x 0,75 m.

Coleta e análise das amostras

A área relacionada representa a fisiográfica regional, onde se estabeleceu uma malha com intervalos regulares de 50 m, perfazendo um total de 145 pontos em 31,7 hectares. Em cada ponto do cruzamento desta malha, as amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0,0 - 0,20 m e 0,20 – 0,40 m para a avaliação dos atributos físicos do solo. A área de estudo foi intensamente amostrada para avaliação da espessura do *solun*, realizando-se tradagens profundas por meio das quais se estabeleceu o limite de 1,6 m para presença de cascalho. Isso permitiu a divisão da área em dois compartimentos, conforme apresentado na Figura 1.

A análise granulométrica das amostras de solo foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação, seguindo metodologia da EMBRAPA (1997).

Para a determinação da porosidade do solo (porosidade total, macro e microporosidade), as amostras indeformadas foram saturadas por 48 h em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Após o período de saturação, as amostras foram drenadas no potencial equivalente a -0,006 MPa, utilizando-se de uma mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo também foi determinada pelo método do volume conhecido (EMBRAPA, 1997).

Análise estatística e geoestatística

As análises estatísticas descritivas dos dados (média, mediana, coeficiente de variação, assimetria e curtose) foram realizadas, e os resultados foram obtidos com o programa SAS (SAS, 1995).

A dependência espacial foi estimada pelo semivariograma (Equação 1), com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca (VIEIRA et al., 1983).

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

em que,

$Z(x_i)$ - valor da propriedade Z na localização x_i e x_{i+h} na área amostral, e

$N(h)$ - número de pares de dados separados pela distância h.

Nos semivariogramas experimentais que apresentaram estrutura de dependência espacial, foram testados os seguintes modelos: esférico, exponencial e gaussiano. Na validação de todo o processo geoestatístico (ajuste do semivariograma, anisotropia e isotropia, número de vizinhos na krigagem), foi utilizada a técnica denominada validação cruzada (VIEIRA et al., 2000). Com esses valores, construíram-se os mapas de continuidade espacial dos atributos do solo no programa *Surfer 8.0* (GOLDEN SOFTWARE).

2.3 Resultados e Discussão

A proximidade dos resultados das estatísticas de média e mediana indica simetria dos dados (Tabela 1). Os atributos que tiveram coeficiente de assimetria próximo de +/- 1 foram microporos (Micro), macroporos (Macro) e densidade do solo (DS) na profundidade de 0,0 – 0,2m, e na profundidade de 0,2 - 0,4m foram silte, volume total de poros (VTP), micro, macro e DS, indicando um grau de assimetria. De

acordo com CRESSIE (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo conveniente apenas que a distribuição não apresente cauda muito alongada, caso contrário, poderia comprometer os resultados.

Tabela 1. Estatísticas descritivas dos atributos teor de argila (%), silte (%), AT (%), VTP (%), microporos (%), macroporos (%) e DS ($\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$) nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m.

Atributos	Média	Mediana	Assimetria	Curtose	⁸ C.V
0,0-0,2 m					
Argila	68,8	75,3	-1,47	0,66	25,03
Silte	13,4	11,1	1,40	1,80	70,65
AF ¹	10,1	7,6	2,69	8,36	67,64
AG ²	8,5	6,4	1,57	1,47	59,04
AT ³	18,6	13,8	1,93	3,48	59,66
VTP ⁴	45,1	45,3	-1,38	6,04	4,47
Micro ⁵	34,8	34,8	-0,40	0,93	14,74
Macro ⁶	10,4	10,3	0,05	-0,38	38,89
DS ⁷	1,1	1,1	-0,71	3,70	8,91
0,2-0,4 m					
Argila	74,2	82,2	-1,80	1,43	24,55
Silte	7,9	6,6	0,15	7,45	149,20
AF	10,3	6,8	3,27	12,23	91,22
AG	7,6	4,6	3,46	15,64	102,40
AT	17,9	11,4	3,08	11,59	92,29
VTP	45,9	46,0	-0,84	1,67	3,58
Micro	32,2	32,3	-0,35	1,09	12,61
Macro	13,7	14,0	-0,06	0,67	26,62
DS	1,1	1,1	0,20	-0,19	7,11

¹AF: areia fina; ²AG: areia grossa; ³AT: areia total; ⁴VTP: volume total de poros; ⁵Micro: microporosidade; ⁶Macro: macroporosidade; ⁷DS: densidade do solo; ⁸CV: coeficiente de variação.

Da análise dos coeficientes de variação (CV), nota-se que os atributos VTP e DS, em ambas as profundidades, enquadram-se na classe de variação baixa (<12 %) (WARRICK & NIELSEN, 1980). O atributo microporos, em ambas as profundidades, enquadra-se na classe moderada (entre 12% e 24%); o restante dos valores dos atributos, na classe alta (>24%). O alto coeficiente de variação para a maioria dos valores dos atributos indica alta variabilidade nos dados, justificando a utilização das técnicas de geoestatística para melhor compreensão dos dados.

Comparando-se os dados de CV dos atributos argila, AF, AG e AT, percebe-se a menor variação no teor do atributo argila. Esse resultado corrobora o obtido por NIELSEN et al.(1973). A maior variação de partículas finas (argila, silte e areia fina) pode indicar ambiente mais propício ao transporte seletivo pelo deflúvio. Resultados semelhantes foram observados por CUNHA et al. (2005), ressaltando-se que onde a espessura do solo é menor (parte inferior da encosta) e o fluxo superficial de água é mais intenso (Figura 1), explicam-se os menores teores relativos de argila, consequência da erosão diferencial.

A menor espessura do horizonte do solo e o maior fluxo superficial de água na encosta inferior (Figura 1) implicam maiores variações nos processos de umedecimento (encharcamento de água) e secagem. Esse processo foi estudado e está descrito no trabalho de KLEIN & LIBARDI (2000). Segundo estes autores, o uso e o manejo do solo alteram, consideravelmente, as curvas de retenção de água dos solos, reduzindo sua porosidade e o diâmetro poroso.

Para ARSHAD et al. (1996), valores de densidade do solo acima $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$ restringem o crescimento radicular em solo argiloso. Nessa perspectiva, por este estudo, pode-se considerar que a densidade do solo na área não é um fator limitante ao crescimento radicular (Tabela 1).

Todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial (Tabela 2). O efeito pepita (C_0) indica a variabilidade ao acaso ou não considerando a distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA et al., 1994). A relação entre o efeito pepita (C_0) e o patamar (C_0+C_1) do semivariograma indica o grau de dependência espacial dos atributos (TRANGMAR et al., 1985).

São considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita $\leq 25 \%$ do patamar, moderada quando estão entre 25 e 75 %, e fraca $> 75 \%$ (CAMBARDELLA et al. (1994).

A relação $C_0/(C_0+C_1)$ em percentagem dos atributos argila, silte, AT, AF e AG indica grau de dependência espacial forte [$C_0/(C_0+C_1) < 25\%$] nas duas profundidades; para os atributos VTP, Micro, Macro e DS indica grau de dependência

espacial moderada [$C_0/(C_0+C_1)$ entre 25% e 75%], segundo a classificação proposta por CAMBARDELLA et al.(1994).

Segundo TRANGMAR et al.(1985), a escala de estudo tem grande influência sobre os ajustes dos modelos de semivariogramas em atributos do solo. Os modelos utilizados para o ajuste dos semivariogramas obtidos com os dados dos atributos físicos foram o exponencial, gaussiano e esférico.

Para os atributos AF e microporos, na profundidade de 0,0-0,2 m, e argila, AF, AG e DS, na profundidade de 0,2-0,4m, ajustou-se o modelo esférico; modelo exponencial para os atributos argila, silte, VTP, Macro e DS na profundidade de 0,0-0,2 m e VTP, micro e macroporos (macro) na profundidade de 0,2-0,4 m e, para os atributos AT e AG, na profundidade de 0,0-0,2 m, e silte na profundidade de 0,2-0,4 m, ajustou-se o modelo gaussiano.

SANCHEZ et al. (2005) também encontraram o modelo esférico para os atributos de AF e microporos. Assim, os modelos mais encontrados para atributos do solo foram o exponencial e o esférico, os quais têm propriedades menos erráticas em pequena escala (TRANGMAR et al., 1985). SOUZA et al. (2004) utilizaram modelos esférico e exponencial para o ajuste dos semivariogramas obtidos com os dados de atributos físicos.

Os atributos estudados apresentaram diferentes alcances de dependência espacial (Tabela 2, Figura 2), sendo que o menor alcance encontrado foi para o silte, em ambas as profundidades; o maior alcance encontrado foi para AG, em ambas as profundidades. Nota-se que, na profundidade de 0,2-0,4 m, foram encontrados os maiores alcances, ou seja, maior continuidade espacial e, conseqüentemente, solo mais homogêneo. Já na profundidade de 0,0-0,2 m, foram encontrados os menores valores de alcance. Isso pode estar relacionado ao fluxo de água superficial. LEÃO (2004), estudando a cultura da laranja, em uma área de Latossolo de 83,5 hectares, obteve alcances maiores (entre 295 a 585 m) para os atributos granulométricos na profundidade de 0,0-0,2m.

Tabela 2. Descrição dos modelos de semivariogramas para os atributos teor argila, silte, AT, VTP, microporos, macroporos e DS nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m.

Atributos	Modelo	Parâmetros					
		⁸ C ₀	⁹ C ₀ +C ₁	¹⁰ a	¹¹ C ₀ /(C ₀ +C ₁)	¹² R ² (%)	¹³ SQR
0,0-0,2 m							
Argila	Exponencial	49,09	359,65	233,18	13	0,946	2487
Silte	Exponencial	24,47	76,35	108,82	32	0,747	260
AF ¹	Gaussiano	26,28	140,22	297,24	18	0,981	262
AG ²	Esférico	7,23	49,89	532,03	14	0,980	23
AT ³	Gaussiano	4,28	32,74	294,62	13	0,979	16,7
VTP ⁴	Exponencial	1,11	3,07	161,46	36,20	0,757	0,128
Micro ⁵	Esférico	17,34	23,97	237,94	72,36	0,814	12,6
Macro ⁶	Exponencial	8,32	14,85	255,63	56,03	0,84	4,33
DS ⁷	Exponencial	0,004	0,009	262,38	42,84	0,86	1,18E ^{-0,6}
0,2-0,4 m							
Argila	Esférico	58,39	343,99	453,75	16,9	0,939	3852
Silte	Gaussiano	47,27	84,53	252,52	55,9	0,833	288
AF ¹	Esférico	40,78	291,66	460,53	13,9	0,975	1948
AG ²	Esférico	11,38	86,52	504,52	13,1	0,977	153
AT ³	Esférico	9,20	67,87	443,27	13,5	0,971	162
VTP ⁴	Exponencial	1,15	1,75	325,05	65,82	0,712	0,0678
Micro ⁵	Exponencial	10,00	16,65	268,17	60,00	0,652	16,4
Macro ⁶	Exponencial	5,99	10,70	243,78	55,99	0,699	6,67
DS	Esférico	0,002	0,006	419,07	32,57	0,971	3,183E ⁻⁰⁷

¹AF: areia fina; ²AG: areia grossa; ³AT: areia total; ⁴VTP: volume total de poros; ⁵Micro: microporosidade; ⁶Macro: macroporosidade; ⁷DS: densidade do solo; ⁸C₀: efeito pepita; ⁹C₀+C₁: patamar; ¹⁰a = alcance; ¹¹C₀/(C₀+C₁): grau de dependência espacial (%); ¹²R²: coeficiente de determinação (%); ¹³SQR: Soma dos quadrados dos resíduos.

Nota-se que o padrão de variação do alcance dos atributos estudados é similar em ambas as profundidades, com exceção para os atributos microporos e macroporos, que permaneceram praticamente constantes (Tabela 2, Figura 2). Destacam-se os maiores valores de alcance para profundidade de 0,2-0,40 m,

indicando menor variabilidade espacial, possivelmente, por menor interferência das práticas de manejo.

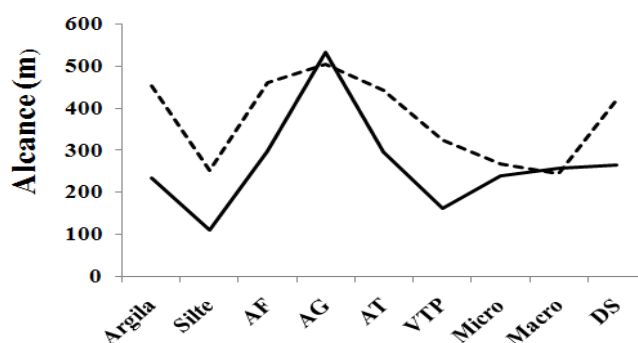


Figura 2. Gráfico do alcance dos atributos do solo na profundidade de 0,0-0,2 m (—) e 0,2-0,4 m (- - -).

Analisando os mapas da Figura 3, nota-se que a distribuição da argila registra seus maiores teores no topo da vertente, nas duas profundidades (0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m), percebendo-se aumento relativo nos teores de argila em profundidade, conforme LEÃO (2004). Na posição de encosta inferior, para ambas as profundidades, observam-se os maiores teores de silte e areia total, corroborando os menores teores de argila. Isso indica uma área de maior suscetibilidade à remoção seletiva de partículas pelo fluxo superficial de água (Figura 1).

Esses resultados evidenciam que a variabilidade da textura do solo está relacionada aos fluxos de água. O relevo, mesmo que em pequena escala de variação de suas formas, condiciona o caminhamento superficial e subsuperficial da água. Assim, pode-se entender que a topografia influencia na distribuição espacial da textura.

A distribuição espacial dos valores da AT (Figura 3) apresenta distribuição oposta à distribuição do teor de argila nas duas profundidades, corroborando os resultados de LEÃO (2004). Na profundidade de 0,0-0,2 m, COELHO FILHO et al. (2001) também encontraram valores contrários de distribuição de argila e areia total.

Para o atributo silte (Figura 3), na profundidade de 0,0-0,2 m, foram encontrados menores teores na encosta inferior da área. SANCHEZ et al. (2005), estudando a variabilidade espacial de propriedades do solo e produção da cultura de

café, em diferentes superfícies geomórficas, encontraram concentrações menores de silte e maiores de argila no topo da paisagem, na profundidade de 0,0-0,2 m, corroborando o estudo em questão.

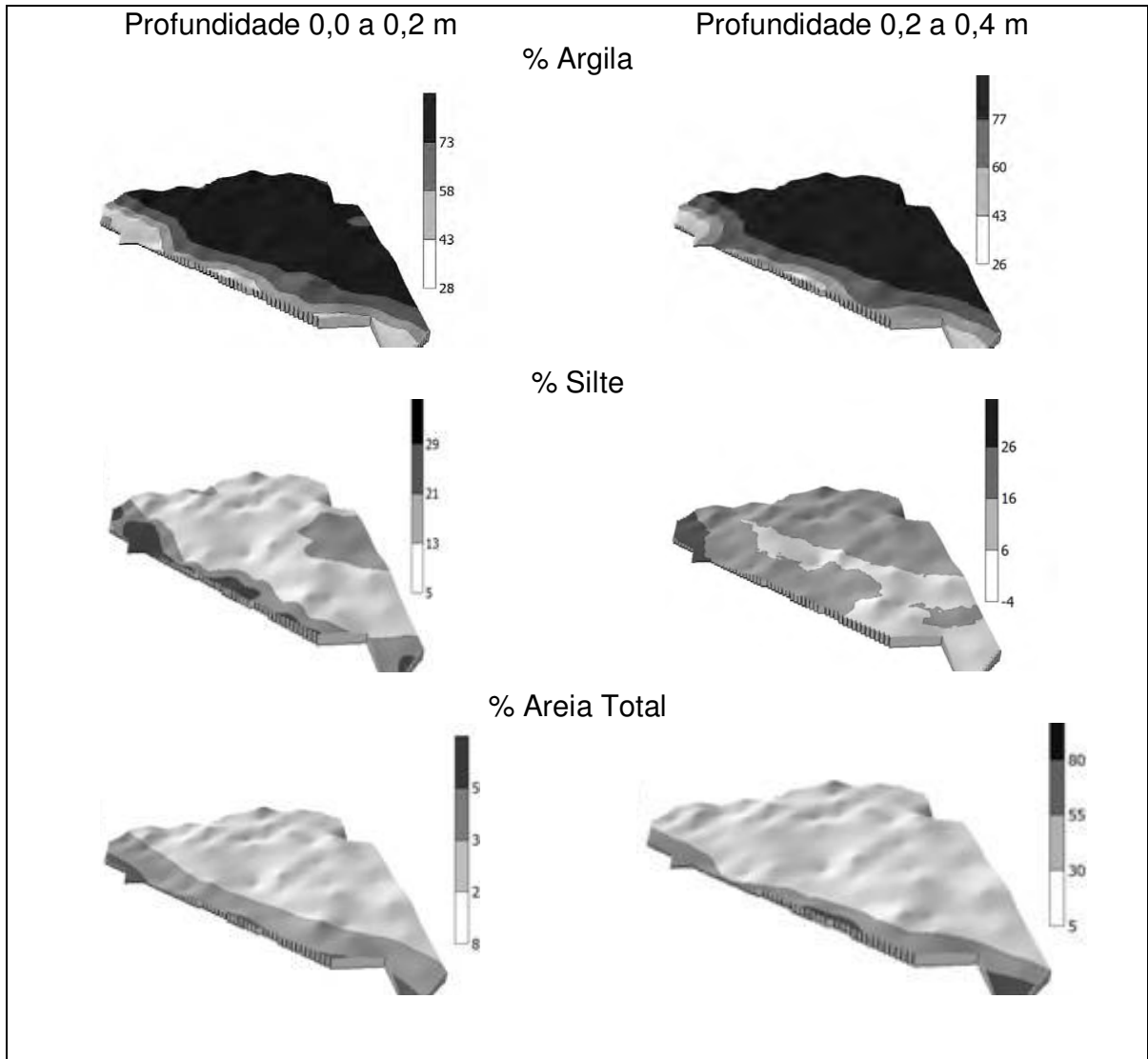


Figura 3. Mapas de krigagem da distribuição espacial dos atributos do solo: teor argila (%), silte (%) e areia total (%) dos solos nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m.

