

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**COR DO SOLO NA CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS
ESPECÍFICAS DE MANEJO PARA CULTURA DO CAFÉ**

Danilo Almeida Baldo do Carmo

Engenheiro Agrônomo

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**COR DO SOLO NA CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS
ESPECÍFICAS DE MANEJO PARA CULTURA DO CAFÉ**

Danilo Almeida Baldo do Carmo

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior

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 (Ciência do Solo).

Carmo, Danilo Almeida Baldo do
C287c Cor do solo na caracterização de áreas específicas de manejo para
cultura do café / Danilo Almeida Baldo do Carmo. -- Jaboticabal,
2014

xi, 62 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014

Orientador: José Marques Junior

Banca examinadora: Marcos Omir Marques, Zigomar Menezes de
Souza

Bibliografia

1. Geoestatística. 2. Pedotransferência. 3. Qualidade. 4.
Produtividade. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias
e Veterinárias.

CDU 631.41:633.73

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

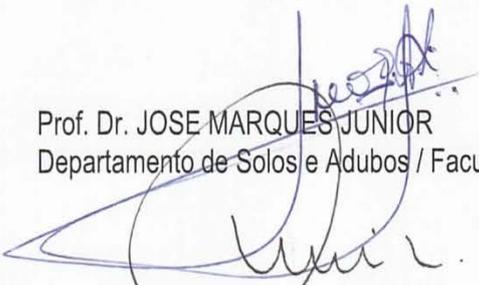
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: COR DO SOLO NA CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS ESPECÍFICAS DE MANEJO PARA CULTURA DO CAFÉ

AUTOR: DANILO ALMEIDA BALDO DO CARMO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

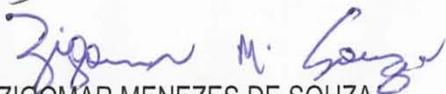


Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. MARCOS OMIR MARQUES

Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA

Universidade Estadual de Campinas / Campinas/SP

Data da realização: 16 de julho de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DANILO ALMEIDA BALDO DO CARMO – nasceu em 12 de abril de 1988 em Conceição das Alagoas, no Estado de Minas Gerais. Filho de Wagner Luís Baldo do Carmo e Valdete Maria Almeida do Carmo. Concluiu o curso Técnico Agrícola com habilitação em agricultura em 2006, pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), na cidade de Uberaba, e Técnico em Açúcar e Álcool pela mesma instituição (2009). Graduado em Engenharia Agrônoma pelas Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU (2012). Participou como pesquisador Júnior do Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico e Científico (CNPq), e Estagiou nas Empresas Públicas de Pesquisas do Governo do Estado de Minas Gerais e do Governo Federal (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, e Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária - EMBRAPA). Foi integrante do grupo de estudo e pesquisa nas culturas de algodão e cana-de-açúcar (GEAC) da FAZU. Integrante ativo do grupo de pesquisa Caracterização do Solo para Fins de Manejo Específico (CSME), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – Jaboticabal), coordenado pelo Prof. Dr. José Marques Júnior do Departamento de Solos e Adubos.

“Aprende que as circunstâncias e os ambientes têm influência sobre nós, mas nós somos responsáveis por nós mesmos. Começa a aprender que não se deve comparar com os outros, mas com o melhor que pode ser. Descobre que se leva muito tempo para se tornar a pessoa que quer ser, e que o tempo é curto.” William Shakespeare

Dedico

A DEUS, por ser a Razão de tudo o que somos e fazemos, e por tudo que me proporciona na vida.

Ofereço

Ao meu pai e à minha mãe (Wagner Luís e Valdete Maria),
a quem amo muito, pelo exemplo de vida e família,
pelo comprometimento de auxiliar a mim e acreditar
em minhas prestezas em prol da sociedade.

Ao meu irmão (Alisson Almeida do Carmo), por tudo que me ajudou até hoje.
À minha companheira e namorada (Priscila Soares), pelos nobres momentos e
companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Fundamentalmente, agradeço a DEUS pelos ideais de ajudar-me a estabelecer um trabalho que possa contribuir para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

Direciono as minhas palavras à minha família, pelo incentivo das ideias propostas. Dedico esta obra, bem como todas as minhas demais conquistas, aos meus amados pais (Wagner Luís e Valdete Maria) e meu querido irmão (Alisson Almeida do Carmo) e a minha namorada (Priscila Soares).

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, e ao curso de mestrado “Ciência do Solo”, pelas ocasiões de aprendizado.

Ao grande amigo Gustavo Zanetti Pollo e à empresa Cambuhy Agrícola Ltda., pela confiança na execução dos trabalhos.

Ao professor Dr. José Marques Júnior, orientador desta pesquisa, amigo e apoiador deste trabalho, que me proporcionou oportunidades de realizar projetos e estudos, depositando confiança e concretizando amizade. Carrego a certeza de seu exemplo e caráter na trajetória de minha vida.

Agradeço a todos os integrantes do grupo Caracterização do Solo para Fins de Manejo Específico (CSME), amigos fiéis que me acompanharam durante as pesquisas e a realização deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Marcos Omir, pela gentileza de ter aceitado o convite e pelo aprendizado que irá auxiliar neste estudo. Ao Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza, pelo companheirismo, honestidade e amizade que me auxiliou muito na trajetória da vida.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. REVISÃO DE LITERATURA	3
1.2.1. A cultura do café	3
1.2.2. Cor do solo e métodos de avaliação	4
1.2.3 Funções de pedotransferências no estudo agrônômico	9
1.2.4 Variabilidade espacial em estudos agrônômicos	11
2. REFERÊNCIAS.....	15
CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DA COR DO SOLO NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM DIFERENTES POTENCIAIS PRODUTIVOS DA CULTURA DE CAFÉ	29
2.1. INTRODUÇÃO	31
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE COLETA DAS AMOSTRAS.....	33
3.1.2 DETERMINAÇÃO DA COR A PARTIR DA AVALIAÇÃO DA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA DIFUSA	36
3.1.3 CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS DO SOLO E DA PLANTA.....	36
3.1.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5 CONCLUSÕES.....	51
6 REFERÊNCIAS.....	51

COR DO SOLO NA CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS ESPECÍFICAS DE MANEJO PARA CULTURA DO CAFÉ

RESUMO - O avanço no conhecimento dos atributos do solo entusiasmará de maneira satisfatória o resultado final das atividades agrícolas, tanto no potencial produtivo, quanto nos valores agregados ao produto final. Com isso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a cor do solo obtida pela espectroscopia de reflectância difusa - VIS-NIR, para o mapeamento de áreas específicas de manejo na cultura do café. O experimento foi conduzido em uma área de 39 ha com cultivo de café, localizada no município de Matão, sudoeste do Estado de São Paulo. A área estava sobre o cultivo de café variedade *Coffea arabica* L. (IAC Catuai Amarelo – 62). Para a instalação do experimento, foram utilizadas plantas com 7 anos de idade, em um espaçamento de plantio de 3,5 × 0,50 metros. Os pontos amostrais para análises de solo e planta foram realizados com intervalo regular, usando entre os pontos 45 m, o que totalizou 173 pontos na área total. As coletas de solos foram retiradas na profundidade de 0,0 – 0,20 m. Deste solo coletado, foi retirado 0,5 g, que foi moído e seco ao ar, determinando, assim, os valores de reflectância difusa na faixa de 380 a 780 nm, obtendo-se posteriormente os valores do matiz, valor e croma que promoveram juntos o resultado do índice de avermelhamento. Os valores de cada atributo foram correlacionados às variáveis produtiva e qualitativa da planta. Diante disso, os resultados manifestaram a existência de correlações com atributos da planta, indicando então que os constituintes da cor podem ser utilizados como preditores das variáveis analisadas.

Palavras-chave: Geoestatística, Pedotransferência, Qualidade, Produtividade.

COLOR IN SOIL CHARACTERIZATION OF SPECIFIC AREAS OF MANAGEMENT FOR COFFEE CULTURE

ABSTRACT - The advance in the knowledge of the soil attributes enthused satisfactorily the end result of agricultural activities, both in productive potential, as well as the aggregated values to final product. Thus, objective of this study was to evaluate the color of the soil obtained by diffuse reflectance spectroscopy - VIS-NIR, for the mapping of specific areas of management in coffee culture. The experiment was carried out in an area of 39 ha with cultivation of coffee, located in the city of Chichester, south west of the State of Sao Paulo. The area was on the cultivation of coffee variety *Coffea arabic* L. (IAC Yellow Catuai-62 variety). For the installation of the experiment, plants were used with 7 years of age, in a planting spacing of 3.5 x 0.50 m. The sampling points for analysis of soil and plant analyzes were carried out with regular interval, using between points 45 m, which totaled 173 points in total area. The samples of soil were taken from a depth of 0.0 - 0.20 m. Of this collected soil, was removed from 0.5 g, which was crushed and dried in air, thus determining the values of diffuse reflectance in the range of 380 to 780 nm, obtaining values of hue, value and chroma that promoted together the result of redness index. The values of each attribute were correlated to variables productive and qualitative of the plant. Moreover, the results showed the existence of correlations with attributes of the plant, indicating that the constituents of color can be used as predictors of the analyzed variables.

Keywords: Geostatistics, Pedotransfer, Quality, Productivity.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, correspondendo a 30 % do mercado internacional (MORAGADO, 2014). Diante deste cenário, os produtores ainda enfrentam grandes desafios, como temperatura ambiente, precipitação, relevo, atributos do solo, manejo da lavoura, entraves, como o alto custo de produção, ausência de incentivos e queda na cotação da bolsa de valores (MATIELLO, 1986). Até mesmo pela heterogeneidade espacial da produtividade dos estados produtores e pelo uso de tecnologia (RUGANI; SILVEIRA, 2006), isso faz com que novas técnicas sejam inseridas no sistema de produção, de modo a reduzir custos e/ou contribuir para o aumento da produtividade e melhoria da qualidade do cafeeiro. Devido ao grande número de fatores que influenciam na produtividade e na qualidade do café produzido, tornam-se complexas a identificação e a quantificação da interação destes sobre a cultura (ALVES, 2005).

A cor do solo é um atributo diagnóstico importante para identificar áreas com diferentes potenciais de produção. Essa técnica de identificação contribui na determinação do manejo correto e favorece a agricultura sustentável. A cor de amostras do solo é determinada em laboratório, pela espectroscopia de reflectância difusa (ERD) (TORRENT; BARRÓN, 2008), usando os mesmos aparelhos espectrofotométricos comuns de laboratórios, com pequenas adaptações (FERNANDES et al., 2004).

Essa técnica permite que a luz incidente sobre uma determinada amostra de solo seja refletida de maneira difusa, causando uma curva de reflectância, em um intervalo de comprimento de onda que varia normalmente de 400 a 700 nm. As informações dos espectros são convertidas em valores triestímulos X, Y e Z, e destes valores determinam-se os valores de Munsell, sendo a matiz, valor e croma (BARRÓN et al., 2000; CAMPOS et al., 2003; VISCARRA ROSSEL; BEHRENS, 2010).

O comportamento espectral do solo depende de sua composição química, física, biológica e mineralógica, sendo a matéria orgânica (MO) e os óxidos de ferro (Fe) os principais constituintes que afetam o comportamento espectral (DALMOLIN et al., 2005). Devido ao solo apresentar variações em sua composição e a relação

existente com a reflectância espectral, pode-se prever, de maneira, confiável, rápida e não invasiva, as características físicas e químicas do solo (SHEPHERD; WALSH, 2002; DALMOLIN et al., 2005).

Alguns estudos incrementaram a cor e ERD na determinação de fatores relacionados ao solo e à produtividade das culturas. No uso das características físico-morfológicas do solo, a cor é importante para a determinação da produtividade do cacauzeiro (SOUZA Jr. et al., 1999); na determinação da CTC, K, Ca, N total, C total, Na e Mg (MOUAZEN et al., 2006), C total, pH, P disponível e umidade do solo (MOUAZEN et al., 2007); como também na matéria orgânica (DEMATTÊ et al., 2011), silte, areia e argila (CEZAR et al., 2012), na utilização da espectroscopia de VIS-NIR para previsão do pH do solo e na recomendação das doses de calcário (TEKIN et al., 2013), entre outros. Essas pesquisas mostram que as determinações pela ERD poderão ser utilizadas para quantificar de maneira indireta os atributos do solo que refletem nas plantas.