Para os mapas de areia fina (AF) (Figura 4), a distribuição espacial, nas duas profundidades, apresentou os menores valores no topo e, na encosta inferior,

demonstrou uma faixa com os maiores valores desse atributo. Observa-se a similaridade entre os padrões de distribuição espacial dos atributos AG, AF e AT no topo e encosta inferior. MILLER et al. (1988), avaliando a textura em transeções, concluíram que os atributos granulométricos do solo são afetados pela posição em que se encontra na paisagem.

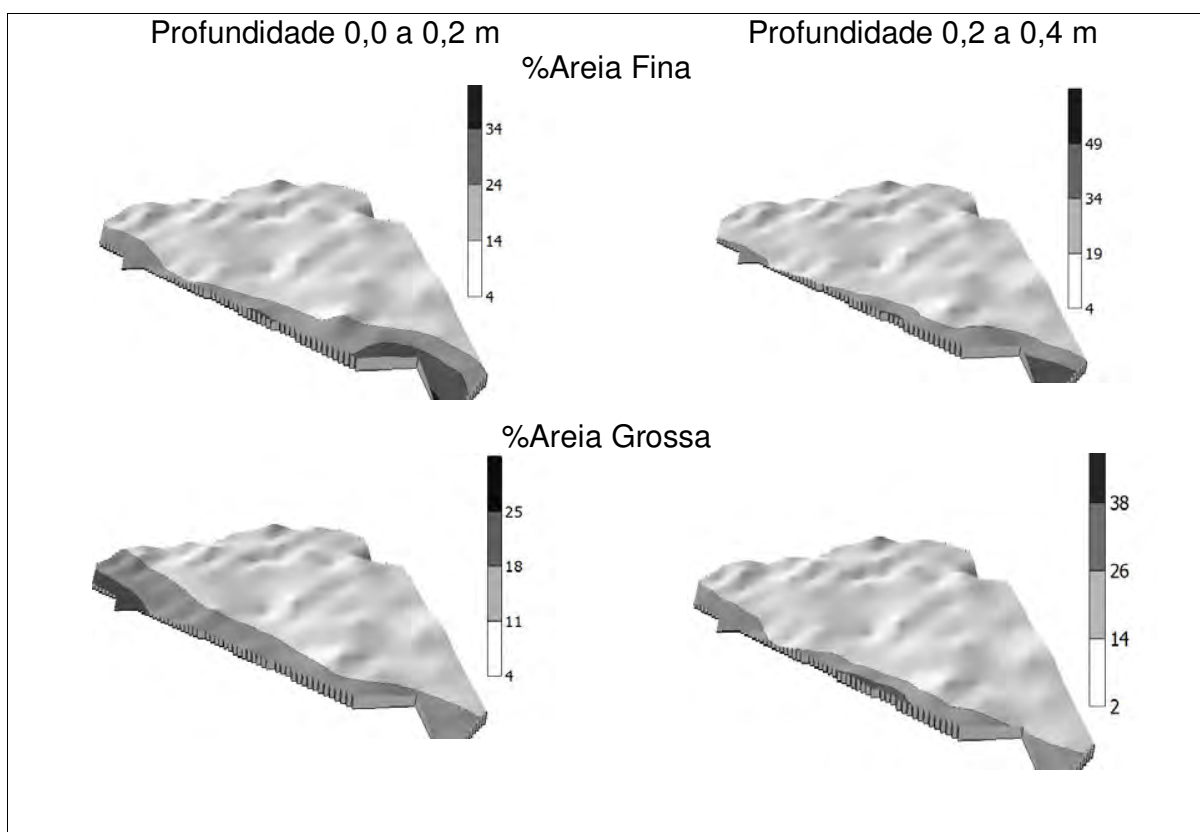


Figura 4. Mapas de krigagem das variáveis Areia Fina(%), Areia Grossa (%) dos solos nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4m.

Nota-se que os maiores valores de densidade (Figura 5) são observados nos locais onde existe maior teor de areia (Figura 3).

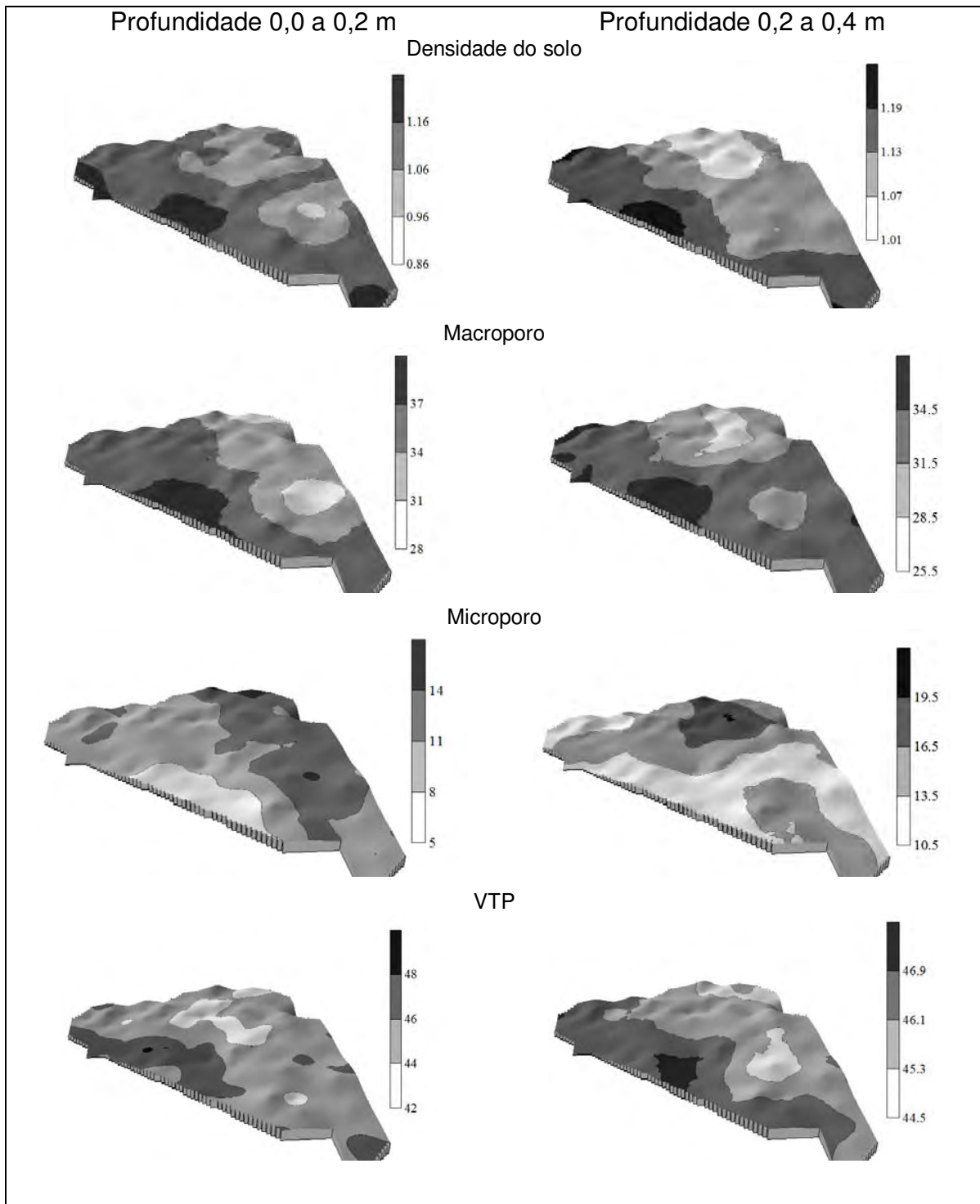


Figura 5. Mapas de krigagem dos atributos densidade do solo (kg.dcm^{-1}), macroporos (g.kg^{-1}), microporos (g.kg^{-1}), volume total de poros (g.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4m.

Isso acontece porque o mínimo teor de água na superfície das partículas da fração areia já é suficiente para lubrificar o deslizamento das partículas e promover seu arranjo, o que diminui o espaço poroso. O mapa de distribuição espacial do VTP confirma esse resultado.

Neste sentido, a investigação da variabilidade espacial de atributos físicos, na camada superficial e subsuperficial do solo, proporcionou condições para a definição de zonas homogêneas de manejo, o que permite a adoção do sistema de agricultura de precisão e transferência desse conhecimento para áreas similares.

2.4 Conclusões

Os atributos físicos do solo analisados apresentaram dependência espacial nas duas profundidades estudadas e relacionaram-se ao modelo de vertente

As pequenas variações da forma do relevo influenciaram na distribuição espacial dos atributos físicos do solo.

2.5 Referências

ARSHAD, M.A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds). Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 49, p.123-141, 1996.

BARBIERI, D. M.; MARQUES, J.J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo, Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 28, n. 4 , 2008.

BORGAERT, P.; D'Or, D. Estimating Soil Properties from Thematic Soil Maps: The Bayesian Maximum Entropy Approach. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.66, p.1.492–1.500, 2002.

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. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 58, p. 1.501-1.511, 1994.

COELHO FILHO, M.A.; COELHO, D.R.; GONÇALVES, C.A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por microaspersão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, p.239-246, 2001.

CRESSIE, N. Statistics for spatial data. New York: John Wiley, f. 900, 1991.

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

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 212 p, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, p. 306, 2006.

GOLDEN SOFTWARE. Surfer Version 8.00. Golden: Surface Mapping System, 1999.

HAMMER, R. D.; YOUNG, N. C.; WOLENHAUPT, T. L.; BARNEY, T. L.; HAITHCOTE, T. W. Slope Class Maps Form Soil Survey and Digital Elevation Models. Soil Science Society American Journal, Madison, v.59, p.509-519, 1995.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. Ciência Rural, Santa Maria, v.30, p. 959-964, 2000.

LEÃO, M.G.A. Relação entre variabilidade dos atributos de um Latossolo e qualidade da fruta cítrica. 2004.119f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

MILLER, M.P.; SINGER, M.J.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.52, p.1.133-1.141, 1988.

MONTGOMERY, D. R. Predicting landscapescale erosion rates using digital elevation models. Comptes Rendus Geoscience, Paris, v.335, p.1.121–1.130, 2003.

NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.; ERH, K.T. Spatial variability of field measured soil-water properties. Hilgardia, Berkeley, v.42, n.7, p.215-259, 1973.

PENNOCK, D. J. Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.69, p.15–26, 2003.

SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas em Patrocínio (MG). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, p.489-495, 2005.

SAS. Statistical Analysis System for Windows: computer program manual. version 6. Cary, 1995.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D.M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.2, p.309-319, 2004.

TOPP, G.C.; ZEBCHUK, W. The determination of soil-water desorption curves for soil cores. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, v.59, p.19-26, 1979.

TRANGMAR, B.B., YOST, R.S., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy, San Diego, v.38, p.54-94, 1985.

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

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

VIEIRA, S. R.; NIELSON, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.45, p.1.040–1.048, 1981.

VOLTZ, M.; GOULARD, M. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. Geoderma, Amsterdam, v.62, p.109–123, 1994.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: H., D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic Press, p. 319-344, 1980.

WEBSTER, R.; BUTLER, B.E. Soil clasification and survey studies at Ginninderra. Australian Journal of Soil Research, Melbourne, v.14, p.1-24, 1976.

WILDING, L.P. & DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E. & HALL, G.F. (eds). Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and interactions, Elsevier Science, Amsterdam, cap.4, p.83-116, 1983.

YOUNG, F.J.; HAMMER, R.D. & LARSEN, D. Frequency distribution of soil properties on a loess-mantled Missouri watershed. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 63, p.178-185, 1999.

CAPÍTULO 3 - IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ZONAS DE MANEJO ESPECÍFICO PARA PREDIZER A PRODUTIVIDADE DE CAFÉ COM BASE NOS ATRIBUTOS DO SOLO

Resumo - A previsão e o mapeamento da produtividade permitem ao produtor um planejamento melhor de suas atividades agrícolas, minimizando as oscilações de preços e garantindo sua estabilidade e regularidade no abastecimento dos mercados interno e externo. Assim, o objetivo do presente trabalho foi identificar e mapear zonas de manejo específico para prever a produtividade do café com base nos atributos do solo. A área de estudo localiza-se no Município de Guimarães, região do Alto Paranaíba, a sudoeste do Estado de Minas Gerais. Na área escolhida, estabeleceu-se uma malha, com intervalos regulares de 50 m, perfazendo um total de 145 pontos nos 31,7 hectares. Foram retiradas amostras de solo na profundidade de 0,0 - 0,20 m para a determinação dos atributos físicos e químicos do solo. Esses resultados foram analisados em conjunto com os atributos da produção, porcentagem de grãos nas peneiras 16, 17 e 18 e qualidade de bebida para o ano de 2007. Por meio de resultados da análise multivariada, o estudo da variância dos atributos do solo pode ser resumido no estudo de somente alguns atributos, como teor de argila e teor de ferro. Nos locais da paisagem com maiores teores de argila e ferro, foram encontrados os grãos de maior qualidade de bebida e produção. No entanto, somente com base nos teores de argila e ferro do solo é possível estimar 18,6% da porcentagem de grãos correspondentes à peneira 18. Assim, os atributos teores de argila e Fe no solo podem ser utilizados como indicadores ambientais, auxiliando na identificação de zonas de manejo específico e predição de atributos do café.

Palavras-chave: atributo físico, atributo químico, multivariada.

IDENTIFICATION AND MAPPING OF AREAS MANAGEMENT SPECIFICITY TO PREDICT PRODUCTIVITY OF COFFEE BASED ON ATTRIBUTES OF SOIL

ABSTRACT - Prediction and mapping the yield allows the producer to better planning of agricultural activities by minimizing price fluctuations, ensuring stability and regularity of supply to domestic and foreign markets. The objective of this study was to identify and map specific areas of management to predict the productivity of coffee on the basis of soil attributes. The study area is located in the city of Guimarães, Alto Paranaíba, the south-west of Minas Gerais State. In the chosen area, a grid was established with intervals of 50 m, making a total of 145 points on 31.7 acres. Samples were taken at soil depths of 0.0m - 0.20 m to determine the physical and chemical properties. These results were analyzed as the same time as the attributes of production, percentage of grains in the sieves 16, 17 and 18 and as a drink for the year 2007. Through multivariate analysis, the study of the variance of soil attributes can be summarized in the study of only a few attributes, such as clay content and iron content. In places the landscape with higher clay and iron tenors were found the highest quality beans and beverage production. However, only on the basis of clay and iron tenors from the soil can be predicted 18.6% of the percentage of grains corresponding to sieve 18. Thus, the attributes clay and iron tenors in the soil can be used as environmental indicators, helping identify areas of management and prediction of specific attributes of coffee.

Keywords: physical attribute, chemical attributes, multivariate.

3.1 Introdução

A previsão da produtividade permite ao produtor um planejamento melhor de suas atividades agrícolas, minimizando as oscilações de preços, garantindo sua estabilidade e regularidade do abastecimento dos mercados interno e externo (CARVALHO et al., 2004). No entanto, segundo WEILL et al. (1999), um dos problemas na elaboração de modelos de previsão para a cultura do café é a variabilidade dos fatores ambientais, como clima, e atributos do solo.

Os levantamentos com baixo nível de detalhes realizados nos ambientes tropicais dificultam ainda mais a compreensão da variabilidade dos solos e de seus atributos (BUOL, 1990). Esse tipo de levantamento, em pequena escala (1:100.000), proporciona um falso sentido de uniformidade, o que interfere na compreensão da relação entre o solo e a resposta das culturas e, portanto, na elaboração de modelos de previsão da produtividade que sejam confiáveis.

Com o objetivo de acrescentar informações a esse tipo de mapeamento e encontrar um padrão de variabilidade dos atributos do solo, vários autores (PENNOCK et al., 2001; KRAVCHENKO et al., 2005; MCBRATNEY et al., 2003) estudaram a influência da topografia na variabilidade espacial dos atributos do solo e das culturas agrícolas. Outros autores têm estudado a delimitação de zonas de manejo específico em diferentes escalas de mapeamento, utilizando modelos de paisagem, como: superfícies geomórficas (CUNHA et al., 2005; CAMPOS et al., 2007), formas da paisagem (SOUZA et al., 2009) e pequenas variações do relevo (CAMARGO et al., 2008).

As zonas de manejo específico são regiões com máxima homogeneidade dos atributos do solo dentro de uma mesma área (MALLARINO et al., 2001). Assim, a identificação e o mapeamento das zonas de manejo específico podem auxiliar na elaboração de modelos de previsão da produtividade para as culturas agrícolas.

O uso de ferramentas como Modelo Digital de Elevação (MDE) (MONTGOMERY, 2003), geoestatística (BOGAERT & D'OR, 2002) e análise multivariada (ODEH et al., 1991; MARTÍN et al., 2005) vem sendo utilizado cada vez

mais nas ciências agrárias, e pode auxiliar na identificação destas áreas homogêneas. Segundo PENNOCK (2003), com o MDE, podem-se observar as variações topográficas, permitindo o entendimento do padrão de distribuição dos fluxos d'água no terreno, o que possibilita estabelecer relações entre as formas do terreno e a variabilidade dos atributos do solo. A geoestatística espacializa a variabilidade dos atributos do solo, propiciando a delimitação das áreas com limites e classes mais precisas (VOLTZ & GOULARD, 1994). A análise estatística multivariada, em especial a análise de componentes principais, sintetiza o número de atributos a ser interpretado. Dessa maneira, a variância de um conjunto de atributos pode ser analisada por um único atributo representativo desse conjunto (JOHNSON & WICHERN, 2002; MINGOTI, 2005).

Infere-se, portanto, que o uso conjunto dessas ferramentas, associadas ao conhecimento da relação solo-relevo, pode contribuir na predição das características quantitativas e qualitativas do fruto do café, para áreas específicas, além de auxiliar na transferência desses modelos de predição para áreas semelhantes. Assim, o objetivo do trabalho foi identificar e mapear zonas de manejo específico, para prever a produção e a qualidade da cultura do café com base nos atributos do solo.

3.2 Material e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no Município de Guimarães, região do Alto Paranaíba, a sudoeste do Estado de Minas Gerais, entre a latitude de 18° 17' S, a longitude de 46° 59' W e a altitude variando de 800 a 1.200 metros (Figura 1).

O clima, de acordo com a classificação de KÖEPPEN, é o Aw (tropical), cuja temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C, e a do mês mais quente (outubro) é de 24°C, e com temperatura média anual de 21,9 °C. A pluviosidade anual média é da ordem de 1.600 mm, ressaltando-se que o período

seco ocorre no outono-inverno, e o úmido, na primavera-verão (80% do total pluviométrico anual).

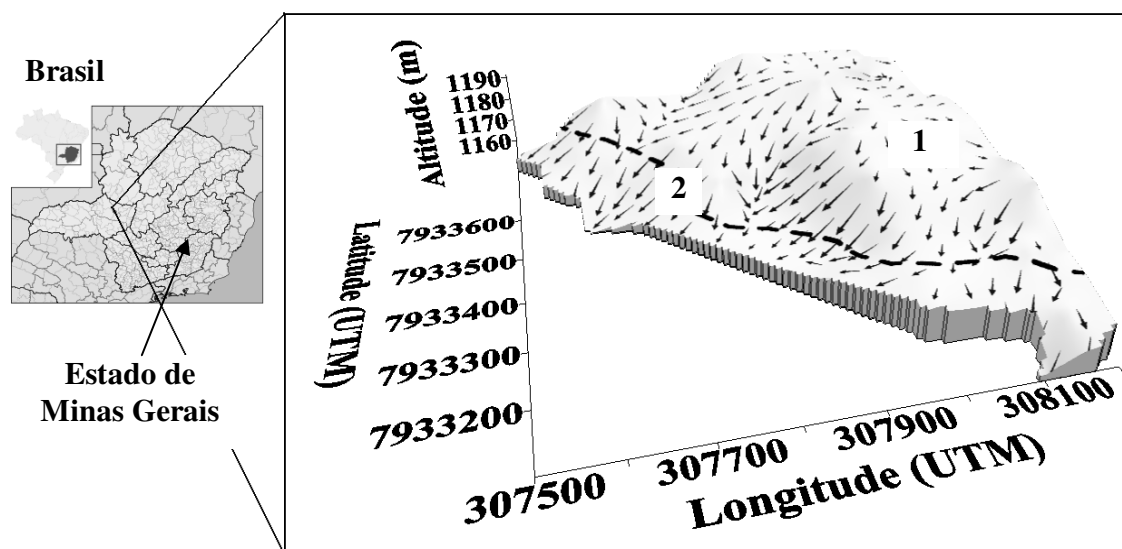


Figura 1. Localização da área e Modelo Digital de Elevação (MDE) com a simulação do fluxo superficial de água e limite da presença de cascalho na posição inferior do relevo, a uma profundidade inferior a 1,6 m (- - -). 1 – Topo; 2 – Encosta Inferior.

A vegetação predominante é o cerrado que, em alguns trechos, apresenta-se com vegetação de porte mais alta e compacta (chapadão). Em melhores condições edáficas, quase sempre em trechos planos ou ondulados, coexiste com esta forma vegetal, sob as mesmas condições climáticas, área de matas (floresta mesófitas e semidecíduas). Nos vales fluviais, também são encontradas matas-galerias (ciliares) subperenifólias. A região caracteriza-se pela grande diversidade de formações geológicas, cujas idades variam do Proterozoico Inferior ao Mesozoico. Na área de estudo, predominam as rochas do Grupo Bambuí, constituídas por metafilitos sob depósitos de sedimentos do Terciário. O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, como assinalam dados da EMBRAPA (2006). A área produziu exclusivamente café nos

últimos 18 anos. Na área, está plantada a variedade *Coffea arabic L.*(Catuaí) com espaçamento de 4,0 x 0,75 m.

Coleta e análise das amostras

Na área escolhida, estabeleceu-se uma malha, com intervalos regulares de 50 m, perfazendo um total de 145 pontos em 31,7 hectares. Em cada ponto do cruzamento desta malha, as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,0 - 0,20 m. A área de estudo foi intensamente amostrada para a avaliação da espessura do *solun*, realizando-se tradagens profundas, por meio das quais se estabeleceu o limite de 1,6 m para presença de cascalho, o que permitiu a divisão da área em dois compartimentos, conforme apresentado na Figura 1.

A análise granulométrica das amostras de solo foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação, seguindo metodologia EMBRAPA (1997). Para a determinação do volume total de poro (VTP), macroporos (macro) e microporos (micro), as amostras indeformadas foram saturadas por 48h em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Após o período de saturação, as amostras foram drenadas no potencial equivalente a -0,006 MPa, utilizando-se de uma mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). Nas mesmas amostras, foi determinada a densidade do solo, através do método do volume conhecido (EMBRAPA, 1997). O pH foi determinado, potenciométricamente, utilizando-se da relação 1:2,5 de solo: KCl 1N. Os cátions trocáveis do solo (cálcio, magnésio e potássio), matéria orgânica, fósforo disponível pelo método da resina trocadora de íons, de acordo com os micronutrientes, foram determinados, segundo com RAIJ et al. (2001). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculadas as somas de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%). Os valores médios dos atributos determinados nas amostras

coletadas, nos 145 pontos amostrais na profundidade 0,0 a 0,2 m, estão na Tabela 1.

Tabela 1. Média dos atributos físicos e químicos determinados nas 145 amostras da área de estudo na profundidade 0,0 a 0,2 m.

Estatística	VTP (%)	DS Kg dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	MO g dcm ⁻³	pH H ₂ O	Ca -----	Mg mmolc dm ⁻³	K -----	H+Al -----	B -----	Cu -----	Fe mg dm ⁻³	Mn -----	Zn -----
Média	45,1	1,1	16,58	31,95	5,48	33,68	20,03	1,63	16,58	0,29	2,94	26,62	1,12	0,88
	Areia -----		Silte -----		Argila -----		SB mmolc dm ⁻³		CTC -----			V -----		
Média	18,6		13,4		68,8		55,34		81,56			65,39		
	Boro -----		Cobre -----		Ferro -----		Manganês mg.dm ⁻³		Zinco -----		Enxofre -----		Alumínio -----	
Média	0,29		2,94		26,62		1,12		0,88		8,96		0,59	

VTP: Volume total de poros; DS: Densidade do solo; P: Fósforo disponível; MO: Matéria orgânica.

Em cada ponto de intersecção da malha, foi construída uma unidade amostral composta por nove plantas (Figura 2).

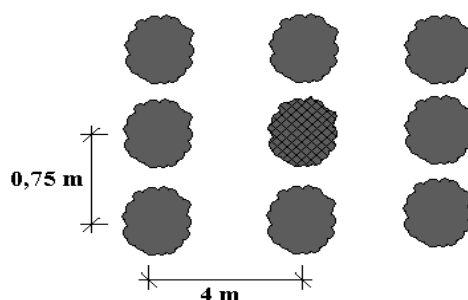


Figura 2. Representação esquemática da unidade amostral constituída por nove plantas, sendo a planta marcada denominada planta central.

Analisaram-se os seguintes atributos qualitativos e quantitativos do rendimento da cultura: produção (litros pé⁻¹), porcentagens de grãos nas peneiras 16; 17 e 18, além do tipo de bebida (SCAA CUPPING PROTOCOLS, 2008).

Análise multivariada e geoestatística dos resultados

A análise dos componentes principais-PCA (do inglês *Principal Component Analysis*), foi utilizada com o intuito de sumarizar o número de atributos estudados (COOLEY et al., 1971; JOHNSON & WICHERN, 2002).

Assim, se a maior parte da variância dos dados pode ser atribuída ao 1º, 2º ou ao 3º componente principal (PC), então esses podem “substituir” as observações originais sem perda de informação (JOHNSON & WICHERN, 1998). O critério utilizado na escolha dos componentes principais a serem interpretados, foi o percentual da variância explicada. Segundo CARVALHO et al. (2004), basta escolher os primeiros componentes que acumulam uma percentagem de variâncias explicada igual ou superior a 70%.

A dependência espacial foi estimada pelo semivariograma (Equação 1), com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca (VIEIRA et al., 1983).

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

(1)

em que,

$Z(x_i)$ - valor da propriedade Z na localização x_i e x_{i+h} na área amostral, e

$N(h)$ - número de pares de dados separados pela distância h.

Nos semivariogramas experimentais, que apresentaram estrutura de dependência espacial, foram testados os seguintes modelos: esférico, exponencial e gaussiano. Na validação de todo o processo geoestatístico (ajuste do semivariograma, anisotropia e isotropia, número de vizinhos na krigagem), foi utilizada a técnica denominada validação cruzada (VIEIRA et al., 2000). Uma vez que essas questões foram aferidas, construíram-se os mapas de continuidade espacial dos atributos do solo no programa *Surfer 8.0* (GOLDEN SOFTWARE).

3.3 Resultados e Discussão

Na Figura 3, são apresentados os autovalores da matriz de correlação com as respectivas porcentagens de variação total explicada. Segundo CARVALHO et al. (2004), basta escolher os primeiros componentes que acumulam uma percentagem de variâncias explicada igual ou superior a 70%. Para se obterem, pelo menos, 80% da explicação, em termos de variância total, são necessários 5 fatores. Por meio de resultados, a variância dos atributos do solo estudados: VTP, densidade do solo, teor de argila, areia total, P, MO, pH, Ca, Mg, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn, pode ser sintetizada em 5 componentes principais. Cada atributo estudado apresenta uma correlação com cada um dos 5 primeiros fatores (componentes principais) selecionados. Assim, cada fator tem a capacidade de expressar o potencial de uso de uma determinada área, que pode ser dividida em zonas de manejo específico, em função dos atributos de maior correlação com o fator, isto é, os atributos que mais contribuem para a identificação de áreas com potencial distinto.

CARVALHO JUNIOR et al. (2008), trabalhando com análise multivariada de atributos físicos e químicos do solo, detectaram que os cinco primeiros componentes principais respondem por, aproximadamente, 70 % da variação dos dados, sendo 28,29 % para o fator 1; 18,28 % para o fator 2; 10,08 % para o fator 3; 8 % para o fator 4, e 7,07 % para o fator 5.

Na Tabela 2, é apresentada a correlação entre os atributos do solo e os 5 primeiros fatores escolhidos. O primeiro fator representa 31,14 da variância total, e os atributos de maior expressão foram Ca, Mg e pH. O fator dois explica 20,68% da variância, e os atributos de maior expressão foram Cu, Fe e MO. O terceiro fator explicou 14,80% da variância, e os atributos de maior expressão foram: teor de argila, areia total e densidade do solo. O quarto fator explicou 8,21% da variância total, e os atributos de maior relevância foi: VTP, MO e P. O quinto fator explicou 7,14% da variância total, sendo os atributos de maior expressão: argila, VTP e areia total.

CARVALHO JUNIOR et al. (2008) encontraram, entre os três primeiros atributos de maior contribuição, CTC efetiva, CTC e soma de base para o fator 1; Fe_2O_3 , Al_2O_3

e argila para o fator 2; carbono orgânico, TiO_2 e V% para o fator 3; Al%, V% e N para o fator 4, e gradiente textural, argila e silte para o fator 5.

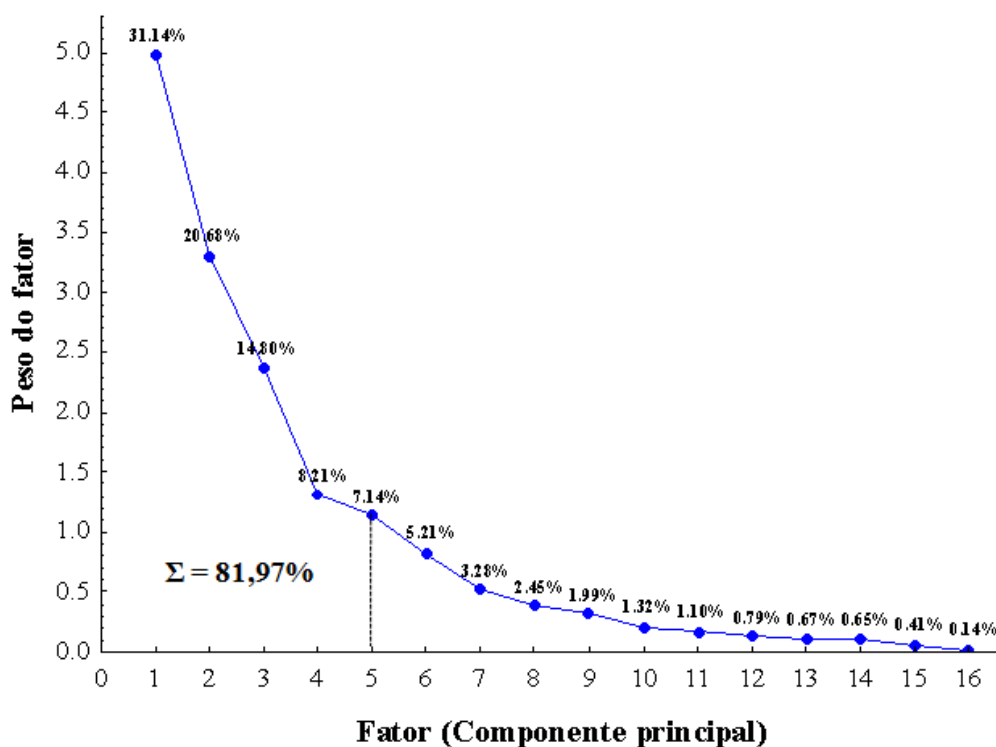


Figura 3. Gráfico dos fatores e seus pesos, e em negrito a porcentagem de variância total explicada. Em que F1= 31,14 %; F2= 20,68%; F3= 14,80%; F4= 8,21%; F5= 7,14%.

O fator 1 teve correlação significativa com a peneira 16 (Tabela 3). Como os atributos Ca, Mg e pH foram os atributos de maior expressão no fator 1, e apresentaram uma correlação negativa em relação ao fator (Tabela 2), quanto maiores os valores de Ca, Mg e pH, maior será o valor para a peneira 16. A correlação com o fator 2 mostra que a bebida tipo 6 para melhor está relacionada com áreas de menor teor de Fe, Cu e MO. Já os maiores valores para peneira 18 estão relacionados com maiores teores de Fe, Cu e MO.

A correlação com o fator 3 mostrou que as áreas com maiores porcentagens de peneira 18 estão relacionadas com áreas com maior teor de argila e menores valores para areia total e densidade do solo (Figura 4).