Uma proposta para amenizar os elevados custos e o tempo dessas análises é a utilização de atributos de mais fácil mensuração, que sejam rápidos e baratos, permitindo sua utilização em funções de pedotransferências (FPTs) que são equações matemáticas também usadas nas pesquisas de Ciência do Solo. Alguns pesquisadores procuraram desenvolver FPTs utilizando a cor do solo (BARRÓN et al., 2000), suscetibilidade magnética (SIQUEIRA et al., 2010; CORTEZ et al., 2011; SANTOS et al., 2011) e, a espessura do solo (POLLO, 2013).

Essas sugestões são o primeiro passo para o manejo da agricultura de alta tecnologia, dada a necessidade de diagnosticar os locais que apresentam melhores condições para a prática agrícola (ROKSTROM, 2009). Isso é afirmado pelo fato de a produtividade e a qualidade do café serem a consequência da interação da cultura, com meio ambiente e tratamentos culturais, que, agrupados à variabilidade espacial da produtividade e à qualidade, dificultam sua otimização. Portanto, o conhecimento desta variabilidade trará grandes benefícios para a cafeicultura, tornando-a mais sustentável e lucrativa (ALVES et al., 2005).

A identificação espacial dos fatores de produção é importante na implementação da agricultura de precisão, como elaboração de mapas georreferenciados, com as causas que refletem a produção e a qualidade ao longo da área, caso seja constatada a existência de variabilidade, definem-se as zonas de

manejo que permitirão um tratamento individualizado para cada zona diante das necessidades.

Com isso, o presente estudo objetivou utilizar a cor do solo obtida pela espectroscopia de reflectância difusa - VIS-NIR, para o mapeamento de áreas específicas de manejo na cultura do café.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 A cultura do café

Introduzido no Norte do Brasil por volta de 1727, o café trazido da Guiana Francesa a pedido do governador do Maranhão e Grão Pará, foi introduzido no País para cultivos devido ao grande valor comercial que possuía. Essa cultura foi responsável pelo crescimento do agronegócio, o que proporcionou melhoria da infraestrutura do Brasil devido à abertura de novas rodovias, ferrovias, cidades e vilas. O café proporcionava o aumento da mão de obra, somando para a receita dos países produtores.

Com condições climáticas favoráveis, o cultivo expandiu-se rapidamente, com produções em pequenas escalas, por pequenos produtores. Essa cultura iniciou-se no Estado do Maranhão, passando pela Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Minas Gerais, com isso o café passou de uma posição secundária para um produto primário na economia brasileira. O crescimento foi de total independência do Brasil, utilizando apenas recursos nacionais; com isso, o café foi a primeira concretização de uma atividade que visou à geração de riquezas (ABIC, 2014).

As estimativas para a produção da safra de 2014 de café (espécies arábica e conilon) indicam que o Brasil deverá colher algo em torno de 46,53 a 50,15 milhões de sacas de 60 quilos de produto beneficiado. Os resultados mostram uma redução de 5,4% ou um aumento de 2,02%, quando comparado com a última produção, em que o País produziu 49,15 milhões de sacas (CONAB, 2014). No Brasil, o consumo interno de café totalizou 20,08 milhões de sacas em 2013. O consumo per cápita resultou em 4,87 kg café torrado/habitante.ano (6,09 kg café verde/habitante.ano) (ABIC, 2014). Esses consumidores vêm procurando produtos com melhor qualidade, mesmo com preço superior, o que representa uma mudança no padrão de compra.

O fruto de café é um dos poucos produtos valorizados com base em parâmetros qualitativos. Autores afirmam que a demanda por produtos de qualidade diferenciada é uma oportunidade para agregar valor ao sistema produtivo do café (TEIXEIRA; MILHOMEM, 2001). Essa qualidade é definida como o resultado da somatória dos atributos físicos do grão cru, tais como cor, tamanho, densidade e uniformidade, e também dos atributos do grão torrado, em especial a cor do grão (PRETE, 1992).

São vários os fatores que interferem na qualidade do café, como as condições edafoclimáticas, manejo da lavoura, cuidados na colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento. Nas lavouras cafeeiras, essa variabilidade de produção é caracterizada por locais que expressam baixas produções e qualidade que são agrupadas a locais de alta produção e alta qualidade, bem como a bienalidade da produção, que é caracterizada pela variação de anos com alta e baixa produtividade (CARVALHO et al., 2004).

Esses fatores, aliados à variabilidade espacial, dificultam a competitividade frente aos concorrentes externos. Assim, o conhecimento dos fatores de produção de forma localizada pode ser uma ferramenta importante na busca por melhor produtividade e qualidade no sistema cafeeiro (ALVES, 2005). O emprego de técnicas que localizam a variabilidade dos atributos de produção e qualidade auxiliam na identificação de áreas com potencial para produção de frutos com melhor qualidade, e também dos fatores intrínsecos a esses atributos. Com isso, essas áreas podem ser georreferenciadas e manejadas de maneira diferenciada (QUEIROZ et al., 2004).

Diante dos vários fatores mencionados, o efeito do solo sobre a produtividade e a qualidade dos grãos de café tem sido muito estudado (STAFFORD et al., 1996; ALVES, 2005; SANCHEZ et al., 2005; SILVA et al., 2007; POLLO, 2013).

1.2.2 Cor do solo e métodos de avaliação

A melhoria da produtividade e da qualidade do café é o alvo dos produtores. São variáveis influenciadas pelas características do solo (STAFFORD et al., 1996). Com isso, é importante estudar esses atributos para o manejo localizado,

determinando os locais de maior produtividade e qualidade do cafeeiro (TRANGMAR et al., 1985).

A cor é uma sensação visual que se manifesta na presença da luz e, de certo modo, reflete a quantidade de MO e de óxidos de Fe, além da classe de drenagem do solo (PRADO, 1995). É uma das características morfológicas de mais fácil visualização e identificação nos solos (SANTOS et al., 2005), sendo a característica mais evidente, podendo ser facilmente vista por leigos (BUOL et al., 1997), fato que justifica ser um dos principais atributos para caracterizar e diferenciar os diversos tipos de solos (FERNANDES et al., 2004). É uma referência obrigatória para a descrição do perfil de solo, sendo comum a utilização de termos indicativos a cores nos mais diversos sistemas de classificação de solos (BARRÓN et al., 2000).

Usualmente, a cor é definida no campo pela sua comparação visual às cores existentes na Carta de Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 1975). Nessa carta de cores, constam o matiz (ou pigmento), o valor (ou tonalidade) e o croma (ou intensidade), sendo que o matiz se refere à combinação dos pigmentos vermelho e amarelo; o valor indica a proporção da cor cinza (preto e branco), e o croma, a contribuição do matiz. Os matizes variam de 5R (100% de vermelho e 0% de amarelo) a 5Y (0% de vermelho e 100% de amarelo). Solos com coloração vermelha são normalmente devido à presença da hematita (mineral com alto poder de pigmentação) e ao baixo teor de goethita. Este último mineral (goethita) tem o poder de pigmentar o solo de amarelo (PRADO, 1995). Esses pigmentos atuam, em geral, num fundo de cor branca, dado pelos silicatos (RESENDE et al., 2007).

A cor do solo está relacionada com a drenagem, MO, forma e conteúdo de Fe, fixação de fósforo (P) e fertilidade em geral. Outros fatores, como a umidade e também a distribuição do tamanho de partículas, são fatores que caracterizam a cor do solo (FERNANDEZ; SCHULZE, 1992). No solo, o Fe poderá apresentar-se na forma reduzida, oxidada hidratada e oxidada desidratada (RESENDE et al., 2007) (Figura 1).



Figura 1. Formas de ferro (Fe) no solo. Adaptado de Resende et al. 2007.

O uso da carta de cores é realizado por meio da comparação da cor duma superfície recém-exposta da massa do solo com os padrões da carta de cores de Munsell, sob luz natural difusa. Posteriormente, faz-se anotação do símbolo da cor, fazendo referência ao matiz, tonalidade e intensidade (FREIRE, 2006).

Esse sistema de classificação da cor pelo olho humano é fácil e prático, mas proporciona imprecisões que o invalidam quando se almeja a obtenção de informações quantitativas sobre a cor (BARRÓN et al., 2000). Os fatores que mais interferem são as características da luz que incide sobre a amostra de solo, características da superfície do solo e também a qualidade de resposta espectral do olho humano, pois são fatores não controlados (MELVILLE; ATKINSON, 1985; POST et al., 1993), como também a diferença de percepção entre os que observam e a não ocorrência de padronização de iluminação nas amostras (TORRENT; BARRÓN, 1993), resultando então em erros na determinação da cor do solo.

Levando em consideração as características de cada observador, a caracterização da cor apresenta divergências, principalmente quando ocorre a determinação deste atributo por vários observadores em uma mesma amostra, causas que podem ser atribuídas à capacidade de interpretação e à habilidade do observador (CAMPOS; DEMATTÊ, 2004). Alguns cientistas interpretaram a cor da mesma amostra de solo com o auxílio da carta de Munsell em avaliação de campo, concluindo que teve concordância em 52% na interpretação da cor e 71% quando analisou apenas um componente da cor (POST et al., 1993). Contudo, para que um observador experiente obtenha sua habilidade máxima em distinguir cores, será possível somente em condições de laboratório, tendo uma iluminação controlada, usando amostras devidamente preparadas e utilizando uma carta de Munsell completa (KELLY; JUDD, 1976).

Com o intuito de eliminar a subjetividade do método convencional, vêm sendo usados instrumentos na determinação da cor de maneira mais precisa. Com isso, as medições por colorímetro eliminam essas influências presentes nas medições (CAMPOS; DEMATTÊ, 2004). Alguns autores relatam que a realização de medidas usando técnicas de laboratório obtém resultados precisos, conseguindo excelente potencial nas medições quantitativas de cor, colocando essa técnica promissora na avaliação da cor do solo (POST et al., 1993).

O uso de espectrofotômetros também é utilizado nessa quantificação precisa da cor do solo. Sabendo que a cor constitui uma importante fonte de informação

para o conhecimento da pedologia (CAMPOS; DEMATTÊ, 2004), que poderá ser afetado, fez com que numerosos pesquisadores já determinassem o atributo cor com maior exatidão e, assim, estabelecessem relações quantitativas entre a cor com os constituintes do solo (SCHULZE et al., 1993; BARRÓN et al., 2000; CAMPOS et al., 2003) e da planta (SOUZA Jr. et al., 1999)

O solo é uma mistura de partículas minerais e orgânicas que parcialmente absorvem e dispersam a luz incidente (TORRENT; BARRÓN, 1993). Portanto, as pesquisas atuais sugerem a determinação da cor de amostras de solo em laboratório através da espectroscopia de reflectância difusa (ERD), usando aparelhos espectrofotométricos comuns de laboratórios, com pequenas adaptações (FERNANDES et al., 2004).

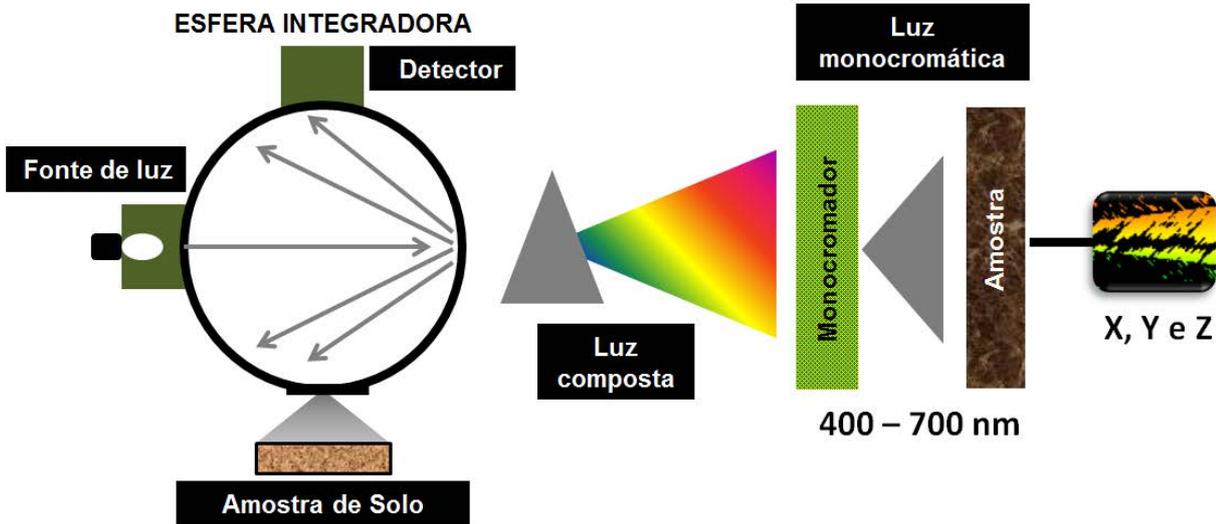
Muitas das propriedades do solo e da planta podem ser estimadas pela reflectância espectral (COSTA, 1979), uma técnica que vem sendo utilizada na quantificação indireta, pois fornece informações sobre os atributos físicos, químicos e mineralógicos com considerável diminuição de tempo, em especial dos atributos mineralógicos, quando comparado a outras técnicas mineralógicas, como a Difração de Raios X (DRX) e a espectroscopia Mossbauer (TITTONEL et al., 2008).

Pesquisadores, como Fernandez e Shulze (1987), avaliaram o uso da ERD na determinação da cor do solo e verificaram um ganho na precisão e na exatidão, o que torna possível quantificar diferenças de cor no solo, o que é dificultoso quando se faz uso apenas do recurso do olho humano. Assim sendo, técnicas quantitativas que envolvem a cor do solo vêm sendo cada vez mais utilizadas. Campos e Demattê (2004) e Fernandes et al. (2004) comparam a cor dos solos pelos métodos da percepção visual e pela colorimetria, mostrando então maior precisão pelo uso do colorímetro, seguindo as técnicas propostas por Barrón et al. (2000). O potencial de uso da ERD na agricultura, especificamente no estudo dos atributos do solo, foi demonstrado por vários autores (BROWN et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006; BEN-DOR; HELLER; CHUDNOVSKY, 2008; BEN-DOR et al., 2008; DU et al., 2008; MARQUES Jr. et al., 2014; VASQUES et al., 2014).

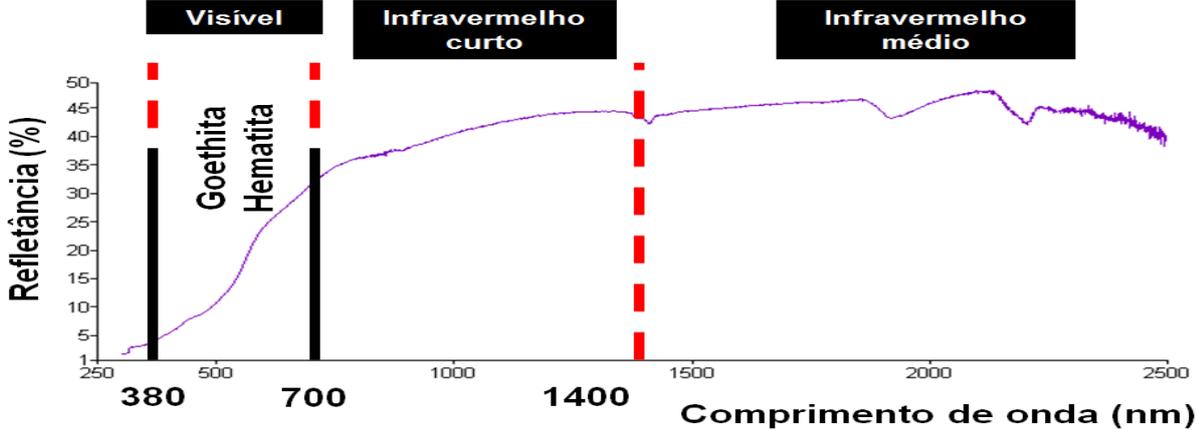
No uso da técnica de ERD, a luz que incide sobre uma amostra de solo é refletida de maneira difusa, sendo recolhida e avaliada, proporcionando uma curva de reflectância (espectro) dentro de um intervalo de comprimento de onda considerado. Conforme Torrent e Barrón (2008), a reflectância gerada deverá estar no intervalo de comprimento de onda, variando de 400 a 700 nm. As adaptações no

espectrofotômetro consistem em incorporar uma esfera de reflectância que colete o fluxo da luz refletido do solo (amostra), levando para um aparelho as informações coletadas para futura obtenção dos dados (FERNANDES et al., 2004) (Figura 2).

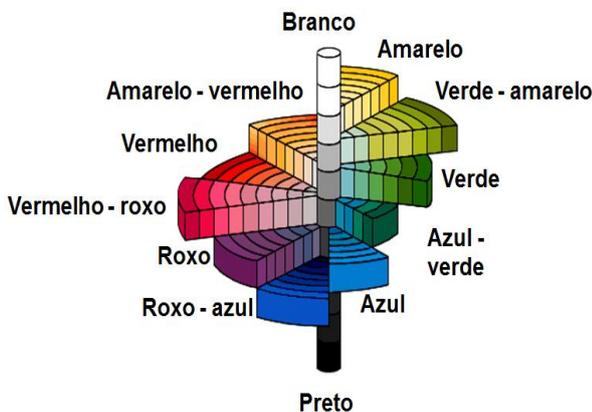
1ª fase: Análise espectral do solo em aparelho espectrofotômetro



2ª fase: determinação do espectro na faixa do visível (380 a 700 nm)



3ª Fase: Conversão dos valores de reflectância para o sistema triestímulo (X, Y e Z).



4ª fase: Conversão para o sistema Munsell, obtenção dos valores para cálculo do índice de avermelhamento do solo (IAV)

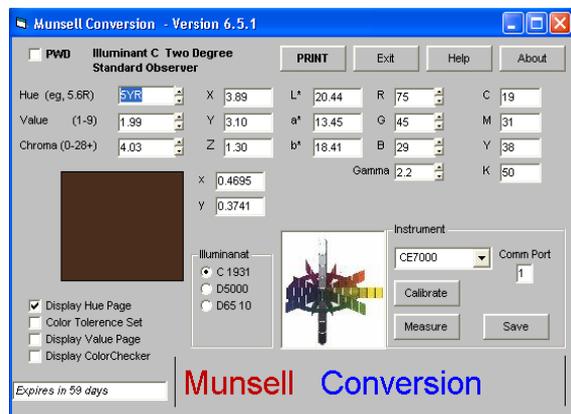


Figura 2. Diagrama para a obtenção da cor pela técnica de espectroscopia de reflectância difusa (ERD). Modificado de Siqueira (2013).

A ERD vem sendo utilizada na avaliação de diferentes atributos do solo, pois apresentam diversas vantagens sobre a metodologia convencional de avaliação, pois é de rápida determinação, econômica, não utiliza reagentes químicos nem a destruição das amostras (VISCARRA ROSSEL et al., 2006).

Comprovando o uso da técnica de ERD na determinação da cor do solo, Demattê e Garcia (1999) obtiveram elevados valores de regressão para o valor e matiz, correlacionados aos dados de reflectância. Outros autores também utilizaram a técnica para determinação de vários atributos do solo: mineralógicos, físicos, químicos e na estimativa dos teores de óxidos de Fe (BARRÓN; TORRENT, 1986; ALMEIDA et al., 2003; FERNANDES et al., 2004; BAHIA, 2012; CAMARGO, 2013; BAHIA et al., 2014).

1.2.3 Funções de pedotransferências no estudo agrônomo

As funções matemáticas são empregadas para estimar atributos mais complexos a serem determinados por atributos rotineiramente gerados em análises de laboratório, sendo este o conceito sobre Funções de Pedotransferências (FPTs) definido por Bouma (1989). As FPTs em estudo da planta podem também ser definidas como uma regressão utilizada na obtenção de estimativas de atributos edáficos por outros que são mensurados com maior facilidade e com baixo custo (McBRATNEY et al., 2002; MINASNY, 2007).

Determinar atributos da planta demandam tempo, mão de obra especializada e equipamentos de laboratório. Deste modo, as chamadas FPTs são consideradas uma abordagem alternativa que vem sendo utilizada por vários pesquisadores no mundo (PAZ et al., 2009).

Estas funções devem seguir critérios de modo a obter melhores ajustes. Segundo Tedeschi (2006), os passos de modelagem passam por diferentes etapas, principalmente da adequação do modelo, pois este indica o grau de precisão e acurácia nas previsões dos atributos. É uma etapa importante, pois poderá aumentar a confiança do atual modelo ou na escolha de um modelo alternativo. Não se deve utilizar uma FPT sem que sua incerteza associada seja avaliada em um determinado problema; deste modo, devem-se usar as funções que apresentem menor variância (BUDIMAN et al., 2003). É indicado que haja um número mínimo de repetições

(DOTTO, 2012). O uso das FPTs deverá basear-se na calibração do local de estudo, e o aumento do número de variáveis aumentará a eficiência das FPTs. Portanto, os modelos preditivos do comportamento da planta com altas correlações permitem identificar as relações mais adequadas com o uso da ERD.

Na definição de novas FPTs, os estudos devem fornecer dados estatísticos (média, desvio-padrão, medianas, mínimo e máximo e correlações entre variáveis) que serão úteis na decisão para utilização das FPTs, auxiliando na predição dos atributos da planta (HYNDMAN; KOEHLER, 2006).

Essa técnica tem sido considerada promissora na determinação de dados agronômicos; na predição da umidade do solo, carbono orgânico e teor de nitrogênio total pela espectroscopia de reflectância infravermelho próximo (DALAL; HENRY, 1986); na predição das estimativas de exigência de calcário, carbono orgânico, cátions trocáveis, umidade em terra fina seca ao ar, teor de argila e indicadores biológicos, utilizando a espectroscopia de onda infravermelho médio (JANIK et al., 1995); na previsão das propriedades químicas e biológicas de amostras de solos em Victória, na Austrália, utilizando a espectroscopia infravermelho (LUDWING et al., 2002); nas funções de pedotransferências, utilizando a técnica de ERD para estimar óxidos de Fe (BARRON; TORRENT, 1986; FERNANDES et al., 2004); no teor de argila (VISCARRA-ROSSEL; BEHRENS, 2010; SENOL et al., 2012); na determinação da capacidade de troca catiônica do solo (BROW et al., 2006), e na emissão de CO₂ do solo (BAHIA, 2012; BAHIA et al., 2014).

No Brasil, alguns pesquisadores têm utilizado medidas magnéticas para desenvolver FPTs para avaliar atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo (SIQUEIRA; MARQUES Jr.; PEREIRA, 2010), erodibilidade e risco de erosão (SANTOS et al., 2013) e potencial produtivo dos citros (CORTEZ et al., 2011). Porém, em alguns casos, a suscetibilidade magnética não apresenta bons resultados, como foi observado em solos coesos (RESENDE, 2013). Nestes locais, a cor do solo, determinada por ERD, tem apresentado bons resultados. Outros autores também têm utilizado esta metodologia para identificar diferentes locais para produção de cana-de-açúcar e na avaliação das propriedades do solo (BROWN et al., 2006, DU et al., 2008; VISCARRA-ROSSEL et al., 2006; MARQUES JÚNIOR et al., 2014). Através do sucesso destas pesquisas, torna-se importante estudar a eficiência da tecnologia ERD no conhecimento produtivo e qualitativo das culturas, como o café.

1.2.4 Variabilidade espacial em estudos agronômicos

O solo apresenta tanto heterogeneidade vertical quanto horizontal, e isso se deve pela própria natureza dos fatores que são responsáveis pela formação do solo. No campo, a heterogeneidade única é considerada na direção da profundidade, na coordenada z , o que difere dos horizontes com diferentes propriedades (REICHARDT et al., 1986). Por apresentar essa heterogeneidade, a variabilidade espacial do solo, tanto horizontal quanto vertical, é dependente dos fatores de formação e ao tipo de manejo (JENNY, 1941; SOUZA et al., 2001). Por ser uma característica intrínseca dos solos, a heterogeneidade resultará em alterações, aumentando com isso a variabilidade dos atributos (SOUZA, 1992; SANTOS et al., 2006). Bahia et al. (2014) observaram que alguns atributos do solo apresentavam variação espacial em diferentes direções do terreno (anisotropia), mesmo em malha amostral pequena (50 m × 50 m).