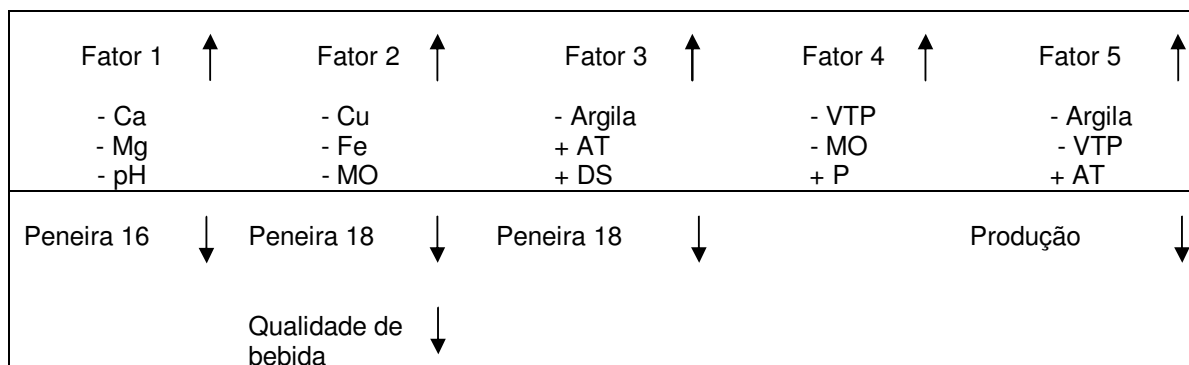


Figura 5. Esquema da relação entre os Componentes Principais e os atributos do fruto.

Quanto à produção, que apresentou correlação significativa somente com o fator 5, nota-se que os locais com maiores valores para teor de argila e VTP, e menores valores para AT, são mais propícias às maiores produções (Figura 4).

Tabela 2. Correlação entre o fator e os atributos estudados na profundidade de 0,0-0,2 m e classificação (C) de importância, expressando qual atributo teve maior contribuição na construção do fator.

Atributos	Fator 1		Fator 2		Fator 3		Fator 4		Fator 5	
	r ²	C	r ²	C	r ²	C	r ²	C	r ²	C
VTP	-0,04	15	0,38	12	0,51	4	-0,56	1	-0,43	2
DS	-0,07	13	0,54	5	0,58	3	-0,40	4	-0,32	6
ARGILA	0,03	16	-0,35	14	-0,74	1	-0,20	10	-0,45	1
AT	-0,06	14	0,41	9	0,74	2	0,25	7	0,39	3
P	-0,40	10	-0,47	8	0,26	9	0,44	3	-0,38	4
MO	-0,28	12	-0,57	3	0,00	16	-0,50	2	0,29	7
pH	-0,84	3	0,36	13	-0,17	12	0,02	15	0,11	11
K	0,34	11	-0,40	10	0,17	13	-0,30	5	0,36	5
Ca	-0,87	1	-0,23	15	-0,08	14	-0,21	9	0,09	14
Mg	-0,86	2	0,01	16	-0,21	10	-0,25	6	0,17	10
H+Al	0,76	4	-0,52	6	0,18	11	-0,05	12	-0,11	12
B	0,61	7	-0,50	7	0,04	15	-0,19	11	0,18	9
Cu	-0,46	8	-0,61	1	0,30	7	-0,05	13	0,01	16
Fe	0,45	9	-0,58	2	0,44	5	0,03	14	-0,10	13
Mn	-0,75	5	-0,40	11	0,33	6	0,00	16	-0,01	15
Zn	-0,69	6	-0,55	4	0,27	8	0,23	8	-0,19	8
Variância explicada (%)	31,14		20,68		14,80		8,21		7,14	
Variância acumulada (%)	31,14		51,82		66,62		74,83		81,97	

Tabela 3 – Correlação entre os atributos da fruta e os 5 primeiros fatores.

	Tipo de bebida	Peneira 18	Peneira 17	Peneira 16	Produção
Fator 1	0,03	0,15	-0,08	-0,17*	0,03
Fator 2	-0,20*	-0,29**	0,09	0,16	-0,14
Fator 3	-0,06	-0,19*	0,09	0,12	0,10
Fator 4	0,10	-0,05	0,09	-0,03	0,07
Fator 5	0,00	-0,13	0,08	0,14	-0,25**

* Significativo ao nível de 5%, pelo Teste F.

** Significativo ao nível de 1%, pelo Teste F.

Com base nos resultados de correlações expressos na Tabela 2, foi construído um mapa da área, dividindo-a em 4 zonas de manejo específico. A zona A, caracterizada por ser um ambiente com maior teor de ferro e argila; a zona B, com menor teor de argila e maior teor de ferro; a zona C, com menor teor de ferro e maior teor de argila, e a zona D, com menor teor de Fe e argila.

As quatro zonas de manejo identificadas diferenciaram-se, estatisticamente quanto ao teor de Fe, teor de argila, produção, peneira 18 e peneira 16 (Tabela 4). No ambiente A, com maiores teores de Fe e argila, foi observada a maior produção e porcentagem de grãos na peneira 18. Nota-se que a produção está sendo limitada não pelo teor de argila, mas, sim, pelo teor de Fe. O elemento Fe é um indicador pedoambiental muito sensível ao potencial Redox da solução do solo.

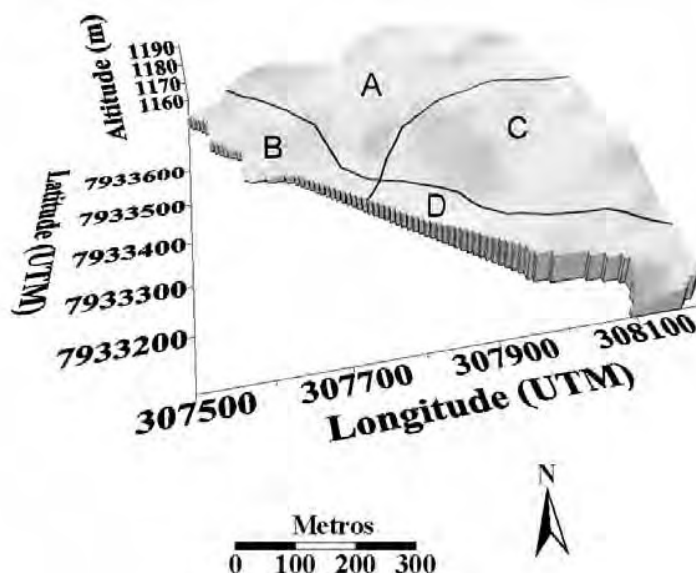


Figura 4. Delimitação das zonas de manejo específico com base nos teores de argila e Fe, na profundidade de 0,0-0,2 m.

Tabela 4– Caracterização e capacidade produtiva média de cada zona de manejo.

Zona de manejo	Teor de Fe no solo	Teor de argila	Produção (litros/pé)	Peneira 18 (%)	Peneira 17 (%)	Peneira 16 (%)
A	31,95a	76,62a	9,13a	45a	33a	12a
B	30,1ac	46,22b	9,60a	34b	35a	16b
C	18,49b	75,53a	7,73b	40c	35a	14a
D	23,79bc	47,51b	6,38c	40c	35a	13a

Valores seguidos pela mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Em termos de bebida de melhor qualidade (tipo 6 para melhor), as áreas A e C são as que apresentam melhor lucro bruto (Tabela 6)

Observa-se que a bebida de melhor qualidade (tipo 6, bebida dura para melhor) e maior porcentagem de grãos na peneira 18 está relacionada com as áreas de maiores teores de Fe e argila. Isso foi confirmado pelos mapas de distribuição espacial (Figuras 6 e 7).

Tabela 5 – Caracterização das zonas mapeadas quanto à qualidade de bebida.

Zona de manejo	Área (ha)	Produção (litros)	Tipo de bebida*	Média de sacas beneficiadas, bebida tipo 6 para melhor (ha)	Lucro em relação às sacas beneficiadas, bebida tipo 6 para melhor (US\$ ha ⁻¹)
A	13,2	401716,8	70%	61	6967.4
B	3,9	124800,00	33%	30	3453.7
C	11,6	298892,3	53%	39	4466.4
D	3,0	63801,17	42%	26	2921.3

- Tipo 6, bebida dura para melhor saca de café beneficiado (60kg) ~ 350 litros de frutos colhidos; indicador CEPEA/ESALQ - média mensal à vista da bebida tipo 6 para melhor R\$ 284,40/sc 60 kg; US\$ 114,47 (mês de referência: janeiro de 2005).

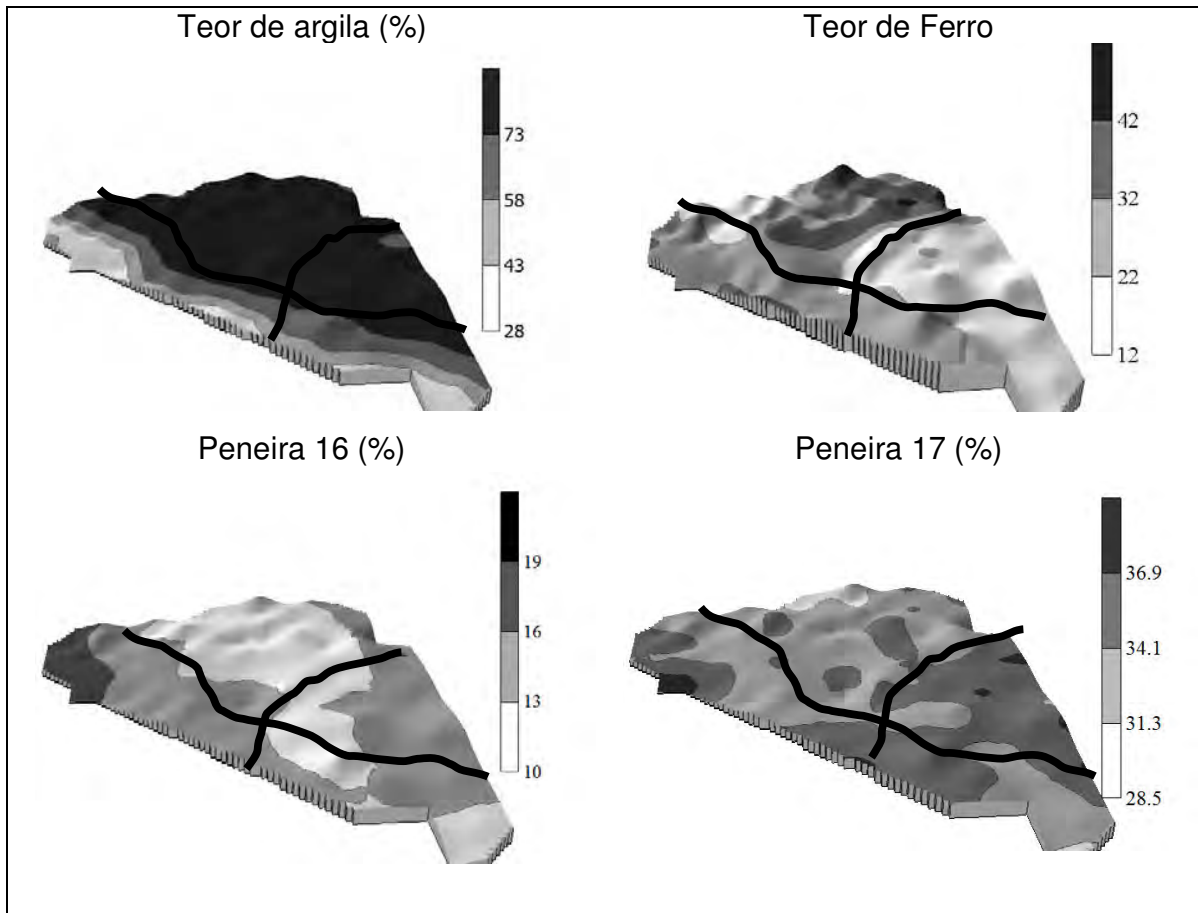


Figura 6. Mapas de distribuição espacial para os atributos do solo: teor de argila e teor de ferro, na profundidade de 0,0-0,2 m e dos atributos da produção de café, no ano de 2007.

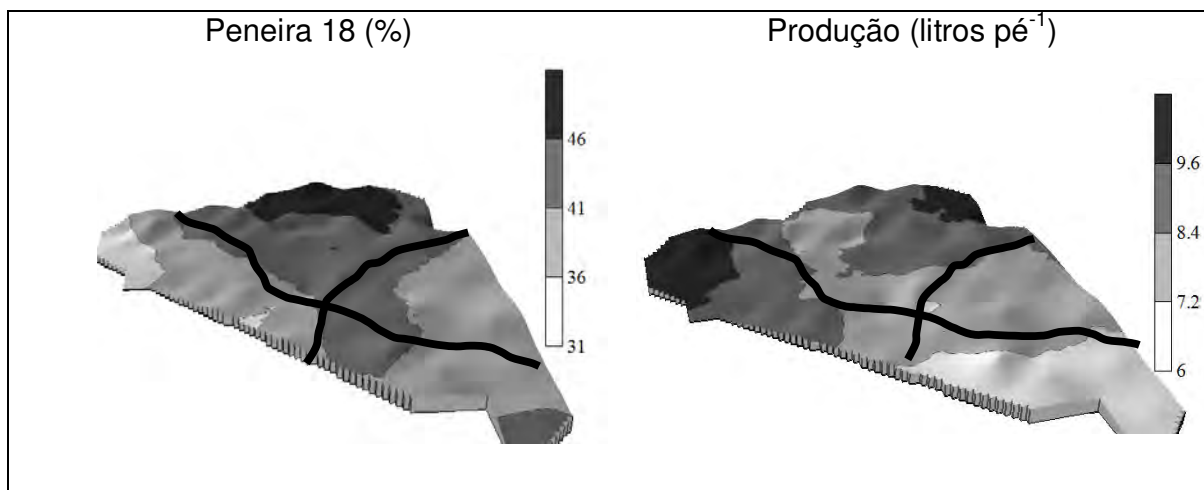


Figura 7. Mapas de distribuição espacial para os atributos da produção de café, no ano de 2007.

Com base nos 145 pontos, foram utilizados 116 pontos para a construção de um modelo para prever os valores da peneira 18, com base nos teores de argila e Fe do solo (Equação 2).

$$P_{18} = 0,242 + 0,00174 \% \text{ argila} + 0,00185 \text{ Fe}$$

(2)

O modelo pode prever 18,6% do valor da peneira 18, com base nos teores de argila e Fe do solo. O restante dos pontos (29 pontos) foram utilizados para validar o modelo. A somatória do quadrado dos resíduos (SQR) foi de 0,1727.

3.4 Conclusões

As pequenas variações da forma do relevo influenciaram na distribuição espacial dos atributos da produção

Os atributos teor de argila e teor de Fe no solo podem ser utilizados como indicadores ambientais, auxiliando na identificação de zonas de manejo específico e predição de atributos do fruto de café.

3.5 Referências

BOGAERT, P.; D'OR, D. Estimating Soil Properties from Thematic Soil Maps: The Bayesian Maximum Entropy Approach. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.66, p.1.492–1.500, 2002.

BUOL, S. W. Suelos tropicales: clasificación y características. In: SALINAS, J.G.; GOULEY, L.M. Sorgo para suelos ácidos. Cali: CIAT, p.49-62, 1990.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - correlação espacial entre mineralogia e agregados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, p. 2.279-2.288, 2008.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L. A. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto-SP. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.31, p.519-539, 2007.

CARVALHO JUNIOR, W.de; SCHAEFER, C.E.G.R.; CHAGAS, CÉSAR DA SILVA Y FERNANDES FILHO, ELPÍDIO INÁCIO. Análise multivariada de Argissolos da faixa atlântica brasileira. Revista Brasileira de Ciência Solo, Viçosa, v.32, p.2.081-2.090, 2008.

CARVALHO, L.G.de; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P.R.; ALVES, H. M. R. Modelo de regressão para a previsão de produtividade de cafeeiros no Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.8, p.204-211, 2004.

COOLEY, W. W.; LOHNES, P. R. Multivariate data analysis. New York: Wiley, 1971.

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

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 212 p, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos.2. ed. Rio de Janeiro, p. 306, 2006.

GOLDEN SOFTWARE. Surfer Version 8.00. Golden: Surface Mapping System, 1999.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W.. Applied multivariate analysis. 5. ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.

KRAVCHENKO, A.N.; ROBERTSON, G.P.; THELEN, K.D.; HARWOOD, R.R. Management, Topographical, and Weather Effects on Spatial Variability of Crop Grain Yields. Agronomy Journal, Madison, v. 97, p. 514-523, 2005.

MALLARINO, A. P.; MAZHAR, U. H.; WITTRY, D.; BERMUDEZ, M. Variation in Soybean Response to Early Season Foliar Fertilization among and within Fields, Agronomy Journal, Madison, v.93, p.1.220-1.226, 2001.