Por ser o resultado dos processos pedogenéticos, a variabilidade espacial do solo pode ser confirmada por resultados de levantamentos, como as análises dos solos, ou das diferenças nas produções de plantas (SILVA et al., 2010), o que exige tempo e custo elevado (BOTTEGA et al., 2013). O conhecimento da variabilidade destes atributos, no espaço e no tempo, é atualmente considerado como o princípio básico do manejo localizado em áreas agrícolas (GREGO; VIEIRA, 2005).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos da planta é importante em áreas que são submetidas a diferentes manejos, pois propõem alternativas que reduzem os efeitos desta variabilidade, aumentando a possibilidade de se aferirem repostas das propriedades do solo que afetam as plantas com o emprego de práticas de manejo, principalmente por serem os atributos do solo que influenciam diretamente sobre as planta, tanto em seu crescimento quanto no desenvolvimento (TRANGMAR et al., 1985; OVALLES; REY, 1994; SIMÕES et al., 2006).

Os pesquisadores da área agrônômica estudavam a variabilidade dos atributos do solo e da planta utilizando a estatística clássica, implicando que as observações de um determinado atributo são dependentes entre si, não considerando sua localização na área. Ou seja, os experimentos eram conduzidos para minimizar o impacto da variabilidade espacial, desconsiderando o fato de que as observações podem ser espacialmente dependentes (CORRÊA et al., 2009). Sendo assim, a avaliação da variabilidade espacial dos atributos do solo torna-se

uma ferramenta importante para a determinação das estratégias que envolvem o manejo correto, aumentando assim a produtividade das culturas.

Diversos autores usaram a variabilidade espacial para estudos agronômicos. Carvalho et al. (1998) estudaram a variabilidade das propriedades químicas e físicas em um solo submetido a diferentes manejos. Machado et al. (2006) observaram a variabilidade espacial para os atributos de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade. Novais Filho et al. (2007) elaboraram modelo utilizando a cor (índice de avermelhamento) para predizer a distribuição das classes pedológicas. Bottega et al. (2013) avaliaram a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo, por meio da elaboração de mapas temáticos. Bahia et al. (2014) estudaram a variabilidade espacial de óxidos de Fe, hematita e goethita para estimarem a respiração do solo. Alguns pesquisadores estudaram a variabilidade do solo com o modelo e a forma de relevo (SOUZA et al., 2004; MONTANARI et al., 2005; VIAN et al., 2012; DALCHIAVON et al., 2012), na identificação de áreas de plantio e no mapeamento da produtividade do cafeeiro (PAVÃO; LESSA, 2002; BALASTREIRE et al., 2002; HURTADO et al., 2003).

Neste contexto, o manejo de fatores de produção de forma localizada, que leva em consideração a variabilidade espacial e temporal, pode ser uma ferramenta importante na tomada de decisão. Com a investigação da variabilidade espacial da produtividade e da qualidade do cafeeiro, torna-se possível levantar informações referentes ao processo de produção no campo (ALVES, 2005).

Algumas técnicas estatísticas, como semivariograma, são utilizadas para estudar a variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta, o que leva a um melhor entendimento das interações solo-planta-atmosfera (WENDROTH et al., 2001).

A geoestatística apresenta-se com grande utilidade para caracterizar e estudar variações das propriedades do solo (MANZIONE et al., 2002). Esta ferramenta surgiu na África do Sul, onde Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, não encontrava sentido nas variâncias calculadas sem o uso da distância entre as amostras (VIEIRA, 2000). Baseado nas observações de Krige (1951), Matheron (1963, 1971) criou a teoria das variáveis regionalizadas, definidas como uma função espacial numérica, variando de um local para outro, com a existência de uma continuidade espacial, cuja variação não pode ser simulada por

uma função matemática simples, ou seja, é necessário o uso do semivariograma na continuidade estimada.

A aplicação da geoestatística baseia-se na possibilidade de estudar o comportamento da variabilidade existente no solo e na planta, o que gera o conhecimento detalhado destes atributos nos diferentes locais, contribuindo, assim, no aperfeiçoamento eficiente das aplicações para o manejo correto das culturas (GOOVAERTS, 1998).

A geoestatística calcula estimativas com distribuição no espaço de um fenômeno natural com distribuição no ambiente, fazendo suposições de valores das variáveis, considerando como regionalizadas, e assim correlacionando-as espacialmente (Landim et al., 2002), e realizando estimativas ou simulações de locais (pontos) não amostrados na área de estudo (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989; McBRATNEY et al., 1992; GOOVAERTS, 1999; CASTRIGNANÒ et al., 2000).

Para a análise de dependência espacial, o semivariograma é de uso mais geral (TRANGMAR et al., 1985), que permite, através de um valor denominado alcance, obter a distância de separação das amostras, sendo os valores observados relacionados uns com os outros, manifestando o potencial da função, para futuras amostragens (LIBARDI et al., 1986).

O gráfico do semivariograma mostra a existência da dependência espacial de uma determinada variável analisada. Este pode ser representado tanto de maneira analítica como gráfica, conforme equação 1.

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

Em que,

$\hat{\gamma}(h)$: é a variância estimada;

$N(h)$: é o número de pares experimentais de dados separados pelo vetor h ;

Z : representa os valores medidos para atributos do solo ou da cultura.

A Figura 3 mostra um semivariograma típico com seus parâmetros, os quais serão discutidos a seguir. O variograma é representado pelo gráfico de $\gamma(h)$ versus h . Ele começa no valor chamado de variância pepita (C_0) e vai aumentando, obedecendo à semivariância, até uma distância conhecida como alcance (a), onde atinge o patamar ($C_0 + C_1$). O C_0 revela a descontinuidade do semivariograma, para

distâncias menores do que a menor distância entre os pontos coletados. Esse efeito também pode ser por erros de medição (DELHOMME, 1976).

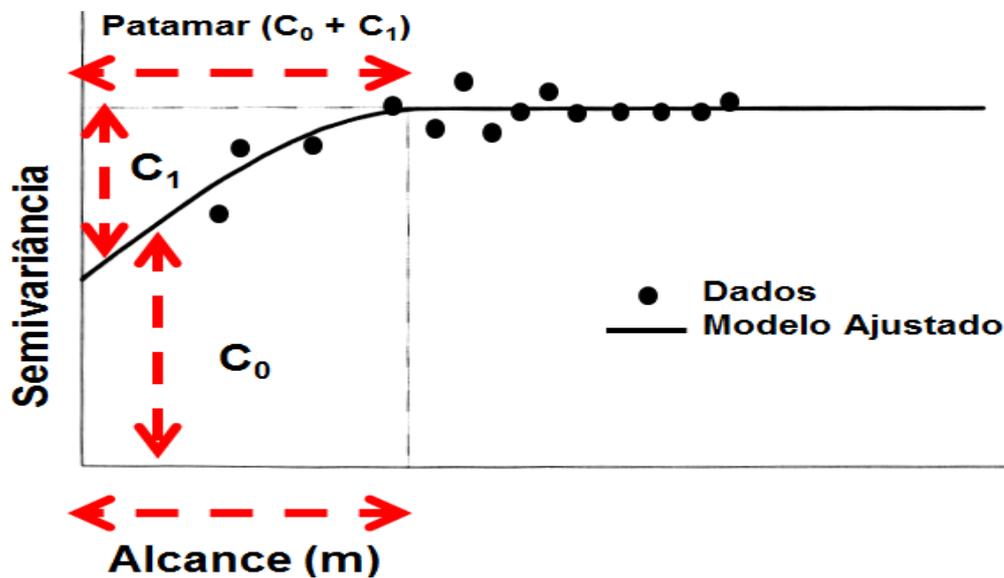


Figura 3. Semivariograma experimental.

Conforme Trangmar et al. (1987), os modelos de variograma mais utilizados são: esférico, exponencial e gaussiano, e o modelo esférico é o de maior uso para os estudos do comportamento do solo e da planta. O melhor modelo escolhido irá descrever a variabilidade espacial dos dados que serão utilizados na interpolação pelo método da krigagem, gerando uma superfície contínua na área de estudo, através de mapas de isolinhas (MACHADO, 2006).

Assim, a técnica geoestatística pode ser usada para prever valores em locais não amostrados (krigagem) e aperfeiçoar as malhas de amostragem (REMACRE; UZUMAKI, 1996). A krigagem é um método de interpolação que permite simular a variação de um determinado fenômeno quantitativamente no espaço, através de estimativas de valores nos locais não amostrados (HUIJBREGTS, 1975). A construção dos mapas com os valores da krigagem é importante na verificação e na interpretação da variabilidade espacial (SOUZA, 1992).

A análise geoestatística indica alternativas para o manejo (TRANGMAR et al., 1985; BHATTI et al., 1991), bem como para estimar respostas dos atributos da planta em função das práticas de manejo (OVALLES; REY, 1994; SILVEIRA et al., 2000), diminuindo os riscos de contaminação ambiental (CAVALCANTE et al., 2014). Portanto, a grande importância da utilização da geoestatística é pelo fato de

que ela promove a análise de dados em experimentos, obtendo adequadas informações não reveladas pela estatística clássica (SALVIANO, 1996).

2. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 985-1.002, 2003.

ALVES, E. A. **Análise da variabilidade espacial da qualidade do Café cereja produzido em região de montanha**. 2005. 64 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

Associação Brasileira da Indústria do Café – **ABIC**. Disponível em <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=48#2248>>. Acesso em: maio 2014.

BAHIA, A. S. R. S. **Espectroscopia de reflectância difusa como técnica auxiliar na caracterização da emissão de CO₂ e atributos do solo**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2006.

BAHIA, A. S. R. S.; MARQUES JR., J.; PANOSSO, A. R.; CAMARGO, L. A.; SIQUEIRA, D. S.; LA SCALA JR., N. Iron oxides as proxies for characterizing anisotropy in soil CO₂ emission in sugarcane areas under green harvest. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 192, p. 152-162, 2014.

BALASTREIRE, L.A.; AMARAL, J.R.; LEAL, J.C.G.; BAIIO, F.H.R. **Precision Agriculture Concepts Applied to Coffee Crops**. 2º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, Viçosa-MG, 2002 – CD-rom.

BARRÓN, V.; TORRENT, J. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color. **Soil Science Society of America Journal**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 499-510, 1986. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00382.x>>.

BARRÓN, V.; MELLO, J. W. V.; TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos de ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 2, p. 139-162.

BEN-DOR, E.; HELLER, D.; CHUDNOVSKY, A. A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 4, p. 1.113-1.123, 2008.

BEN-DOR, E.; TAYLOR, R. G.; HILL, J.; DEMATTE, J. A. M.; WHITING, M. L.; CHABRILLAT, S.; SOMMER S. Imaging spectrometry for soil applications. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 97, p. 321-392, 2008. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)00008-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00008-9).

BHATTI, A. U.; MULLA, D. J.; FRAZIER, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Remote Sensing Environment**, New York, v. 37, n. 3, p. 181-191, 1991.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advances in Soil Science**, New York, v. 9, p. 177-213, 1989. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-3532-3_4.

BROWN, D. J.; SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G.; MAYS, M. D.; REINSCH, T. G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 132, n. 3-4, p. 273-290, 2006.

BUDIMAN, M.; McBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 50 p. (Documento, 45).

BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; MCCRACKEN, R. J. **Soil genesis and classification**. 4. ed. Ames: Iowa State University Press, 1997. 527 p.

CAMARGO, L. A. **Relações entre mineralogia da argila, suscetibilidade magnética e adsorção de fósforo em Latossolos da região de Jaboticabal – SP.** 2013. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M. Cor do solo: uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição à automatização do método para fins de classificação de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 853-863, 2004.

CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M.; QUARTAROLI, J. A. Determinação indireta do teor de hematita no solo a partir de dados de radiometria e colorimetria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38, n. 4, p. 521-528, 2003.

CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; ALVES, H. M. R. A regression model to predict coffee productivity in Southern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.204-211, 2004.

CARVALHO, O. S.; GASCÓ, J. M.; LOPÉZ, F. G.; REQUEJO, A. S. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 497-503, 1998.

CASTRIGNANÒ, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R.; MARTINELLI, N. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 97, n. 1-2, p. 39-60, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00025-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00025-2)>.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1.329-1.339, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n3/a19v31n3.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

CEZAR, E.; NANNI, M. R.; CHICATI, M. L.; SOUZA JÚNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. Avaliação e quantificação das frações silte, areia e argila por meio de suas reflectâncias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1.157-1.165, 2012.

Companhia Nacional de Abastecimento – **CONAB**. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_01_17_09_29_46_boletim_cafe_-_original_normalizado.pdf>. Acesso em: maio 2014.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.

CORTEZ, L. A.; MARQUES JR., J.; PELUCO, R. G.; TEIXEIRA, D. B.; SIQUEIRA, D. S. Suscetibilidade magnética para identificação de áreas de manejo específico em citricultura. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, p. 60-79, 2011.

COSTA, L. M. **Surfacesoil color and reflectance as related to physico-chemical and mineralogical soil properties**. 1979. 154 f. Tese (Doutorado) – University of Missouri, Columbia, 1979.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Campinas, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

DALAL R. C.; HENRY, R. J. Simultaneous determination of moisture, organic carbon and total nitrogen by near infrared reflectance spectrometry. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 120-123, 1986.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.

DELHOMME, J. P. **Kriging in hydrosciences**. Fontainebleau: Centre D'Informatique Geologique, 1976. 94 p.

DEMATTÊ, J. A. M.; GARCIA, G. J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 2, p. 327-342, 1999.

DEMATTÊ, J. A. M.; BORTOLETTO, M. A. M.; VASQUES, G. M.; RIZZO, R. Quantificação de matéria orgânica do solo através de modelos matemáticos utilizando colorimetria no sistema Munsell de cores. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 590-597, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011005000006>>.

DOTTO, A. C. **Funções de pedotransferências do solo**: estimativa por radiometria. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

DU, C.; LINKER, R.; SHAVIV, A. Identification of agricultural mediterranean soils using mid-infrared photo acoustic spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, n. 1, p. 85–90, 2008.

FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de reflectância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 245-257, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200003>>.

FERNANDEZ, R. N.; SCHULZE, D. G. Calculation of soil color from reflectance spectra. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 51, n. 5, p. 1277-1282, 1987. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100050033x>>.

FERNANDEZ, R. N.; SCHULZE, D. G. Munsell colors of soils simulated by mixtures of goethite and hematite with kaolinite. **Zeitschrift Pflanzenernähr Bodenk**, Weinheim, v. 155, n. 5, p. 473-478, 1992. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jpln.19921550520>>.

FREIRE, O. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu: Fepaf, 2006. 268 p.

GOOVAERTS, P. Geostatistics tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physic-chemical soil properties. **Biology and Fertility of Soils**, Florence, v. 27, n. 4, p. 315-334, 1998.

GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**, Amsterdam, v. 89, n. 1-2, p. 1-45, 1999. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00078-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00078-0)>.

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

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

HURTADO, S.M.C.; CARVALHO, L.M.T.; FERREIRA, E. Determinação das áreas cafeeiras através da análise multi-Temporal de imagens de satélite, de 1997 e 1999. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 131-135.

HYNDMAN R. J.; KOEHLER, A. B. Another look at measures of forecast accuracy. **International Journal of Forecasting**, v. 22, n. 4, p. 679-688, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>>.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JANIK, L. J.; SKJEMSTAD, J. O.; RAVEN, M. D. Characterization and analysis of soils using mid-infrared partial least squares. I. Correlations with XRF-determined major element composition. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, Australia, v. 33, p. 621-636, 1995.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.

KELLY, K. L.; JUDD, D. B. **Color: universal language and dictionary of names**. Washington: Natural Bureau of Standart, 1976. 177 p. (Special Publication, 440).

KRIGE, D. G. A. Statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, Johannesburg, v. 52, p. 119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R.; MONTEIRO, R. C. **Exemplos de aplicação da cokrigagem**. Rio Claro: Laboratório de Geomatématica, 2002. 17 p. (Texto Didático, 9). Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 1º fev. 2014.

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**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 85-90, 1986.

LUDWIG, B.; KHANNA, P. K.; BAUHUS, J.; HOPMANS, P. Near infrared spectroscopy of forest soils to determine chemical and biological properties related to soil sustainability. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 171, p.121-132, 2002.

MACHADO, G. M. **Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas – SP, 2006.

MACHADO, R. V.; BECEGATO, V. A.; RAFAELLI NETO, S. L.; APARECIDA, O.; FIGUEIREDO, R. Variabilidade espacial de algumas propriedades físicas em três solos para duas profundidades. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 1, p. 44-52, 2006.

MANZIONE, R. L.; RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial multivariada na avaliação de parâmetros químicos do solo. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba: USP/ESALQ, 2002. 347 p.

MARQUES Jr., J.; SIQUEIRA, D. S.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. B.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. **Geoderma**, Amsterdam, v. 219-220, p. 63-71, 2014.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v. 58, n. 8, p. 1.246-1.266, 1963. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>>.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its application**. Fontainebleau, 1971. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique, 5).

MATIELLO, J. B. Fatores que Afetam a Produtividade do Café no Brasil. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA.; ROCHA, M.; YAMADA, T. Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. SIMPÓSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO, 1984, Poços de Caldas – MG, **Anais** Piracicaba, Brasil, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato - POTAFÓS, 1986. 447 p.

McBRATNEY, A. B.; DE GRUIJTER, J. J.; BRUS, D. J. Spacial prediction and mapping of continuous soil classes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 39-64, 1992. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(92\)90097-Q](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(92)90097-Q)>.

McBRATNEY, A. B.; MYNASNY, B.; CATTLE, S. R.; VERVOORT, R. W. From pedotransfer functions to soil inference systems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 109, p. 41-73, 2002.

MELVILLE, M. D.; ATKINSON, G. Soil color: its measurement and its designation in models of uniform color space. **European Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 36, n. 4, p. 495-512, 1985. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1985.tb00353.x>>.

MINASNY, B. Predicting soil properties. **Jurnal Ilmu Ternah dan Lingkungan**, Peternakan, v. 7, n. 1, p. 54-67, 2007.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.1, p. 69-77, 2005.

MORAGADO, A. A. M. **Visão da produção arábica e robusta por Alice Ane Moreira Moragado**. Disponível em <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=41316>>. Acesso em: 20 maio 2014.

MOUAZEN, A. M.; BAERDEMAEKER, J.; RAMON, H. Effect of wavelength range on the measurement accuracy of some selected soil constituents using visible-near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, Chichester, v. 14, p. 189–199, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1255/jnirs.614>>.

MOUAZEN, A.M.; MALEKI, M.R.; BAERDEMAEKER, J.; RAMON, H. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 13–27, 2007.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell soil color charts**. Baltimore, 1975.

NOVAES FILHO, J. P.; COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. A.; JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; RIHA, S. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p. 91-100, 2007.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad em suelos de la depresión del Lago de Valencia. **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 44, n. 1, p. 41-65, 1994.

PAVÃO, F.; LESSA, M. B. Determinação da Produção de café na região de Atuação da COCAPEC, Através da utilização de Geoprocessamento. 28 Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Caxambu-MG, 2002. **Resumos...** p. 125.

PAZ, A. M.; CIPRIANO, D.; GONCALVES, M. C.; PEREIRA, L. S. Funções de pedo-transferência para a curva de retenção da água no solo. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 32, n. 1, p. 337-343, 2009.

POLLO, G. Z. **Suscetibilidade magnética, atributos do solo e da planta na discriminação de áreas de manejo específico na cultura do café**. 2013. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

POST, D. F.; BRYANT, R. B.; BATCHILY, A. K.; HUETE; A. R. **Correlations between field and laboratory measurements of soil color**. Madison: SSSA, 1993. p.35-49. (Special Publication, 31).

PRADO, H. **Manual de classificação de solos do Brasil**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 197 p.

PRETE, C. E. C. **Condutividade Elétrica do Exsudato de Grãos de Café (Coffea arabica L.) e sua Relação com a Qualidade da Bebida**. Piracicaba: ESALQ, 1992. 125p. : il. (Tese - doutorado em Agronomia, área de concentração: Fitotecnia).

QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; ZANDONADI, R. S.; EMERICH, I. N.; SENA JÚNIOR, D. G. Uso de Técnicas de Agricultura de Precisão para a Cafeicultura de Montanha. In: ZAMBOLIM L. (Ed.) **Efeitos da Irrigação sobre a Qualidade e Produtividade do Café**. Viçosa-MG. p. 77-108, 2004.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 1-6, 1986.

REMACRE, A. Z.; UZUMAKI, E. T. Variogramas para interpolação em geofísica. **Geociências**, São Paulo, v. 15, p. 17-39, 1996.

RESENDE, J. M. A. **Caracterização pedométrica de atributos de Argissolos coesos do leste maranhense**. 2013. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2007. 322 p.

ROCKSTROM, J.A. Safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472-475, 2009.

RUGANI, F. L.; SILVEIRA, S. F. R. Análise de risco para o café em Minas Gerais. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 4, n. 3, p 343-364, 2006.

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

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

SANTOS, H. L.; MARQUES Jr., J.; MATIAS, S. S. R.; SIQUEIRA, D. S.; MARTINS FILHO, M. V. Erosion factors and magnetic susceptibility in different compartments of a slope in Gilbués-PI, Brazil. **Engenharia Agrícola (Impresso)**, v. 33, p. 64-74, 2013.

SANTOS, H. L.; MARQUES Jr., J.; MATIAS, S. S. R.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. Suscetibilidade magnética na identificação de compartimentos da paisagem em uma vertente. **Agrária**, Recife, v. 6, n. 4, p. 710-716, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i4a1347>>.

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do cerrado brasileiro. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 313-321, 2006.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa. SBCS, 2005. 100 p.

SCHULZE, D. G.; NAGEL, J. L.; VAN SCOYOC, G. E.; HENDERSON, T. L.; BAUMGARDNER, M. F.; STOO, D. E. Significance of organic matter in determining soil colors. In: BIGHAM, J. M.; CIOLKOSZ, E. J. **Soil color**. Madison: Soil Science Society of America, 1993. p. 71-90. (Special Publication, 31). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaspepub31.c5>>.

SENL, H.; AKCUL, M.; UJDECI, M.; BASAYIGIT, L. The determination of some physical characteristics of different particle sizes in soils with reflection spectroscopy. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 7, n. 14, p. 2.225-2.235, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5897/AJAR12.851>>.

SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 66, n. 3, p. 988-998, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2002.9880>>.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREIDO, C. A. P.; MARQUES JÚNIOR, J.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-407, 2007.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2.057-2.064, 2000.

SIMÕES, W. L.; SILVA, E. L.; LIMA, D. M.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 1.061-1.068, 2006.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES, Jr.; J.; MATIAS, S. S. R.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAFFA, O.; OLIVEIRA, L.C. Correlation of properties of Brazilian Haplustalfs with magnetic susceptibility measurements. **Soil Use and Management**, v. 26, p. 425-431, 2010.

SIQUEIRA, D.S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, p. 55-66, 2010.

SIQUEIRA, D. S. **Mapeamento de atributos e planejamento amostral para Latossolos utilizando suscetibilidade magnética, cor e relação solo-paisagem**. 2013. 109p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2013.

SOUZA JR., J. O.; KER, J. C.; MELLO, J. W. V.; CRUZ, C. D. Produtividade do cacauzeiro em função de características do solo. II. Características físico-morfológicas e alguns elementos extraídos pelo ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 873-880, 1999.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

SOUZA Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, 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, n. 3, p. 699-707, 2001.

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 de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1.763-1.771, 2004.

STAFFORD, J.V.; AMBLER, B.; LARK, R.M.; CATT, J. Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.14, n.2-3, p.101-119, 1996.