MARTÍN, N.F.; BOLLERO, G.A.; BULLOCK, D.G. Associations between field characteristics and soybean plant performance using canonical correlation analysis. Plant and Soil, D Hague, v. 55, p. 273-39, 2005.

MCBRATNEY, B.; SANTOS, M. L. M.; MINASNY, B. On digital soil mapping. Geoderma, Amsterdam, v.117, p.3-52, 2003.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2005.

MONTGOMERY, D. R. Predicting landscapescale erosion rates using digital elevation models. Comptes Rendus Geoscience, Paris, v.335, p.1.121–1.130, 2003.

ODEH, I. O. A.; CHITTLEBOROUGH, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Elucidation of soil-landform interrelationships by canonical ordination analysis. Geoderma, Amsterdam, v. 49, p.1–32, 1991.

PENNOCK, D. J. Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.69, p.15–26, 2003.

PENNOCK, D.; WALLEY, F.; SOLOHUB, M.; SI, B.; HNATOWICH, G. Topographically Controlled Yield Response of Canola to Nitrogen Fertilizer. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.65, p.1.838-1.845, 2001.

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

SOUZA, Z. M. de; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.. Spatial variability of the physical and mineralogical properties of the soil from the areas with variation in landscape shapes. Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba, v.52, p.305-316, 2009.

SCAA CUPPING PROTOCOLS. Protocolo para análise sensorial de café 2008 Disponível em:<http://coffeetraveler.net/wpcontent/files/901SCAA_CuppingProtocols_TSC_DocV_Revec08_Portuguese.pdf>. Acesso em: 30 maio. 2008.

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

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

VOLTZ, M.; GOULARD, M. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. Geoderma, Amsterdam, v. 62, p.109–123, 1994.

WEILL, M. A. M. ; ARRUDA, F. B. ; OLIVEIRA, J. B. ; DONZELI, P. L.; VAN RAIJ, B. Avaliação de fatores edafoclimáticos e do manejo na produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) no oeste Paulista. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v.23, p.891-901, 1999.

Apêndice

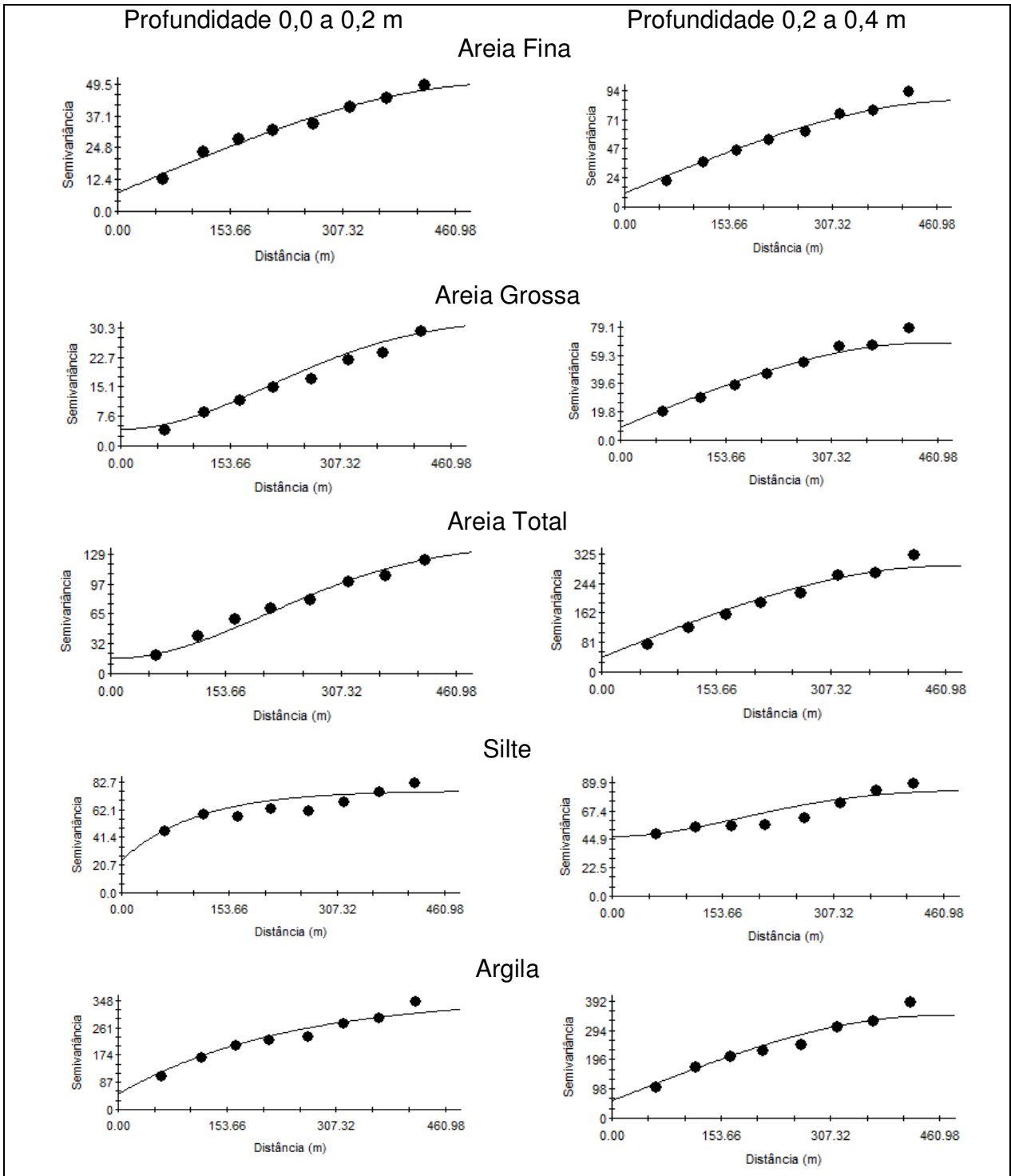


Figura 1A. Semivariogramas dos atributos granulométricos do solo.

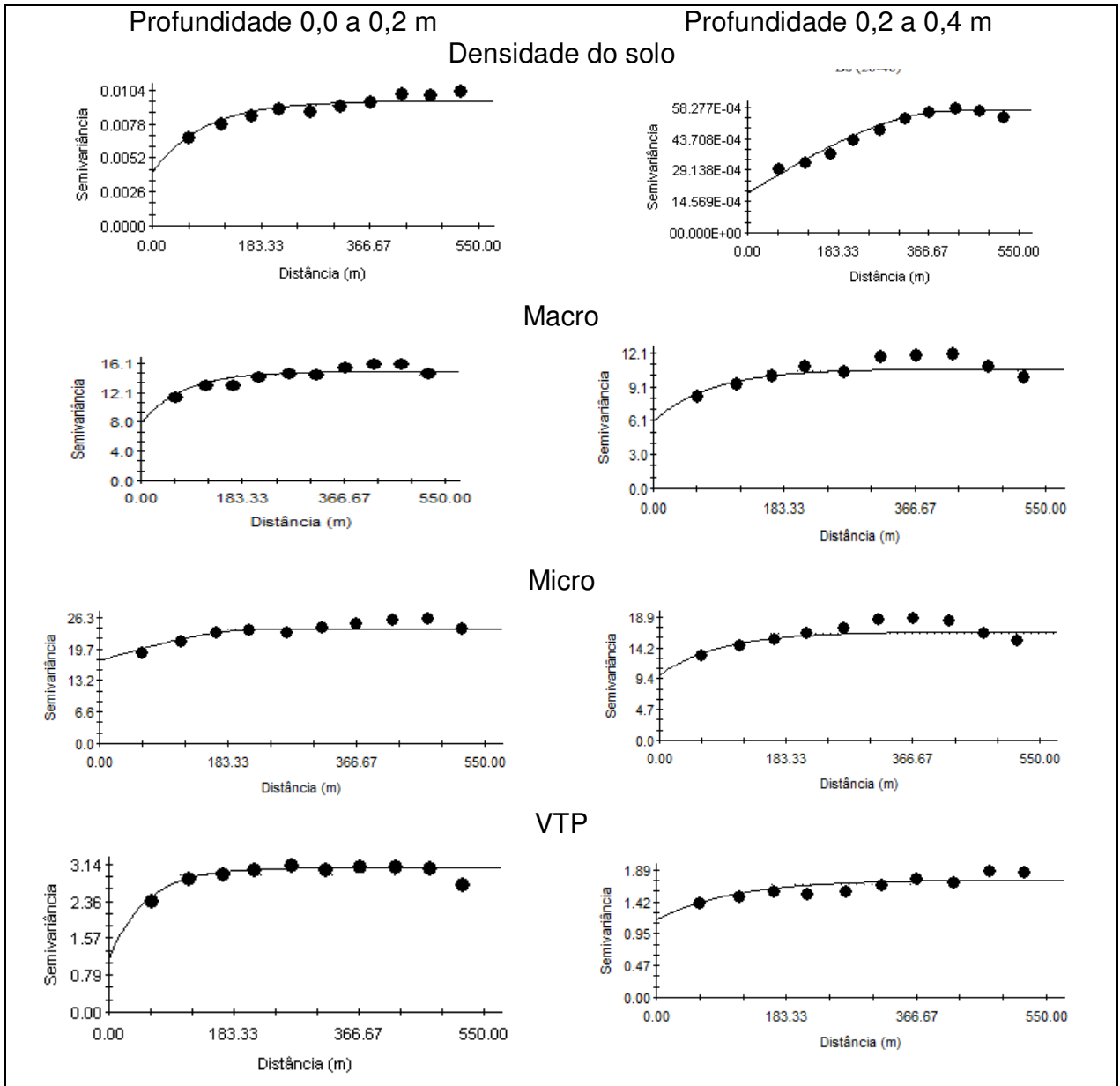


Figura 2A. Semivariogramas dos atributos físicos do solo.

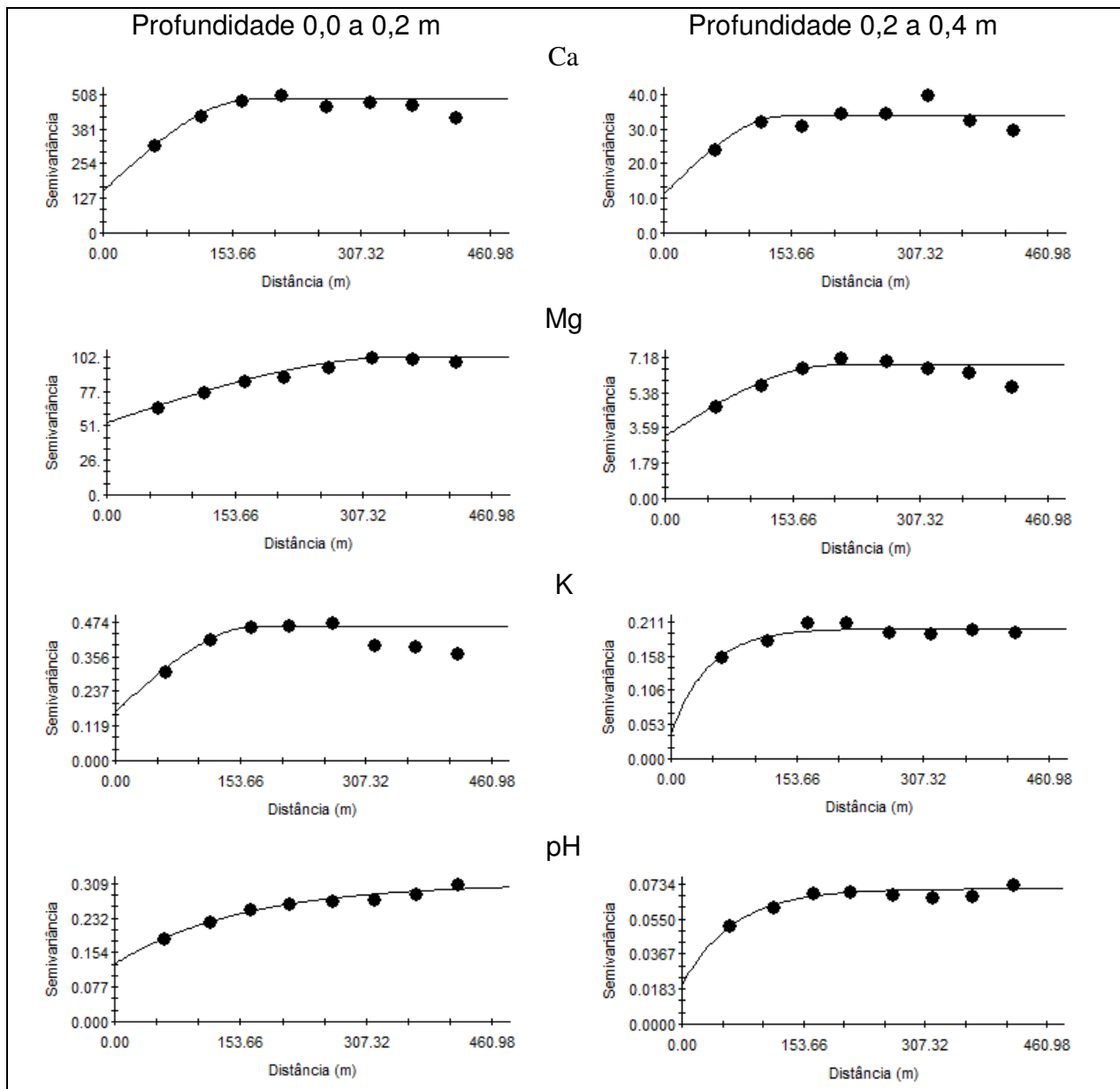


Figura 3A. Semivariogramas dos atributos químicos do solo.

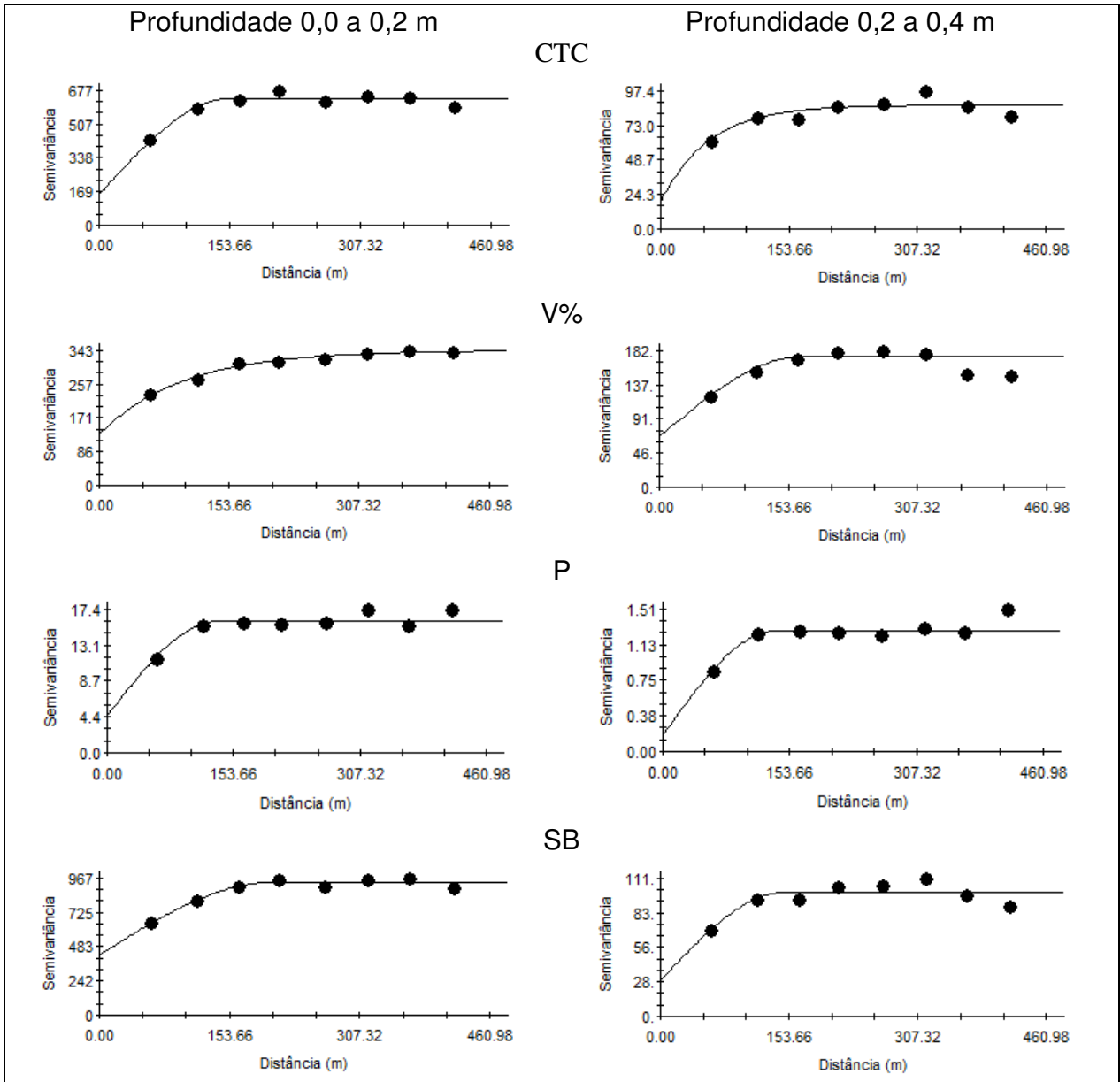


Figura 4A. Semivariogramas dos atributos químicos do solo.

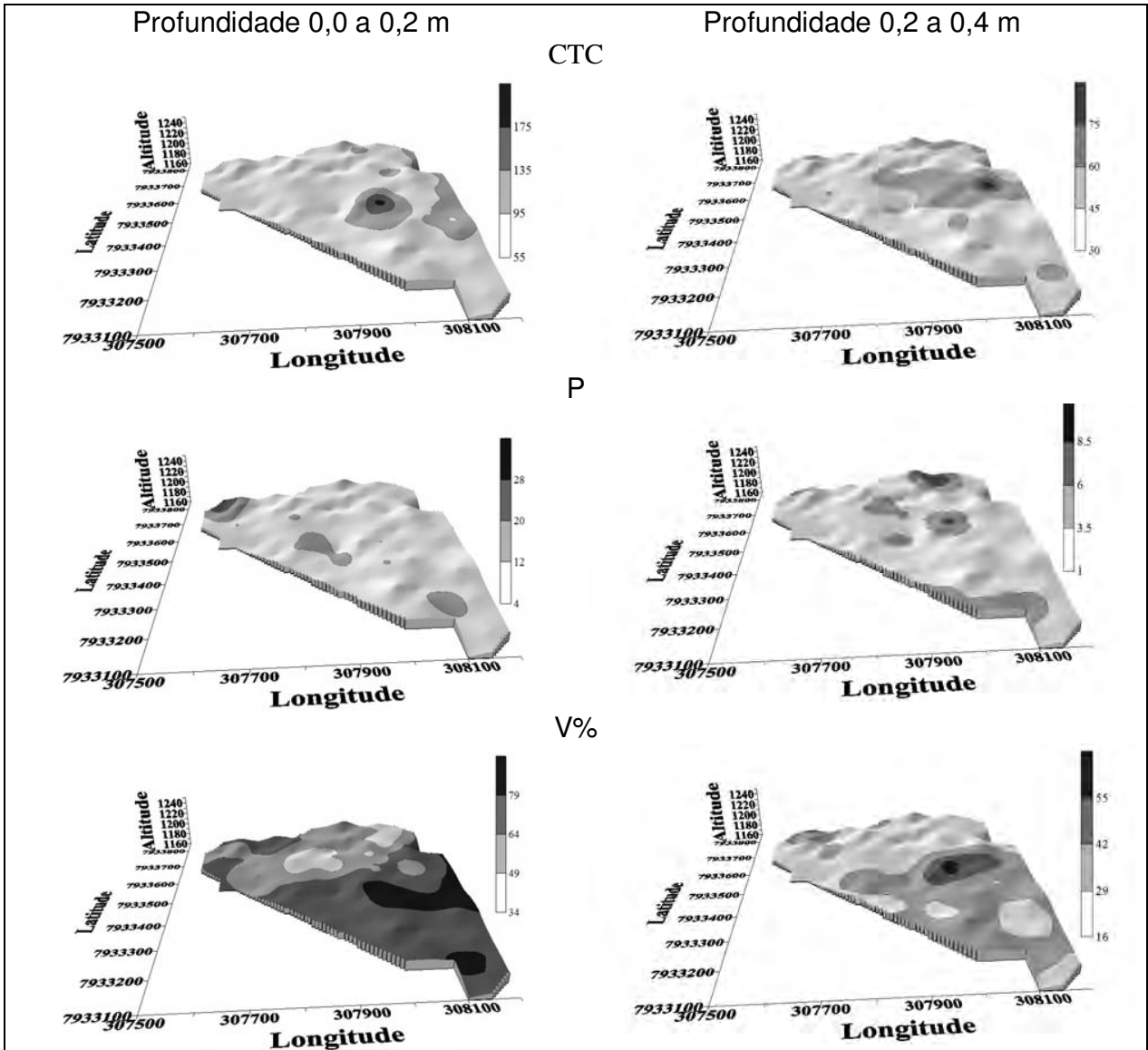


Figura 5A. Mapas de distribuição espacial dos atributos químicos do solo.

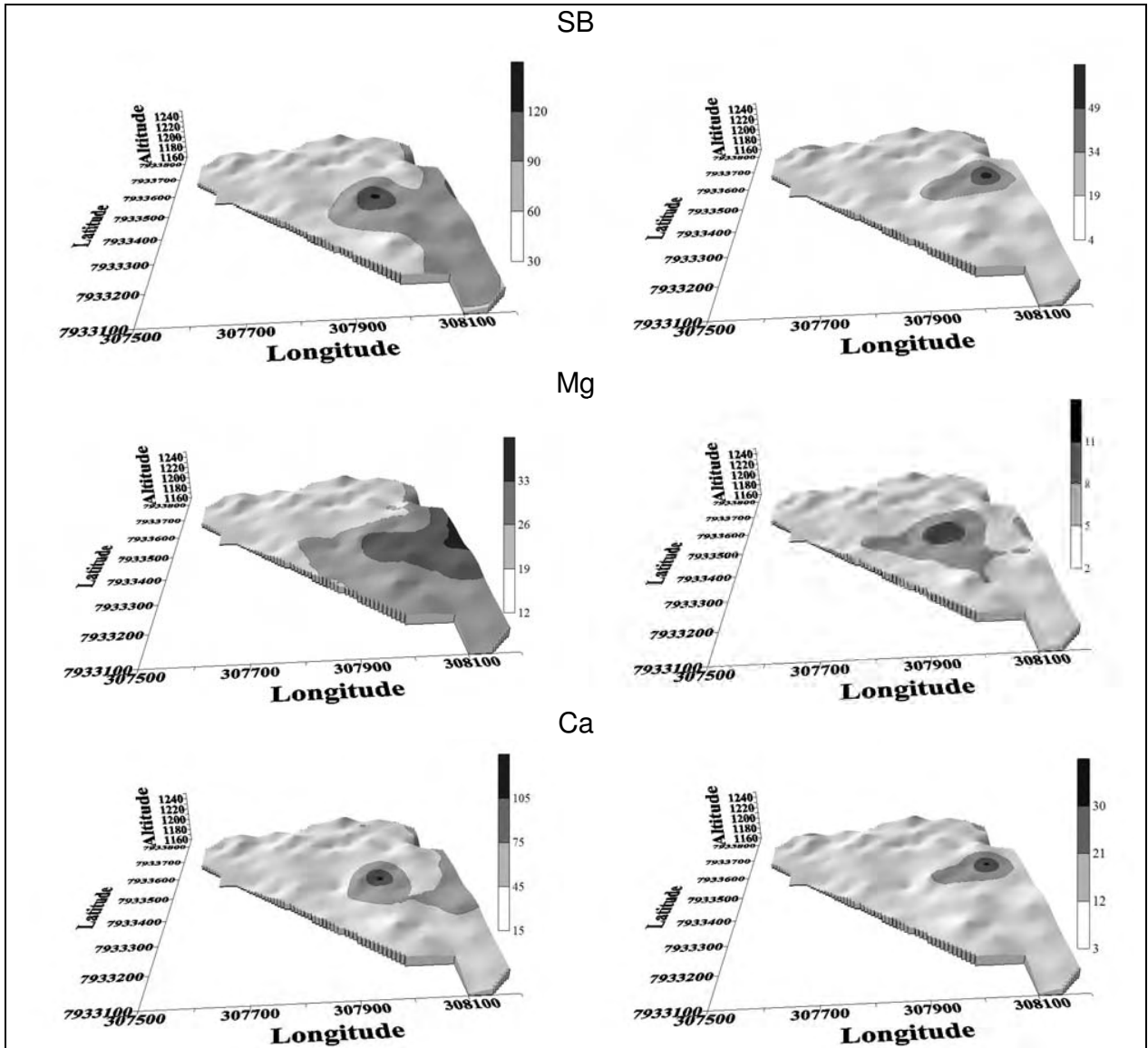


Figura 6A. Mapas de distribuição espacial dos atributos químicos do solo.

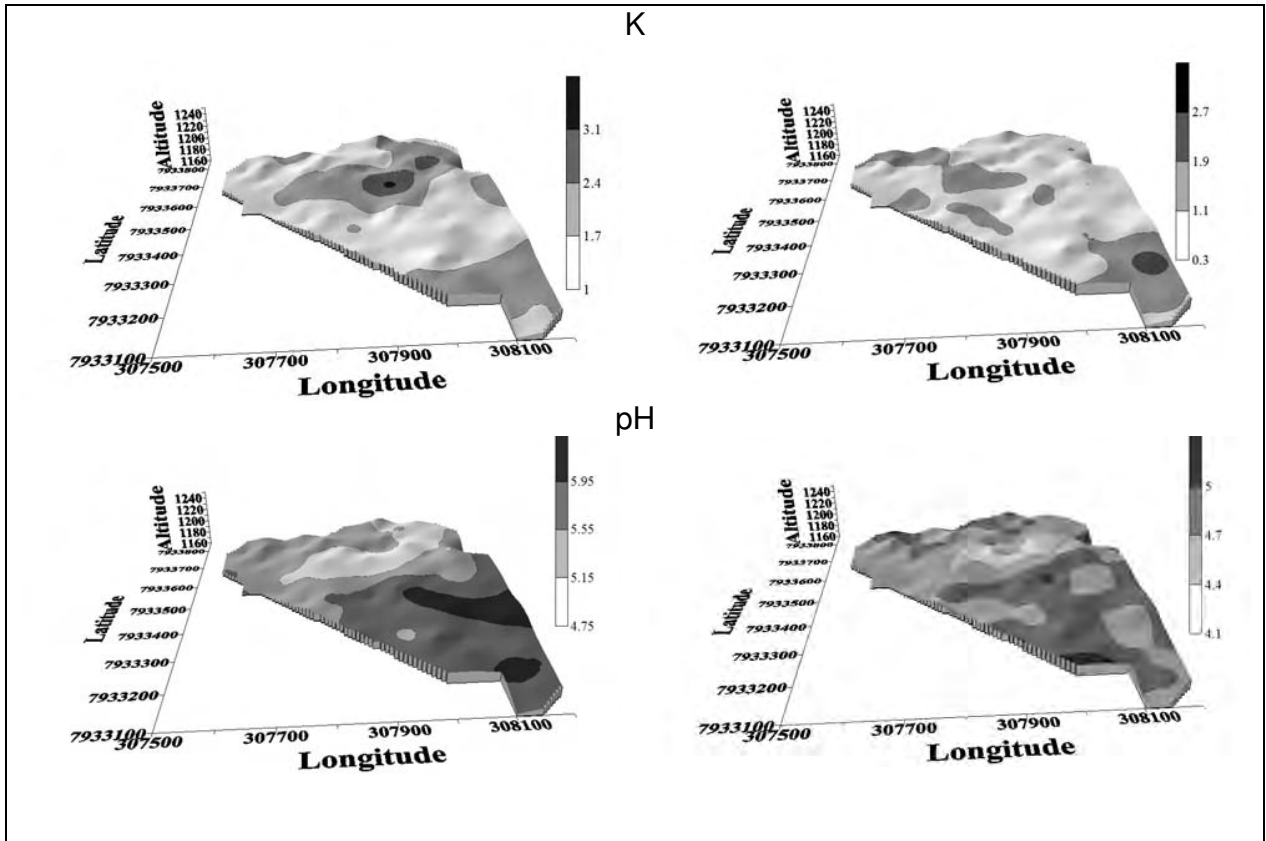


Figura 7A. Mapas de distribuição espacial dos atributos químicos do solo.

Tabela 1A. Atributos físicos do solo profundidade 0,0 a 0,2 m.

Ponto	VTP (%)	Micro (%)	Macro (%)	DS (kg.dm ⁻³)
01	46,70	39,21	7,48	1,12
02	45,30	29,53	15,76	1,03
03	44,72	29,98	14,74	1,05
04	44,45	27,11	17,35	0,95
05	45,50	25,40	20,10	0,99
06	46,73	35,07	11,66	1,13
07	44,88	27,44	17,44	0,97
08	42,32	29,35	12,97	0,92
09	46,64	37,40	9,24	1,22
10	41,91	35,82	6,09	1,02
11	45,50	40,78	4,72	1,08
12	43,85	36,11	7,75	1,09
13	45,11	31,01	14,11	1,05
14	45,75	29,58	16,16	1,05
15	43,03	27,98	15,05	0,94
16	45,47	39,69	5,78	1,07
17	44,75	31,25	13,49	1,03
18	45,46	42,76	2,70	1,11
19	45,04	32,09	12,96	1,06
20	42,73	30,38	12,36	1,01
21	44,53	28,05	16,48	1,04
22	46,59	30,05	16,54	1,07
23	44,01	29,13	14,88	1,02
24	42,81	33,30	9,52	0,99
25	40,36	19,81	20,55	0,86
26	44,87	28,08	16,80	1,02
27	45,03	40,52	4,51	1,14
28	45,78	38,88	6,90	1,11
29	46,11	36,90	9,21	1,12
30	44,71	32,74	11,98	1,05
31	48,38	42,41	5,98	1,19
32	40,33	28,85	11,48	0,95
33	44,54	32,57	11,97	1,00
34	45,38	33,90	11,47	1,06
35	41,77	32,79	8,98	1,00
36	44,54	34,64	9,90	1,09

Continua...

Tabela 1A. Atributos físicos do solo profundidade 0,0 a 0,2 m (continuação).

Ponto	VTP (%)	Micro (%)	Macro (%)	DS (kg.dm ⁻³)
37	41,12	31,89	9,22	1,03
38	43,90	36,14	7,75	1,01
39	45,52	38,83	6,69	1,16
40	43,37	29,04	14,33	1,01
41	44,86	41,07	3,79	1,09
42	44,67	33,67	11,01	1,03
43	43,11	27,45	15,66	0,99
44	43,26	30,02	13,24	1,03
45	44,70	39,13	5,57	1,08
46	41,94	33,35	8,58	0,94
47	45,28	33,90	11,38	0,97
48	43,65	38,49	5,17	1,08
49	45,39	37,73	7,65	1,18
50	44,85	36,47	8,39	1,10
51	46,88	42,11	4,77	1,20
52	48,02	39,81	8,21	1,23
53	46,07	37,30	8,77	1,17
54	45,16	40,28	4,88	1,19
55	41,98	26,96	15,02	0,99
56	44,81	34,94	9,87	1,15
57	42,53	28,76	13,76	1,01
58	44,13	32,71	11,42	1,10
59	45,87	34,20	11,67	1,13
60	44,16	32,83	11,34	1,06
61	46,52	28,85	17,67	1,07
62	43,33	30,89	12,43	1,07
63	44,41	38,86	5,55	1,12
64	44,19	28,60	15,59	1,03
65	45,47	38,67	6,80	1,11
66	48,14	38,26	9,88	1,15
67	44,33	34,51	9,82	1,15
68	48,31	44,88	3,43	1,29
69	48,58	43,32	5,26	1,34
70	46,79	40,87	5,92	1,29
71	45,74	39,14	6,60	1,20
72	45,88	32,55	13,33	1,16

Continua...

Tabela 1A. Atributos físicos do solo profundidade 0,0 a 0,2 m (continuação).

Ponto	VTP (%)	Micro (%)	Macro (%)	DS (kg.dm ⁻³)
73	46,96	37,98	8,97	1,31
74	47,33	35,51	11,82	1,19
75	45,86	35,11	10,76	1,11
76	49,66	46,03	3,63	1,22
77	48,11	41,79	6,32	1,24
78	47,62	40,39	7,23	1,26
79	46,08	36,90	9,18	1,17
80	46,77	46,60	0,17	1,16
81	47,08	32,46	14,63	1,08
82	47,04	45,21	1,82	1,28
83	42,73	40,18	2,55	1,20
84	46,09	38,74	7,35	1,19
85				1,04
86	45,85	39,96	5,89	1,24
87	46,10	35,09	11,02	1,03
88	49,29	35,56	13,72	1,13
89	46,16	40,90	5,26	1,21
90	47,25	42,01	5,24	1,21
91	44,49	33,69	10,79	1,11
92	45,17	36,01	9,15	1,10
93	45,75	34,46	11,30	1,10
94	40,26	24,88	15,39	0,90
95	48,85	38,74	10,11	1,14
96	47,07	31,79	15,28	1,04
97	45,07	34,24	10,83	1,09
98	47,73	40,61	7,11	1,23
99	42,36	24,61	17,74	0,90
100	45,31	36,28	9,03	1,10
101	47,39	38,55	8,84	1,18
102	44,48	31,05	13,43	1,07
103	46,00	38,83	7,16	1,23
104	45,54	30,78	14,76	1,04
105	33,95	14,81	19,14	0,60
106	46,42	29,64	16,78	1,06
107	46,25	35,36	10,89	1,11
108	46,76	39,56	7,20	1,19

Continua...