TEDESCHI, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 89, n. 2-3, p. 225-247, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2005.11.004>>.

TEIXEIRA, S.M.; MILHOMEM, A.V. A Competitividade e Custos da Cafeicultura Brasileira. In: **Tecnologias de Produção de Café com Qualidade**, ZAMBOLIM, L. (ed.) Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. p. 25-60.

TEKIN, Y.; KUANG, B.; MOUAZEN, A. M. Potential of on-line visible and near infrared spectroscopy for measurement of pH for deriving variable rate lime recommendations. **Sensors**, Basel, v. 13, n. 8, p. 10.177-10.190, 2013.

TITTONELL, P.; SHEPHERD, K. D.; VANLAUWE, B.; GILLER, K. E. Unravelling the effects of soil and crop management on maize productivity in smallholder agricultural systems of western Kenya - —an application of classification and regression tree analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 123, n. 1-3, p. 137–150, 2008.

TORRENT, J.; BARRÓN, V. Laboratory measurement of soil color: theory and practice. In: BIGHAM, J. M.; CIOLKOSZ, E. J. (Ed.). **Soil color**. Madison: SSSA, 1993. p. 21-33. (Special Publication, 31).

TORRENT, J.; BARRÓN, V. Diffuse reflectance spectroscopy. In: Ulery, A.L., & Drees, L.R. (Eds.), **Methods of Soil Analysis. Part 5. Mineralogical Methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2008. p. 367-385. (SSSA Book Series, 5).

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 38, p. 45-94, 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 America Journal**, Madison, v. 51, n. 3, p. 668-674, 1987.

VASQUES, G. M.; DEMATTÊ, J. A. M.; VISCARRA ROSSEL, R. A.; RAMÍREZ-LÓPEZ, L.; TERRA, F.S. Soil classification using visible/near-infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. **Geoderma**, Amsterdam, v. 223–225, p. 73–78, 2014.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; DAMIAN, J. M. Distribuição espacial de micronutrientes em áreas de Latossolo irrigado e sequeiro manejadas com a agricultura de precisão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, p. 408-422, 2012.

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

VISCARRA ROSSEL, R. A.; BEHRENS, T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. **Geoderma**, Amsterdam, v. 158, p. 46-54, 2010.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WALVOORT, D. J. J.; MCBRATNEY, A. B.; JANIK, L. J.; SKJEMSTAD, J. O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v. 131, n. 1-2, p. 59–75, 2006.

WENDROTH, O.; JÜRSCHIK, P.; KERSEBAUM, K. C.; REUTER, H.; VAN KESSEL, C.; NIELSEN, D. R. Identifying, understanding and describing spatial processes in agricultural landscapes – four case studies. **Soil & Tillage Research**, Oxford, v. 58, n. 3-4, p. 113-127, 2001.

CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DA COR DO SOLO NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM DIFERENTES POTENCIAIS PRODUTIVOS DA CULTURA DE CAFÉ

RESUMO - A produtividade e a qualidade do produto final de uma cultura podem ser influenciadas diretamente pelos atributos do solo. Assim, neste sentido, o objetivo do presente estudo foi determinar a cor do solo pela espectroscopia de reflectância difusa na faixa do visível VIS-NIR, para a caracterização dos atributos produtivo e qualitativo, indicando áreas de manejo específico na cultura do café. O experimento foi conduzido em um campo de 39 hectares, no município de Matão, no sudoeste do Estado de São Paulo. A área estava sob o cultivo de café, variedade *Coffea arabic* L. (IAC Catuaí Amarelo – 62). Para a instalação do experimento, foram utilizadas plantas com 7 anos de idade, com espaçamento de plantio de 3,5 × 0,50 m. Os pontos amostrais para coleta de solo e planta foram amostrados com intervalo regular, de 45 × 45 m, totalizando 173 pontos. As coletas de solos foram realizadas na profundidade de 0,0 – 0,20 m. Os valores de reflectância difusa foram obtidos na faixa de 380 a 780 nm, obtendo-se posteriormente os valores do matiz, valor, croma e índice de avermelhamento (IAV). Foi utilizado o equipamento sistema de posicionamento global (GPS) e elaborado em seguida o modelo digital de elevação (MDE), de modo a realizar o mapeamento da área de estudo. A integração de diferentes técnicas de diagnósticos e análises favoreceu o melhor entendimento das relações do solo com a planta. Dessa maneira, essas ferramentas podem ser utilizadas pelo setor cafeeiro para auxiliar no planejamento sustentável das áreas agrícolas.

Palavras-chave: Pedotransferência, Espectroscopia de reflectância difusa, Geoestatística, Variograma, *Coffea arabica*.

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL IN COLOR IDENTIFICATION OF AREAS WITH DIFFERENT POTENTIAL PRODUCTION OF CULTURE OF COFFEE

ABSTRACT - The productivity and quality of the end product of a culture can be directly influenced by soil attributes. So in this sense, the objective of this study was to determine the soil color by diffuse reflectance spectroscopy in the visible VIS-NIR, to characterize the quality and yield attributes, indicating specific areas of management in the coffee culture. The experiment was conducted in a field of 39 acres in Matão in the southwest of the state of São Paulo. The area was on the cultivation of coffee, *Coffea arabica* variety L. (IAC Catuai Yellow - 62). For installation of the experiment was used plants with 7 years of age, with spacing of planting 3.5 × 0.50 m. The sampling points for collecting soil and plant were sampled with regular interval of 45 × 45 m, totaling 173 points. The samples of soil were taken at the depth 0.0 to 0.20 m. The diffuse reflectance values were obtained in the range 380-780 nm, subsequently obtaining the values of hue, value, chroma and redness index (IAV). Was using the equipment (GPS) global positioning system, and then designed the digital elevation model (DEM) in order to perform the mapping of the study area. The integration of different diagnostic techniques and analyzes favored the better understanding of the relationships of soil with the plant. Thus these tools can be used by the coffee industry to assist sustainable planning of agricultural areas.

Keywords: Pedotransfer, diffuse reflectance spectroscopy, Geostatistics, Variogram, *Coffea arabica*.

2.1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade econômica de importância no agronegócio brasileiro; assim, previsões de produtividade podem auxiliar no planejamento das atividades agrícolas (CARVALHO et al., 2004). O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos de produção, que é intimamente relacionado à produtividade da cultura, como aptidão agrícola e capacidade de uso, são fatores imprescindíveis para estimar a correta densidade nos levantamentos de solos e no manejo localizado (DODERMANN; PING, 2004). Uma das dificuldades na elaboração dos modelos de previsão da produtividade de café é a variabilidade dos fatores ambientais, como clima e solo (WEILL et al., 1999).

Vários autores destacam a importância de conhecer a relação existente entre a variabilidade espacial dos atributos do solo e a variabilidade dos atributos da planta, com o intuito de auxiliar na identificação de causa e efeito entre estes atributos (MILLER et al., 1988; BRUBAKER et al., 1993; WANG et al., 2001; FANTAW et al., 2006; MULUGETA; SHELEME, 2010; SHELEME, 2011). Aperfeiçoando o conhecimento do solo, pesquisadores concluem que a topografia é um fator importante na distribuição dos atributos do solo, interferindo na produção da cultura (STONE et al., 1985; DANIELS et al., 1987; KRAVCHENKO; BULLOCK, 2000; MANNING et al., 2001;. ZEBARTH et al., 2002; NORTON et al., 2003; SI; FARRELL, 2004;. MARTÍN et al., 2005; ZHANG; ZHANG, 2005; KRAVCHENKO et al., 2005; TERRA et al., 2006; REES et al., 2007; NOORBAKHSH et al., 2008; SANCHEZ et al., 2012), onde a topografia intervém na distribuição espacial dos tipos de solos e na coloração destes solos (AITKENHEAD et al., 2012; DESSALEGNA et al., 2014).

A cor do solo está relacionada com a drenagem (RESENDE et al., 2007), matéria orgânica (BAROUCHAS; MOUSTAKAS, 2004), manganês (HAIDOUTI; MASSAS, 1998; DOWDING; FEY, 2007) e forma e conteúdo de ferro (DAVEY et al., 1975; GALVÃO; VITORELLO, 1998; BARRON et al., 2000). É uma das características morfológicas de mais fácil visualização e identificação nos solos (SANTOS et al., 2005), podendo atuar como pedoindicadores (SCHWERTMANN, 1993), no comportamento da planta, favorecendo o acompanhamento correto da safra, principalmente para as que apresentam interesse econômico.

A determinação da cor do solo normalmente é realizada em comparação à carta de Munsell, observando o matiz (comprimento de onda da luz), o valor (brilho ou tonalidade) e o croma (intensidade ou pureza em relação ao cinza) (MUNSELL, 1998). Esse sistema apresenta imprecisões que o invalidam quando se pretende obter informações quantitativas sobre a cor (BARRÓN et al., 2000). A partir desta subjetividade da interpretação da cor pelo olho humano, Torrent e Barrón (2008) propuseram a determinação em laboratório da cor de amostras de solo empregando-se a técnica baseada na espectroscopia de reflectância difusa (ERD), usando os mesmos aparelhos espectrofotométricos comuns de laboratórios, com pequenas adaptações (FERNANDES et al., 2004).

Essa técnica permite que a luz incidente sobre uma determinada amostra de solo seja refletida de maneira difusa, causando uma curva de reflectância, em um intervalo de comprimento de onda que varia, normalmente, entre 400 e 700 nm. As informações dos espectros são convertidas em valores triestímulos X, Y e Z, que determinam os valores de Munsell: matiz, valor e croma (BARRÓN et al., 2000; CAMPOS et al., 2003; VISCARRA ROSSEL; BEHRENS, 2010).

O comportamento espectral do solo depende de sua composição química, física, biológica e mineralógica, sendo a matéria orgânica e os óxidos de Fe os principais constituintes que afetam o comportamento espectral (DALMOLIN et al., 2005). Devido ao solo apresentar variações em sua composição e a relação existente com a reflectância espectral, podem-se prever, de maneira confiável, rápida e não invasiva, as características físicas e químicas do solo (SHEPHERD; WALSH, 2002; DALMOLIN et al., 2005).

Alguns autores dedicaram-se a incrementar a ERD na determinação de fatores relacionados ao solo e à produtividade das culturas, na avaliação da utilização da suscetibilidade magnética (SM) e ERD para a caracterização da variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas do solo e diferentes potenciais para a produção de cana-de-açúcar (MARQUES Jr. et al., 2014), classificação do solo (VASQUES et al., 2014), previsão do pH do solo e recomendação das doses de calcário (TEKIN et al., 2013), etc.

A avaliação da variabilidade espacial dos atributos do solo tem-se tornado uma importante ferramenta para a determinação de estratégias de manejo da cultura, procurando aumentar a produtividade agrícola (CARR, 2003; MINASNY; McBRATNEY, 2007). Essa dependência espacial dos atributos do solo e da planta

pode ser exposta usando o semivariograma experimental (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989), ajustando a um modelo matemático descrito por McBratney e Webster (1986).

Diversas pesquisas já usam a variabilidade espacial como ferramenta para o manejo correto nas lavouras (ALVES et al., 2009; MORA; BEER, 2012), como na variabilidade espacial em áreas de produção agrícola, em sistema de plantio direto, com rotação de culturas (BOTTEGA et al., 2013); em áreas de manejo específico no cultivo de café, com base na relação solo-relevo e classificação numérica (SANCHEZ et al., 2012); uso do semivariograma escalonado para plano de amostragem do solo em áreas de cana-de-açúcar (MONTANARI et al., 2012); variação espacial da broca e do bicho-mineiro em um agroecossistema cafeeiro (ALVES et al., 2011), e na caracterização da variabilidade espacial em um Latossolo Vermelho eutroférico, cultivado com cana-de-açúcar, associados a compartimentos da paisagem (SOUZA et al., 2004a).