Tabela 1A. Atributos físicos do solo profundidade 0,0 a 0,2 m (continuação).

Ponto	VTP (%)	Micro (%)	Macro (%)	DS (kg.dm ⁻³)
109	46,36	37,18	9,17	1,13
110	47,71	40,09	7,62	1,19
111	45,01	34,17	10,83	1,09
112	44,05	33,86	10,20	1,09
113	43,95	30,18	13,77	1,00
114	47,63	36,11	11,52	1,05
115	45,17	32,36	12,82	1,05
116	45,41	35,57	9,84	1,12
117	46,76	36,97	9,78	1,08
118	44,37	35,52	8,85	1,05
119	45,13	33,67	11,46	1,10
120	45,68	31,42	14,26	1,04
121	43,55	29,73	13,82	1,01
122	45,19	32,94	12,25	1,04
123	43,92	38,31	5,62	1,00
124	44,92	31,30	13,62	1,06
125	44,00	31,41	12,60	1,02
126	44,29	31,71	12,59	1,01
127	45,68	35,18	10,50	1,12
128	45,48	36,23	9,26	1,09
129	43,50	30,00	13,51	1,03
130	45,63	35,72	9,91	1,17
131	46,23	39,52	6,71	1,15
132	47,14	33,56	13,58	1,20
133	45,80	34,71	11,09	1,15
134	44,23	30,91	13,32	1,08
135	45,00	31,67	13,33	1,08
136	41,09	29,55	11,54	1,00
137	47,02	37,75	9,28	1,19
138	46,09	39,66	6,43	1,16
139	44,00	33,16	10,84	1,14
140	45,71	31,84	13,87	1,09
141	47,43	42,85	4,57	1,16
142	45,53	41,91	3,62	1,11
143	44,46	36,73	7,72	1,14
144	47,07	38,91	8,17	1,21
145	44,85	34,73	10,12	1,19

Tabela 2A. Atributos físicos do solo profundidade 0,2 a 0,4 m.

Ponto	VTP (%)	Micro (%)	Macro (%)	DS (kg.dm ⁻³)
01	47,52	32,68	14,84	1,10
02	42,10	24,67	17,42	0,97
03	45,13	30,55	14,58	1,07
04	40,47	24,80	15,66	0,97
05	46,66	32,71	13,94	1,07
06	46,56	30,66	15,89	1,07
07	43,83	26,06	17,78	1,00
08	43,87	30,15	13,71	1,00
09	39,80	36,21	3,58	1,13
10	46,22	31,43	14,79	1,07
11	47,67	24,42	23,26	1,12
12	44,53	33,32	11,21	1,04
13	45,26	28,52	16,74	1,02
14	47,12	34,37	12,76	1,08
15	45,98	32,71	13,27	1,09
16	46,80	28,55	18,25	1,07
17	45,75	29,69	16,05	1,11
18	45,60	28,25	17,34	1,05
19	43,28	27,99	15,29	1,02
20	45,83	27,57	18,26	1,06
21	41,64	16,06	25,58	0,99
22	48,21	28,25	19,95	1,06
23	45,96	29,49	16,47	1,04
24	42,75	25,95	16,81	1,00
25	45,84	32,43	13,41	1,09
26	45,54	25,36	20,19	0,97
27	43,59	27,20	16,39	1,00
28	46,39	31,94	14,46	1,12
29	47,90	35,00	12,89	1,17
30	45,77	25,32	20,45	1,01
31	44,30	27,90	16,40	1,06
32	46,17	28,38	17,79	0,98
33	45,71	28,83	16,88	1,06
34	45,66	34,05	11,61	1,08
35	45,21	30,42	14,80	1,04
36	45,02	30,06	14,95	1,07

Continua...

Tabela 2A. Atributos físicos do solo profundidade 0,2 a 0,4 m (continuação).

Ponto	VTP (%)	Micro (%)	Macro (%)	DS (kg.dm ⁻³)
37	47,12	34,40	12,71	1,03
38	41,58	26,34	15,24	1,02
39	47,48	39,63	7,86	1,16
40	45,93	35,77	10,16	1,17
41	45,74	28,76	16,98	1,06
42	45,91	30,06	15,85	1,08
43	48,07	35,10	12,97	1,17
44	42,26	33,99	8,28	1,11
45	46,16	29,01	17,16	1,05
46	44,42	27,31	17,11	1,02
47	43,47	22,42	21,05	0,93
48	46,05	37,20	8,86	1,22
49	49,14	38,85	10,29	1,26
50	46,21	33,02	13,20	1,12
51	44,46	33,69	10,77	1,16
52	46,57	38,64	7,93	1,24
53	44,91	35,49	9,42	1,18
54	46,53	32,15	14,38	1,16
55	44,17	28,70	15,46	1,10
56	46,67	29,33	17,34	1,09
57	46,01	27,48	18,53	1,05
58	46,64	34,45	12,19	1,18
59	47,85	30,38	17,47	1,12
60	46,87	32,05	14,82	1,13
61	46,10	33,20	12,90	1,20
62	48,79	40,01	8,78	1,32
63	46,45	33,52	12,93	1,17
64	47,43	32,46	14,98	1,16
65	45,77	31,68	14,09	1,10
66	45,28	32,25	13,03	1,19
67	46,74	36,00	10,75	1,25
68	46,09	39,35	6,74	1,27
69	45,40	39,06	6,34	1,34
70	46,54	31,26	15,27	1,14
71	48,83	33,01	15,83	1,23
72	46,24	28,79	17,44	1,16

Continua...

Tabela 2A. Atributos físicos do solo profundidade 0,2 a 0,4 m (continuação).

Ponto	VTP(%)	Micro (%)	Macro (%)	DS (kg.dm ⁻³)
73	47,43	36,38	11,04	1,29
74	47,16	36,33	10,83	1,31
75	45,47	36,97	8,50	1,23
76	48,30	38,16	10,13	1,23
77	47,91	37,76	10,15	1,25
78	48,10	36,92	11,18	1,22
79	47,26	36,07	11,19	1,20
80	46,70	36,11	10,59	1,16
81	46,61	32,58	14,02	1,15
82	47,56	36,72	10,84	1,20
83	45,99	33,11	12,88	1,18
84	47,38	34,95	12,44	1,19
85	46,52	36,80	9,72	1,19
86	47,60	35,22	12,39	1,20
87	45,25	28,62	16,62	1,10
88	46,43	28,53	17,90	1,06
89	46,44	41,48	4,96	1,19
90	46,22	42,14	4,08	1,18
91	45,20	29,76	15,45	1,09
92	45,89	31,78	14,11	1,12
93	43,74	23,36	20,38	0,97
94	44,12	31,14	12,98	1,08
95	46,57	27,51	19,06	1,05
96	48,47	33,76	14,71	1,16
97	46,75	32,09	14,67	1,14
98	45,41	33,12	12,29	1,14
99	46,00	31,78	14,22	1,11
100	48,16	31,10	17,06	1,10
101	45,69	34,16	11,54	1,16
102	44,96	37,66	7,31	1,15
103	49,86			1,16
104	45,80	29,05	16,75	1,07
105	43,40	29,55	13,85	1,01
106	46,23	34,29	11,94	1,10
107	45,95	28,71	17,24	1,06
108	48,11	37,18	10,94	1,22

Continua...

Tabela 2A. Atributos físicos do solo profundidade 0,2 a 0,4 m (continuação).

Ponto	VTP(%)	Micro (%)	Macro (%)	DS (kg.dm ⁻³)
109	45,68	32,85	12,83	1,12
110	44,08	37,45	6,63	1,12
111	44,97	33,64	11,32	1,13
112	45,56	33,52	12,04	1,10
113	46,06	30,88	15,17	1,08
114	46,05	30,91	15,15	1,04
115	47,64	32,77	14,87	1,08
116	45,92	34,96	10,96	1,16
117	43,05	32,87	10,17	1,05
118	46,57	37,90	8,67	1,19
119	44,62	33,01	11,61	1,09
120	45,09	30,66	14,42	1,04
121	45,76	31,16	14,60	1,05
122	47,34	28,62	18,72	1,06
123	46,96	40,02	6,94	1,25
124	44,22	35,69	8,54	0,98
125	45,75	30,73	15,02	1,09
126	47,60	32,71	14,89	1,16
127	44,97	34,68	10,29	1,15
128	44,88	32,79	12,09	1,16
129	45,80	32,90	12,90	1,15
130	47,92	32,22	15,69	1,13
131	44,80	33,35	11,45	1,18
132	45,47	30,36	15,12	1,19
133	45,78	30,88	14,90	1,14
134	47,33	35,58	11,75	1,20
135	45,81	30,45	15,36	1,07
136	43,17	30,26	12,91	1,09
137	47,51	30,84	16,67	1,14
138	44,74	32,25	12,49	1,06
139	45,31	30,47	14,84	1,12
140	47,58	35,25	12,34	1,23
141	47,11	33,62	13,49	1,15
142	47,02	36,21	10,81	1,12
143	47,91	35,45	12,46	1,24
144	45,57	31,53	14,05	1,16
145	46,18	31,92	14,27	1,22

Tabela 3A. Atributos químicos do solo profundidade 0,0 a 0,2 m.

Ponto	P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
01	36	29	5,0	2,8	18	8	34	28,8	62,8	46
02	400	36	6,4	1,2	111	37	18	149,2	167,2	89
03	7	29	5,8	1,3	36	23	20	60,3	80,3	75
04	12	30	5,8	1,5	35	18	28	54,5	82,5	66
05	5	31	4,1	3,7	4	3	64	10,7	74,7	14
06	5	37	4,1	1,6	5	4	72	10,6	82,6	13
07	8	26	4,1	2,4	6	3	58	11,4	69,4	16
08	9	34	5,8	0,6	72	42	22	114,6	136,6	84
09	6	35	4,3	1,5	11	6	52	18,5	70,5	26
10	9	46	5,4	0,8	41	22	31	63,8	94,8	67
11	10	44	5,4	1,8	50	24	22	75,8	97,8	78
12	9	36	5,4	1,0	36	21	31	58,0	89,0	65
13	5	29	4,5	1,1	11	7	47	19,1	66,1	29
14	5	29	5,3	2,0	25	12	31	39,0	70,0	56
15	8	34	4,3	1,3	9	4	58	14,3	72,3	20
16	6	34	5,9	0,5	36	23	20	59,5	79,5	75
17	8	36	5,2	1,4	36	21	31	58,4	89,4	65
18	10	37	6,1	0,6	68	42	20	110,6	130,6	85
19	6	33	4,7	1,8	12	8	42	21,8	63,8	34
20	7	28	5,8	1,3	31	21	25	53,3	78,3	68
21	5	32	4,6	2,6	13	6	42	21,6	63,6	34
22	34	34	4,9	2,4	28	8	42	38,4	80,4	48
23	7	33	5,5	1,0	35	20	22	56,0	78,0	72
24	650	34	5,8	1,7	80	25	28	106,7	134,7	79
25	3	18	4,9	0,6	14	5	28	19,6	47,6	41
26	8	35	4,7	2,1	28	20	47	50,1	97,1	52
27	7	36	5,5	0,8	33	21	22	54,8	76,8	71
28	4	27	4,8	1,4	12	8	38	21,4	59,4	36
29	7	33	5,8	0,7	30	20	18	50,7	68,7	74
30	7	39	5,7	0,9	32	20	22	52,9	74,9	71
31	5	33	4,2	2,7	7	5	52	14,7	66,7	22
32	12	40	4,9	3,1	30	19	47	52,1	99,1	53
33	7	40	5,7	0,9	37	20	20	57,9	77,9	74
34	12	33	5,8	1,0	36	21	22	58,0	80,0	73
35	6	33	5,3	1,3	26	14	28	41,3	69,3	60
36	8	31	5,7	1,4	32	20	22	53,4	75,4	71

Continua...

Tabela 3A. Atributos químicos do solo profundidade 0,0 a 0,2 m (continuação).

Ponto	P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
37	3	19	5,0	1,1	15	5	25	21,1	46,1	46
38	10	36	4,3	4,4	21	12	20	37,4	57,4	65
39	8	35	6,3	1,9	25	15	25	41,9	66,9	63
40	8	36	4,8	1,6	24	12	38	37,6	75,6	50
41	6	31	5,4	2,3	37	21	22	60,3	82,3	73
42	5	30	5,4	2,5	39	20	25	61,5	86,5	71
43	7	30	4,3	2,6	5	3	64	10,6	74,6	14
44	12	33	6,0	1,1	41	22	18	64,1	82,1	78
45	7	32	5,0	1,3	20	10	31	31,3	62,3	50
46	8	36	4,3	2,6	12	8	64	22,6	86,6	26
47	5	37	4,2	3,0	4	2	80	9,0	89,0	10
48	17	34	4,1	2,3	8	5	72	15,3	87,3	18
49	13	29	5,3	1,4	29	20	18	50,4	68,4	74
50	10	42	5,2	1,1	37	22	34	60,1	94,1	64
51	6	27	5,5	1,6	26	16	18	43,6	61,6	71
52	12	30	5,6	1,1	32	18	22	51,1	73,1	70
53	38	38	5,6	1,6	40	20	20	61,6	81,6	75
54	7	30	5,0	1,4	17	12	34	30,4	64,4	47
55	5	25	5,6	1,0	16	10	20	27,0	47,0	57
56	8	41	5,3	2,6	35	19	31	56,6	87,6	65
57	9	34	4,5	3,0	8	4	42	15,0	57,0	26
58	7	38	5,3	1,4	30	19	28	50,4	78,4	64
59	7	30	5,4	1,5	26	14	22	41,5	63,5	65
60	8	31	5,5	1,8	32	18	22	51,8	73,8	70
61	5	26	5,1	1,5	16	7	25	24,5	49,5	49
62	9	30	5,5	1,4	27	16	22	44,4	66,4	67
63	20	39	5,4	1,7	40	19	22	60,7	82,7	73
64	16	36	5,3	1,5	28	17	28	46,5	74,5	62
65	10	35	4,7	2,7	12	7	47	21,7	68,7	32
66	5	35	4,8	4,8	15	8	38	27,8	65,8	42
67	5	28	5,5	1,2	26	16	20	43,2	63,2	68
68	5	23	5,3	1,1	23	16	28	40,1	68,1	59
69	6	25	5,7	1,1	25	17	18	43,1	61,1	71
70	7	29	5,1	1,3	21	15	34	37,3	71,3	52
71	5	26	5,2	1,0	15	13	28	29,0	57,0	51
72	7	27	5,4	1,3	22	18	25	41,3	66,3	62

Continua...

Tabela 3A. Atributos químicos do solo profundidade 0,0 a 0,2 m (continuação).

Ponto	P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
73	7	28	6,0	1,6	39	21	15	61,6	76,6	80
74	8	26	5,9	0,9	38	23	20	61,9	81,9	76
75	8	32	5,6	1,4	31	20	22	52,4	74,4	70
76	10	28	5,6	1,1	29	17	22	47,1	69,1	68
77	14	31	5,8	1,5	39	18	20	58,5	78,5	75
78	7	29	5,4	2,2	26	17	25	45,2	70,2	64
79	10	33	5,7	1,9	35	21	20	57,9	77,9	74
80	6	32	5,2	1,6	26	15	31	42,6	73,6	58
81	6	32	5,5	1,4	30	15	22	46,4	68,4	68
82	6	30	5,9	1,5	32	19	20	52,5	72,5	72
83	5	28	5,4	1,1	21	16	22	38,1	60,1	63
84	6	32	5,8	1,2	30	21	20	52,2	72,2	72
85	6	31	5,2	1,5	23	17	28	41,5	69,5	60
86	12	34	5,6	1,4	36	20	22	57,4	79,4	72
87	6	28	5,4	1,5	26	16	22	43,5	65,5	66
88	10	35	5,3	1,3	31	22	31	54,3	85,3	64
89	12	32	5,5	1,6	32	20	22	53,6	75,6	71
90	19	27	5,9	1,4	50	30	20	81,4	101,4	80
91	13	39	5,6	0,9	42	25	22	67,9	89,9	76
92	9	31	5,6	1,2	28	22	22	51,2	73,2	70
93	9	34	5,8	0,8	40	19	18	59,8	77,8	77
94	15	39	6,0	2,2	67	36	15	105,2	120,2	88
95	6	27	5,8	0,7	28	19	18	47,7	65,7	73
96	11	30	5,8	1,5	35	20	18	56,5	74,5	76
97	20	31	5,7	1,6	37	22	20	60,6	80,6	75
98	7	27	5,6	1,0	24	19	20	44,0	64,0	69
99	11	29	6,1	1,8	38	21	16	60,8	76,8	79
100	11	32	6,1	1,8	38	23	16	62,8	78,8	80
101	16	56	6,3	2,1	190	57	12	249,1	261,1	95
102	9	31	6,3	1,4	42	30	13	73,4	86,4	85
103	9	31	6,3	1,4	43	30	13	74,4	87,4	85
104	9	29	6,3	1,0	43	31	13	75,0	88,0	85
105	13	36	6,5	2,0	61	38	10	101,0	111,0	91
106	13	35	6,5	0,9	72	48	10	120,9	130,9	92
107	8	32	6,3	1,6	45	31	13	77,6	90,6	86
108	8	32	6,3	1,0	46	36	13	83,0	96,0	86

Continua...