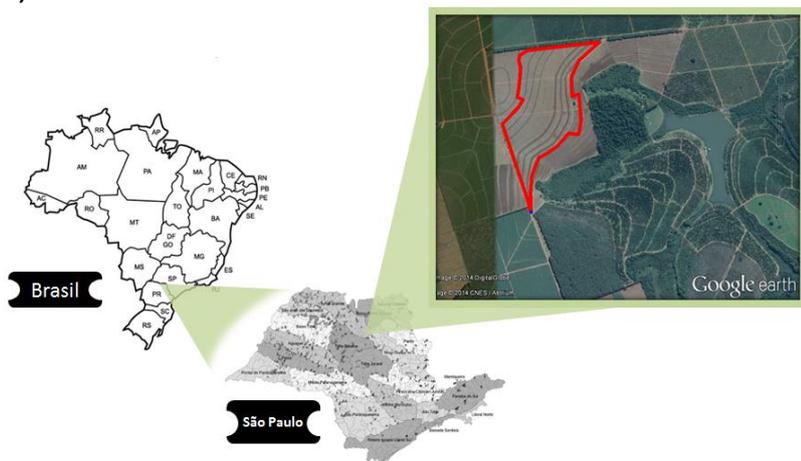
Assim, a variabilidade da cor do solo é uma importante fonte de informação para os atributos da planta. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi determinar a cor do solo pela espectroscopia de reflectância difusa na faixa do visível VIS-NIR, para a caracterização dos atributos produtivo e qualitativo, indicando áreas de manejo específico na cultura do café.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo e descrição dos locais de coleta das amostras

O experimento foi realizado em uma área de 39 ha, localizada no município de Matão, sudoeste do Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1a). As coordenadas geográficas centrais da área são 21° 36' S de latitude e 48° 29' W de longitude, com altitude variando entre 590 e 615 metros. Segundo a classificação de Thornthwaite (1948), o clima local é definido como B1eB'4', Tipo Mesotérmico Úmido, com pequena deficiência hídrica, sendo a evapotranspiração de verão menor que 70% da evapotranspiração anual. O material geológico está relacionado ao Grupo Bauru, Formação Adamantina. O solo do local de estudo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, com teor médio de ferro total (Fe_2O_5) de 3% (EMBRAPA, 2006).

a)



b)

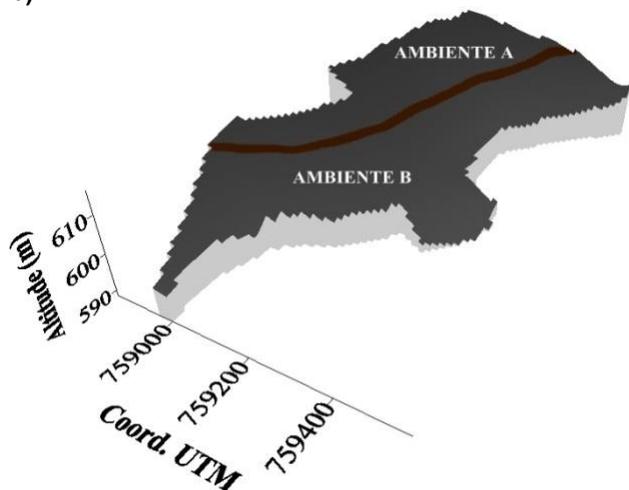


Figura 1. Localização da área de estudo, o contorno em vermelho indicou a área experimental (39 ha) (a). Modelo de elevação digital (MED) da área estudada com a divisão de ambiente (b)

A área é cultivada há 25 anos com a variedade *Coffea arabic* L. (IAC Catuai Amarelo – 62). As plantas do estudo estavam com 7 anos de idade, e o espaçamento de plantio foi de $3,5 \times 0,50$ m. Desde o início do cultivo, a cultura foi conduzida com sistema de fertirrigação por gotejamento. A colocação dos pontos amostrais foi realizada com intervalo regular, usando entre os pontos 45 m, totalizando 173 pontos na área de estudo da Fazenda Cambuhy. As coletas de solo para análises foram realizadas de 0,0-0,20 m de profundidade.

Foi elaborado o modelo de elevação digital (MDE) da área de estudo, cuja fisiografia é representativa da região (Fig. 1b). Baseado em resultados da geoestatística e alguns estudos utilizando espessura do solo (SANCHEZ et al., 2009) e suscetibilidade magnética (SM) (CORTEZ et al., 2011), a área foi dividida em dois ambientes, que apresentam diferentes profundidades dos horizonte A+E que foram medidos por tradagem profunda (POLLO, 2013). A área foi discriminada em

Ambiente A e Ambiente B. No Ambiente A, a SM correspondeu a $174,79 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ e a espessura do solo foi de 44,51 cm. Já no Ambiente B, a SM foi de $125,91 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ e a espessura do solo, de 52,6 cm.

A SM foi analisada utilizando um medidor MS2, da Bartington Instruments Ltda., que foi acoplado a um sensor de laboratório MS2B de duas frequências. Com o uso destes sensores, foi determinado a SM, utilizando campo magnético baixo e alternado, de intensidade de -80 A m^{-1} (10^{-4} T) e de frequência variada. A espessura do horizonte (A+E) foi obtida pela média de três tradagens profundas na unidade amostral. Essas profundidades foram medidas por avaliação tátil dos teores de argila/areia, até o surgimento da textura argilosa.

O Ambiente A foi composto por 70 pontos amostrais, e o Ambiente B, por 103 pontos. Os valores dos atributos físicos e químicos foram os que mais contribuíram nessa identificação (Tabela 1).

Tabela 1 Valores médios dos atributos físicos e químicos do solo, avaliados em 173 amostras, na camada de 0,0-0,20 m (ou horizonte A)

AMBIENTE A			AMBIENTE B	
Características físicas				
Atributos ⁽¹⁾	Média	DP	Média	DP
Argila (g kg^{-1})	156,60	2,74	167,8	4,03
Areia (g kg^{-1})	802,30	2,63	791,50	4,07
Silte (g kg^{-1})	41,10	0,94	40,70	1,15
Mi ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,21	2,24	0,22	4,14
Ma ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,09	2,67	0,11	5,85
Ds (kg dm^3)	1,73	0,06	1,71	0,09
Características químicas				
SB (mg kg^{-1})	491,70	18,50	600,90	26,10
V%	63,450	12,80	69,40	13,20
CTC (mg kg^{-1})	312,00	15,90	417,10	23,00
Fe _d (mg kg^{-1})	12080,00	1,57	11990,00	2,35
Fe _o (mg kg^{-1})	1550,00	0,46	1520,00	0,39
Características da planta				
Ca (mg kg^{-1})	14920,00	3,61	10490,00	3,42
B (mg kg^{-1})	87030,00	13,60	62760,00	16,40
Mn (mg kg^{-1})	241990,00	80,90	145870,00	82,30
Zn (mg kg^{-1})	19640,00	5,64	12550,00	5,30

⁽¹⁾ – os valores de referência foram extraídos da dissertação de Pollo (2013), com exceção dos resultados de (Mi, Ma, Ds, SB, V%, CTC, Fe_d e Fe_o).

microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma), densidade do solo (Ds), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC), ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_d), Ferro extraído pelo oxalato de amônio (Fe_o), cálcio (Ca); manganês (Mn); zinco (Zn) e DP: desvio-padrão.

Na divisão aparente, a média da profundidade nos horizontes A+E mostra que o Ambiente A é 10 cm menor do que no Ambiente B. A partir dessa divisão, todas as demais avaliações foram comparativas entre os dois Ambientes.

3.1.2 Determinação da cor a partir da avaliação da espectroscopia de reflectância difusa

Para a obtenção dos espectros de reflectância difusa, utilizou-se de um sensor Lambda 950UV/VIS/NIR da Perkin Elmer. Usou-se aproximadamente 0,5 g de terra fina seca ao ar (TFSA) que foi moída em almofariz de ágata até a obtenção de coloração constante. Os valores de reflectância foram determinados a cada 0,5 nm, na faixa do visível, no intervalo de 380 a 780 nm.

Após a obtenção dos espectros de reflectância das amostras de solo, foram determinados os valores triestímulo XYZ definidos pela Comisión Internacional de L'Eclairage - CIE (WYSZECKI; STILES, 1982). A partir das coordenadas XYZ, foram deduzidos os valores Munsell de matiz, croma e valor, utilizando o programa Munsell Conversion, versão 6.4, conforme Barrón et al. (2000) e Viscarra Rossel (2011). Utilizando os valores de croma, valor e matiz, obtidos pela análise de espectroscopia de reflectância difusa, foi calculado um índice de avermelhamento (IAV), conforme Eq.1 (BARRÓN et al., 2000).

$$IAV = \frac{(10-H) \times C}{V} \quad [Eq. 1]$$

em que, V é o valor Munsell e C e o valor numérico do croma Munsell, e H é o número que precede o YR no matiz.

3.1.3 Caracterização dos atributos do solo e da planta

A granulometria do solo seguiu o método de Day (1965). Para os valores de pH, acidez trocável (Al^{3+}) e os elementos que compõem a soma de bases (SB): cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) trocáveis, foram gerados seguindo a metodologia proposta por Raij et al. (2001).

Na determinação dos valores dos atributos físicos, o solo analisado foi coletado em anéis volumétricos, e as variáveis densidade do solo (D_s), a macroporosidade

(Ma) e a microporosidade (Mi) foram determinados adotando o método denominado de “Método do anel volumétrico” (EMBRAPA, 1997), totalizando 173 amostras na profundidade de 0,0 – 0,20 m, escolhidas nas intercepções da malha amostral, nos intervalos de 45 × 45 m.

Na análise dos atributos da planta, a produtividade foi avaliada em sacas de 60 kg, estimada pela média da produção de 9 plantas que constituíram a unidade amostral. Esses valores da unidade amostral foram extrapolados para a determinação da produtividade em hectare (ha). No momento da chegada das amostras no terreiro de secagem, retirou-se 1 litro de café em coco para a determinação da porcentagem de grãos retidos na peneira 14, 16 e 17. Esta medição foi auxiliada por uma proveta graduada, e a classificação dos grãos seguiu pelo seu grau de maturação.

A classificação por peneira foi realizada por um jogo de peneiras, que separa os grãos pelo tamanho e pela forma. Essas peneiras possuem crivos com diversas medidas e dois formatos diferentes: oblongos (separam os cafés mocas) ou circulares (separam os cafés chatos). Os cafés chatos são classificados nas peneiras que vão de 13 a 30, e os mocas, nas peneiras de 9 a 13. Conforme a peneira utilizada, os cafés terão as seguintes classificações: chato grosso (17, 18, 19 e 20), chato médio (15 e 16) e chato miúdo (13 e 14); moca graúdo (12 e 13), moca médio (10 e 11) e moca miúdo (9) (BSCA, 2014).

Na classificação do café quanto à qualidade, as análises foram baseadas na contagem de grãos com defeitos e das impurezas contidos numa amostra de 300 g do produto final (beneficiado). Os grãos considerados imperfeitos são os que possuem defeitos intrínsecos (grãos imperfeitos), que apresentam essa característica pelos processos agrícolas, secagem e beneficiamento (pretos, ardidos, verdes, mal granados, quebrados e brocados). Os defeitos de natureza extrínseca (impurezas) são compreendidos como os elementos estranhos junto ao grão de café (pedras e torrões, paus e cascas pequenas). Cada um desses defeitos (defeitos ou impurezas) corresponde a uma medida de equivalência de defeitos, que ao final da classificação são somados, e o valor correspondente é encontrado na tabela de Classificação Oficial Brasileira (COB).

Os resultados das análises foliares do cafeeiro foram submetidos à metodologia do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), técnica que se baseia no cálculo de índices para os nutrientes, que são avaliados em função da

relação das razões existentes entre os teores dos nutrientes, que os comparam dois a dois, com as relações-padrão, em que a composição mineral é obtida de plantas com altos índices de produtividade (BEAUFILS, 1973).

3.1.4 Análise estatística dos dados

Os atributos que apresentaram melhores correlações foram submetidos à análise de regressão, elaborando gráficos de dispersão e linhas de tendências ajustadas para os atributos da cor e para o índice de avermelhamento (IAV), com os dados de produção e qualidade do cafeeiro. A partir das linhas de tendências ajustadas, foram desenvolvidas funções de pedotransferências de modo a estimar os valores desses atributos em função da cor do solo.