Tabela 3A. Atributos químicos do solo profundidade 0,0 a 0,2 m (continuação).

Ponto	P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
109	8	29	6,2	1,2	39	24	15	64,2	79,2	81
110	6	28	5,5	2,0	33	26	25	61,0	86,0	71
111	7	28	5,5	1,1	36	33	25	70,1	95,1	74
112	7	31	5,4	1,3	34	28	25	63,3	88,3	72
113	7	30	6,1	1,0	40	30	15	71,0	86,0	83
114	15	46	5,7	3,0	67	47	20	117,0	137,0	85
115	8	34	6,0	2,2	50	35	15	87,2	102,2	85
116	9	30	5,7	2,0	47	34	22	83,0	105,0	79
117	3	17	4,5	0,8	8	4	34	12,8	46,8	27
118	10	28	5,4	1,9	30	16	25	47,9	72,9	66
119	9	31	6,0	1,4	63	44	16	108,4	124,4	87
120	11	34	5,9	2,0	62	42	20	106,0	126,0	84
121	9	37	6,0	1,3	54	33	16	88,3	104,3	85
122	9	36	5,8	1,4	56	38	22	95,4	117,4	81
123	10	30	5,7	2,9	32	19	22	53,9	75,9	71
124	6	33	5,4	1,7	32	22	28	55,7	83,7	67
125	10	27	5,8	1,7	35	21	18	57,7	75,7	76
126	9	34	5,6	1,5	36	24	25	61,5	86,5	71
127	7	28	6,0	1,7	41	26	16	68,7	84,7	81
128	8	24	5,9	2,1	34	20	18	56,1	74,1	76
129	9	26	6,0	1,5	33	19	15	53,5	68,5	78
130	11	28	6,1	1,6	42	25	16	68,6	84,6	81
131	10	28	5,6	2,1	29	21	22	52,1	74,1	70
132	10	29	6,0	1,5	45	28	16	74,5	90,5	82
133	34	32	6,3	2,4	48	26	10	76,4	86,4	88
134	11	33	5,5	1,7	34	19	25	54,7	79,7	69
135	32	32	5,6	1,3	29	15	25	45,3	70,3	64
136	11	29	5,5	1,6	37	22	25	60,6	85,6	71
137	22	35	6,1	2,6	48	26	15	76,6	91,6	84
138	8	34	5,5	1,8	31	21	28	53,8	81,8	66
139	5	30	5,6	1,7	25	19	22	45,7	67,7	68
140	5	34	5,7	2,2	35	25	20	62,2	82,2	76
141	5	34	5,7	1,9	24	17	20	42,9	62,9	68
142	6	36	5,7	2,2	33	22	22	57,2	79,2	72
143	6	26	5,7	1,0	26	18	20	45,0	65,0	69
144	9	28	5,6	1,6	34	22	22	57,6	79,6	72
145	8	28	5,9	1,3	33	21	16	55,3	71,3	78

Tabela 4A. Micronutrientes do solo profundidade 0,0 a 0,2 m.

Ponto	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	Al
01	0,22	2,3	42,0	0,5	0,3	10,0	0,0
02	0,26	11,9	43,0	7,1	6,3	7,0	0,0
03	0,16	4,8	32,0	1,9	1,4	5,0	0,0
04	0,28	3,2	32,0	1,2	1,1	9,0	0,0
05	0,56	2,2	52,0	0,4	0,3	34,0	6,0
06	0,42	2,0	41,0	0,4	0,3	15,0	5,0
07	0,67	5,1	46,0	0,5	0,6	74,0	6,0
08	0,25	7,5	27,0	2,7	2,3	6,0	0,0
09	0,37	7,4	70,0	0,7	0,7	34,0	3,0
10	0,23	3,6	32,0	1,2	0,9	4,0	0,0
11	0,16	5,2	29,0	1,9	1,8	4,0	0,0
12	0,22	3,2	39,0	0,9	0,8	5,0	0,0
13	0,43	2,4	57,0	0,4	0,3	76,0	2,0
14	0,33	4,7	31,0	1,6	1,1	3,0	0,0
15	0,54	3,4	60,0	0,6	0,4	84,0	3,0
16	0,21	2,3	13,0	0,8	0,7	1,0	0,0
17	0,56	4,1	48,0	1,4	0,8	5,0	0,0
18	0,24	5,3	35,0	2,0	1,5	4,0	0,0
19	0,32	2,4	27,0	0,5	0,4	32,0	1,0
20	0,21	4,0	30,0	1,1	0,9	2,0	0,0
21	0,57	1,1	57,0	0,4	0,2	4,0	1,0
22	0,29	3,3	57,0	1,1	1,2	3,0	1,0
23	0,17	4,0	32,0	1,1	1,0	1,0	0,0
24	0,14	3,5	49,0	2,7	7,7	2,0	0,0
25	0,14	0,6	8,0	0,2	0,2	1,0	1,0
26	0,22	5,0	53,0	1,1	0,8	26,0	0,0
27	0,13	3,5	15,0	1,0	0,8	1,0	0,0
28	0,15	1,8	28,0	0,4	0,3	4,0	1,0
29	0,17	1,6	13,0	0,3	0,4	1,0	0,0
30	0,22	2,0	15,0	0,4	0,6	2,0	0,0
31	0,48	1,2	25,0	0,2	0,2	87,0	6,0
32	0,50	5,9	49,0	1,2	1,6	13,0	1,0
33	0,20	2,5	14,0	0,5	0,8	2,0	0,0
34	0,21	6,3	16,0	3,2	1,6	1,0	0,0
35	0,22	3,9	36,0	0,9	0,8	2,0	0,0
36	0,25	1,3	13,0	0,4	0,4	2,0	0,0

Continua...

Tabela 4A. micronutrientes do solo profundidade 0,0 a 0,2 m (continuação).

Ponto	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	Al
37	0,68	0,5	6,0	0,2	0,2	2,0	0,0
38	0,71	1,8	37,0	0,4	0,4	4,0	3,0
39	0,41	1,2	22,0	0,4	0,3	2,0	0,0
40	0,64	2,4	32,0	0,6	0,6	4,0	1,0
41	0,32	2,3	20,0	0,3	0,6	1,0	0,0
42	0,30	1,8	16,0	0,3	0,5	1,0	0,0
43	0,94	2,6	67,0	0,2	0,3	20,0	9,0
44	0,35	2,2	13,0	0,8	0,7	1,0	0,0
45	0,42	2,2	28,0	0,4	0,4	1,0	0,0
46	1,08	2,0	30,0	0,2	0,3	57,0	4,0
47	1,24	1,4	46,0	0,2	0,2	90,0	15,0
48	0,75	5,2	52,0	0,8	0,6	22,0	5,0
49	0,25	3,5	20,0	1,3	1,0	3,0	0,0
50	0,35	5,1	32,0	2,1	1,5	3,0	0,0
51	0,23	1,2	17,0	0,3	0,3	1,0	0,0
52	0,31	2,4	20,0	1,4	1,0	2,0	0,0
53	0,29	4,4	22,0	1,4	1,7	5,0	0,0
54	0,30	1,6	23,0	0,4	0,4	3,0	1,0
55	0,23	0,9	14,0	0,2	0,2	1,0	0,0
56	0,26	4,4	19,0	2,0	1,7	2,0	0,0
57	0,51	3,5	29,0	0,4	0,4	75,0	6,0
58	0,33	3,0	22,0	0,9	0,9	1,0	0,0
59	0,21	2,4	24,0	1,1	0,8	2,0	0,0
60	0,31	3,7	26,0	1,5	1,1	2,0	0,0
61	0,23	1,9	20,0	0,3	0,4	4,0	0,0
62	0,27	2,0	26,0	1,1	0,6	2,0	0,0
63	0,29	3,6	30,0	2,1	1,5	4,0	0,0
64	0,28	2,6	25,0	1,2	0,9	5,0	0,0
65	0,79	3,7	51,0	1,1	0,8	14,0	3,0
66	0,51	1,7	36,0	0,6	0,3	9,0	0,0
67	0,22	4,0	26,0	1,3	0,9	4,0	0,0
68	0,23	2,8	30,0	1,0	0,7	4,0	0,0
69	0,22	1,2	25,0	0,5	0,3	3,0	0,0
70	0,28	1,8	41,0	0,7	0,4	4,0	0,0
71	0,26	1,9	41,0	0,7	0,4	3,0	0,0
72	0,19	1,7	32,0	0,7	0,4	5,0	0,0

Continua...

Tabela 4A. micronutrientes do solo profundidade 0,0 a 0,2 m (continuação).

Ponto	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	Al
73	0,16	2,8	19,0	0,7	1,0	8,0	0,0
74	0,17	2,6	26,0	1,1	0,7	7,0	0,0
75	0,21	2,5	31,0	1,3	0,7	2,0	0,0
76	0,23	2,9	23,0	1,4	0,8	3,0	0,0
77	0,33	3,1	24,0	1,4	0,9	2,0	0,0
78	0,22	2,8	30,0	0,7	0,8	2,0	0,0
79	0,24	3,0	26,0	1,4	0,8	2,0	0,0
80	0,25	3,6	28,0	1,4	0,8	3,0	0,0
81	0,21	3,2	34,0	1,4	0,8	2,0	0,0
82	0,19	3,2	25,0	1,4	0,8	2,0	0,0
83	0,23	1,4	30,0	0,7	0,4	2,0	0,0
84	0,15	2,4	29,0	1,4	0,6	6,0	0,0
85	0,21	2,8	38,0	1,4	0,7	8,0	0,0
86	0,22	3,1	34,0	1,4	0,8	7,0	0,0
87	0,21	2,5	36,0	0,7	0,6	6,0	0,0
88	0,27	2,7	29,0	1,4	0,9	7,0	0,0
89	0,28	1,9	30,0	0,7	0,6	5,0	0,0
90	0,22	3,3	17,0	1,4	0,9	7,0	0,0
91	0,23	4,9	30,0	2,1	1,4	9,0	0,0
92	0,21	1,4	21,0	0,7	0,5	4,0	0,0
93	0,28	2,8	17,0	0,7	0,9	4,0	0,0
94	0,24	3,3	16,0	1,4	1,4	7,0	0,0
95	0,31	1,3	21,0	0,7	0,4	6,0	0,0
96	0,25	2,5	21,0	1,4	0,9	5,0	0,0
97	0,33	3,8	29,0	1,4	1,2	6,0	0,0
98	0,29	1,3	20,0	0,5	0,4	5,0	0,0
99	0,26	2,8	19,0	1,4	0,8	6,0	0,0
100	0,21	2,2	19,0	0,7	0,7	4,0	0,0
101	0,39	5,4	16,0	2,9	3,1	7,0	0,0
102	0,20	1,8	13,0	0,6	0,6	3,0	0,0
103	0,32	1,9	13,0	0,6	0,6	4,0	0,0
104	0,30	1,6	16,0	0,5	0,5	3,0	0,0
105	0,20	3,4	14,0	1,0	1,3	3,0	0,0
106	0,27	2,3	15,0	1,0	0,8	2,0	0,0
107	0,22	2,3	11,0	0,7	0,8	2,0	0,0
108	0,21	2,1	15,0	0,8	0,7	3,0	0,0

Continua...

Tabela 4A. micronutrientes do solo profundidade 0,0 a 0,2 m (continuação).

Ponto	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	Al
109	0,22	2,4	14,0	0,9	0,8	2,0	0,0
110	0,23	1,9	22,0	1,2	0,6	8,0	0,0
111	0,23	2,0	30,0	0,9	0,5	5,0	0,0
112	0,24	1,6	20,0	0,8	0,5	5,0	0,0
113	0,21	1,7	17,0	1,0	0,5	3,0	0,0
114	0,36	4,5	21,0	2,6	2,0	12,0	0,0
115	0,24	3,1	20,0	1,4	0,9	6,0	0,0
116	0,21	3,2	16,0	1,3	1,1	3,0	0,0
117	0,17	0,5	9,0	0,3	0,1	4,0	2,0
118	0,23	4,0	23,0	1,4	0,8	7,0	0,0
119	0,16	2,5	22,0	1,7	0,8	7,0	0,0
120	0,20	3,0	20,0	1,8	1,0	7,0	0,0
121	0,24	4,8	18,0	2,5	1,6	6,0	0,0
122	0,29	4,0	25,0	1,9	1,1	5,0	0,0
123	0,45	3,2	24,0	1,1	0,7	4,0	0,0
124	0,22	2,5	17,0	0,8	0,6	4,0	0,0
125	0,27	2,4	16,0	0,8	0,7	4,0	0,0
126	0,22	2,5	18,0	0,9	0,9	5,0	0,0
127	0,23	3,2	12,0	1,0	1,1	5,0	0,0
128	0,16	1,9	10,0	1,4	0,6	5,0	0,0
129	0,22	1,7	17,0	1,0	0,6	5,0	0,0
130	0,23	2,4	16,0	1,2	0,9	5,0	0,0
131	0,27	2,2	24,0	1,2	0,6	8,0	0,0
132	0,16	4,1	18,0	2,1	1,4	7,0	0,0
133	0,31	3,3	17,0	2,9	1,5	4,0	0,0
134	0,22	2,7	23,0	0,9	0,8	4,0	0,0
135	0,33	2,0	26,0	0,7	0,5	14,0	0,0
136	0,18	1,9	22,0	1,2	0,6	6,0	0,0
137	0,23	4,0	17,0	2,8	1,3	8,0	0,0
138	0,21	2,5	23,0	0,8	0,5	5,0	0,0
139	0,26	2,5	26,0	0,8	0,6	4,0	0,0
140	0,31	3,7	20,0	1,5	1,1	6,0	0,0
141	0,20	2,8	26,0	1,2	0,6	5,0	0,0
142	0,19	2,6	26,0	1,6	0,6	6,0	0,0
143	0,17	2,2	25,0	0,7	0,4	3,0	0,0
144	0,16	4,0	17,0	1,4	1,7	3,0	0,0
145	0,19	4,9	22,0	1,7	1,5	3,0	0,0



Figura 1A. Área Experimental



Figura 2A. Área Experimental



Figura 3A Secagem dos grãos de café do experimento



Figura 4A Amostra para qualidade de bebida do experimento



Figura 5A Área Experimental

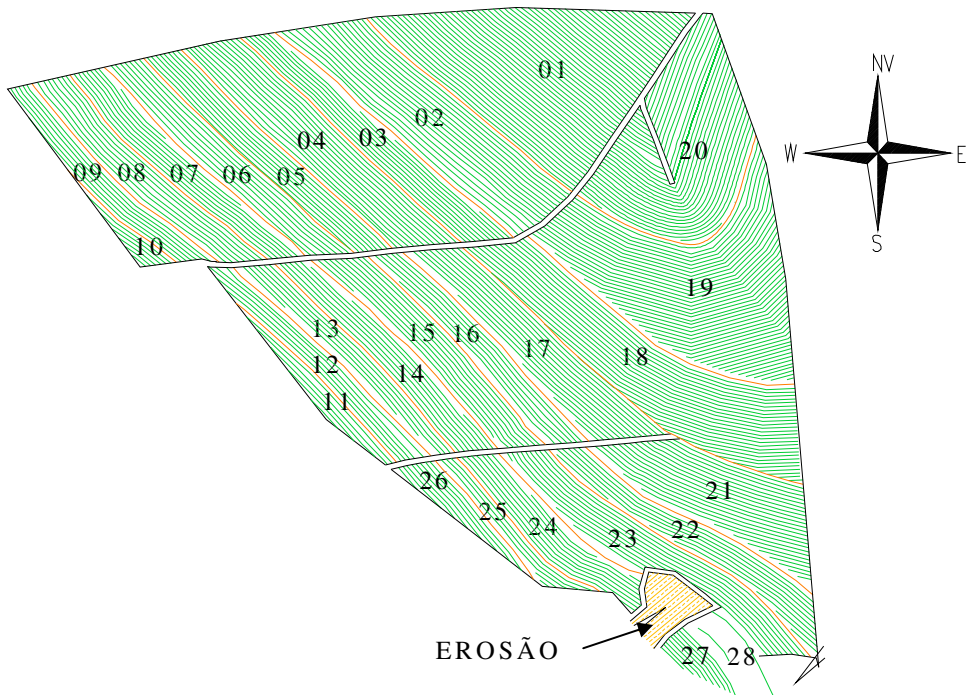


Figura 6A Mapa da Área Experimental