Foram elaboradas tabelas com a estatística descritiva, em que continham o valor da média, o desvio-padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV). Propondo avaliar a diferença da média entre os ambientes, usou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As comparações das médias foram seguidas pelos ambientes.

A dependência espacial foi avaliada pelos ajustes de semivariogramas, em que a Eq. 2 pressupõe a estacionariedade da hipótese intrínseca.

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

em que, $\hat{\gamma}(h)$ é a variância experimental para uma distância de separação h ; $N(h)$ são os números de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados pela distância h .

Para a determinação da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (MATHERON, 1963; ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). O semivariograma é representado pelo gráfico $\gamma(h)$ versus h . Foram usados os modelos esférico, exponencial e gaussiano, ajustando o melhor modelo que representou a relação entre a semivariância experimental e a distância h . Os parâmetros determinados foram: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$), alcance (a) e o grau de dependência espacial (GDE). O GDE (Eq. 3) foi determinado seguindo critérios de Cambardella et al. (1994), em que o GDE é considerado forte, quando

for $\leq 25\%$; moderado, quando estiver entre $25\% < GDE \leq 75\%$, e de dependência espacial fraca, quando $GDE > 75\%$.

$$GDE = \left(\frac{C}{C_0 + C} \right) \times 100 \quad [\text{Eq. 3}]$$

em que, o GDE é o grau de dependência espacial; C = contribuição da semivariância ($C_0 + C - C_0$) e $C_0 + C = \text{patamar}$.

Detectada a dependência espacial, foram confeccionados os mapas da distribuição espacial do atributo por meio da krigagem ordinária. Segundo Grego e Vieira (2005), a construção de mapas com valores obtidos através da krigagem são importantes para a interpretação da variabilidade espacial. Esses mapas contribuem para as tomadas de decisões a campo.

A análise estatística foi realizada no programa Minitab®, versão 14. A análise geoestatística e os modelos dos semivariogramas dos atributos foram determinados com o auxílio do programa GS+®, versão 7. Os mapas temáticos foram gerados com o programa Surfer®, versão 9.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os dados dos atributos da cor do solo e produtivo e qualitativo do café na área de estudo. Foi observado um coeficiente de variação (CV) dos dados que, segundo Warrick e Nielsen (1980), atribui uma baixa variação para (matiz, valor e croma) no solo estudado. No Ambiente A, as variáveis IAV e DRIS exibiram variabilidade moderada, e alta variabilidade para peneira, defeitos e produção. Por sua vez, no Ambiente B, somente as variáveis peneira e DRIS apresentaram variabilidade moderada, estando os demais (IAV, defeitos e produção) com alta variabilidade.

Os resultados obtidos nos ambientes mostraram diferenças entre as variáveis estudadas, tanto para a cor, quanto para os dados produtivo e qualitativo do café (Tabela 2). Nos ambientes, somente a variável croma não obteve diferença significativa. Para os dados produtivo e qualitativo, os valores manifestaram-se diferentes estatisticamente nos ambientes de estudo. Isso demonstra que os atributos da cor (matiz, valor e IAV) dividem a área em dois ambientes, evento

observado por Sanchez et al. (2009) que usaram a espessura do solo, e Cortez et al. (2011), que empregaram a suscetibilidade magnética. Os dados produtivo e qualitativo acompanham essa divisão, mostrando então que existe diferença nos ambientes quanto à produtividade e à qualidade do produto final.

A cor do solo nos ambientes estudados tem mostrado uma variabilidade em relação à superfície do solo (0-0,20 m), o que é explicado pela diferença das médias no ambiente. A variável IAV varia de 3,62 (Ambiente A) para 2,94 no (Ambiente B). Essa diferença indica a influência da topografia nos padrões de cores do solo, fato confirmado por Dessalegna et al. (2014). Essa alteração de valores nos ambientes, explicado pela cor do solo, deve-se ao fato de que o Ambiente A possui um local de maior drenagem, e esta drenagem influencia na cor do solo, afirmado por Wang et al. (2001), onde a drenagem afeta a formação do solo e a cor que é decorrente desta formação. Da mesma forma, Mulugeta e Sheleme (2010) relataram que esses indicadores do solo são afetados pela posição da paisagem, em especial nos horizontes superficiais, como é o caso deste local de estudo que considerou as amostragens neste horizonte.

Por outro lado, esses ambientes obtiveram diferença para as variáveis produtivas e qualitativas. O Ambiente A, onde o horizonte B textural, rico em argila, situa-se mais próximo à superfície, apresentou melhor produção (26,13) e menores valores de defeitos (140,4). O Ambiente B, considerado área deposicional, por estar em cota de menor valor, sendo mais arenoso e com drenagem de água mais rápida, proporcionou menor produção (13,76) e maior valor de defeitos (166, 24), podendo isso ser explicado pela drenagem presente, que segundo Lichtenberg e Shapiro (1997) e Weber et al. (2003), ela é prejudicial, tanto para o ambiente, quanto para a perda de água e perda de sedimentos e, como consequência, são perdidos os nutrientes adsorvidos ou presentes na solução do solo que afetam diretamente as plantas. Esta informação é garantida, pois outras pesquisas observaram menores rendimentos devido à paisagem, drenagem e espessura da superfície do solo, que limitam a quantidade de água disponível (BRUBAKER et al., 1993; FANTAW et al., 2006).

Esse comportamento dos ambientes influenciou nos resultados, permitindo entender que o solo estudado possui diferentes padrões de variabilidade para os atributos da cor, que, por sua vez, afetam as plantas, mesmo estando em um mesmo solo e em ambientes próximos, evento afirmado também por Sanchez et al.

(2012). Essas medidas tornam-se importantes na construção de modelos de previsão da safra, obtidos também por Zhang e Zhang (2005), pois o conhecimento desses locais determina os ambientes específicos de manejo diante da variabilidade dos dados. Essas observações, levando em consideração a cor, auxiliam no estudo do comportamento produtivo e qualitativo do cafeeiro, podendo então contribuir no planejamento correto da safra e no melhor aproveitamento da produção no que se refere à produtividade e à qualidade do produto final.

Tabela 2 Valores médios, desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das características de cor ⁽¹⁾ e atributos produtivo-qualitativos da cultura de café, avaliadas na camada de 0,0 – 0,20 m (ou horizonte A) do solo e dados de produção e qualidade de grão em 173 amostras, em cultivo de café

Variável	Ambiente	Média ⁽²⁾		DP	CV
Matiz	A	6.94	b	0.34	4.90
	B	7.43	a	0.58	7.81
Valor	A	4.33	b	0.23	5.31
	B	4.62	a	0.23	4.98
Croma	A	5.1	a	0.28	5.49
	B	5.19	a	0.37	7.13
IAV	A	3.62	a	0.56	15.47
	B	2.94	b	0.88	29.93
Peneira	A	31.33	b	8.08	25.79
	B	35.8	a	5.99	16.73
Defeitos	A	140.4	b	44.81	31.92
	B	166.24	a	70.58	42.46
Produção (sc ha ⁻¹)	A	26.13	a	15.19	58.13
	B	13.76	b	10.47	76.09
DRIS	A	8.28	a	1.61	19.44
	B	6.88	b	1.53	22.24

⁽¹⁾ - cor do solo obtida pela espectroscopia de reflectância difusa desvio- padrão (DP), coeficiente de variação (CV), índice de avermelhamento do solo (IAV)

⁽²⁾ médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

A topografia é um fator dominante que influencia nas propriedades do solo, pelo fato da drenagem presente e, por consequência, a formação do solo (WANG et al., 2001), como também os padrões de cores do solo (DESSALEGNA et al., 2014). Devido à cor ser uma das propriedades pedológicas que mostram relação com a natureza e o teor de óxidos de Fe, que por sua vez exercem grande influência na reflectância espectral dos solos (BARRÓN; TORRENT, 2000), é justificável analisar

atributos de cor, pois torna-se uma importante ferramenta no acompanhamento correto da área e dos cultivos.

Partindo deste princípio, foram correlacionados os dados dos atributos da cor (matiz, valor, croma e IAV) com o propósito de estabelecer correlações para as variáveis estudadas referentes à produtividade e à qualidade do café (DRIS, defeitos; peneira: 17, 16 e 14 e produção) (Tabela 3). O matiz no local de estudo foi correlacionado com a peneira 17, peneira 14 e produção ($P < 0,01$), bem como com a peneira 16 ($P < 0,05$). O valor foi correlacionado com a peneira 17 e produção ($P < 0,01$) e peneira 16 e peneira 14 ($P < 0,05$). O croma obteve correlação somente para a produção ($P < 0,05$). Finalmente, o IAV foi correlacionado com peneira 17, peneira 14 e produção ($P < 0,01$). Diversos outros autores também mostraram correlações dos atributos do solo com atributos produtivo e qualitativo do café (WEILL et al., 1999; SANCHEZ et al., 2012).

No geral, esses resultados demonstraram que a cor do solo poderá ser um dos preditores de alguns atributos da planta, com maior ou menor probabilidade (Tabela 3). Com isso, torna-se uma análise vantajosa em relação ao menor tempo gasto, quando comparado às análises convencionais realizadas em laboratório. Nas análises convencionais, existe a necessidade de preparação de amostras e a necessidade de maior número de profissionais especializados. Assim, com o uso desta técnica, faz-se agricultura sustentável, pois é um procedimento mais limpo nas determinações e no conhecimento dos atributos da planta.

Tabela 3 Valores das correlações dos atributos produtivo e qualitativo da planta de café com características da cor ⁽¹⁾: matiz, valor, croma e IAV do solo e análises vegetativas de 173 amostras, em cultivo com café

Variáveis	Matiz (YR)	Valor	Croma	IAV
DRIS	-0,122 ^{ns}	-0,095 ^{ns}	-0,095 ^{ns}	0,085 ^{ns}
Defeitos	0,129 ^{ns}	0,144 ^{ns}	0,102 ^{ns}	-0,108 ^{ns}
Peneira 17	0,243*	0,220*	-0,088 ^{ns}	-0,251*
Peneira 16	-0,152**	-0,175**	-0,037 ^{ns}	0,137 ^{ns}
Peneira 14	-0,220*	-0,183**	0,109 ^{ns}	0,241*
Produção sacas ha ⁻¹	-0,557*	-0,269*	0,163**	0,557*

(1) - cor do solo obtida pela espectroscopia de reflectância difusa índice de avermelhamento (IAV), hectare (ha)

* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t-student

** significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t-student

^{ns} não significativo

No horizonte superficial, a análise de regressão para a determinação da produtividade do café mostrou ajustes ao modelo, representada pelo coeficiente de determinação ou pela distribuição dos dados. O ajuste baseou-se na seleção das variáveis dependentes, selecionando os dados de matiz e IAV com a variável analisada, o que proporcionou a equação (Figura 2) para a quantificação da produtividade do cafeeiro (sacas ha⁻¹) nos ambientes estudados.

Os valores de $r^2 = 0,31$, obtidos pelos atributos da cor (matiz e IAV), proporcionaram modelos lineares, que determinaram de maneira indireta a produtividade de café, obtendo assim ($r = 0,56$, $P < 0,001$), para ambos os atributos, matiz e IAV. O valor de r^2 para estes atributos descreve que 31% da variabilidade da produção podem ser explicados pela variabilidade do matiz ou do IAV.

Para a determinação da produtividade através do teor do matiz, é descrito que o aumento no teor do matiz provoca a diminuição da produtividade, e o inverso ocorre para o IAV, ou seja, seu aumento provoca o aumento dos valores da produtividade (Figura 2). Com isso, essas variáveis poderão ser usadas para determinar a produtividade do café, fato explicado pelos valores de matiz do solo que se correlacionaram significativamente com a produção (sacas ha⁻¹) ($r = -0,56$, $P < 0,001$) e o IAV ($r = 0,56$, $P < 0,001$), mostrando que o matiz e IAV, no solo estudado, são os atributos da cor que predizem a produtividade de maneira indireta.

Estas equações e gráficos confirmam que a estimativa da produtividade do café é aplicável, principalmente, pela praticidade de mensuração via método aplicado pelo matiz e IAV. Isso implica o manejo correto e prático, na redução do tempo de coleta de dados e, por conseguinte, na redução dos gastos com análises e levantamentos finais de toda a área.

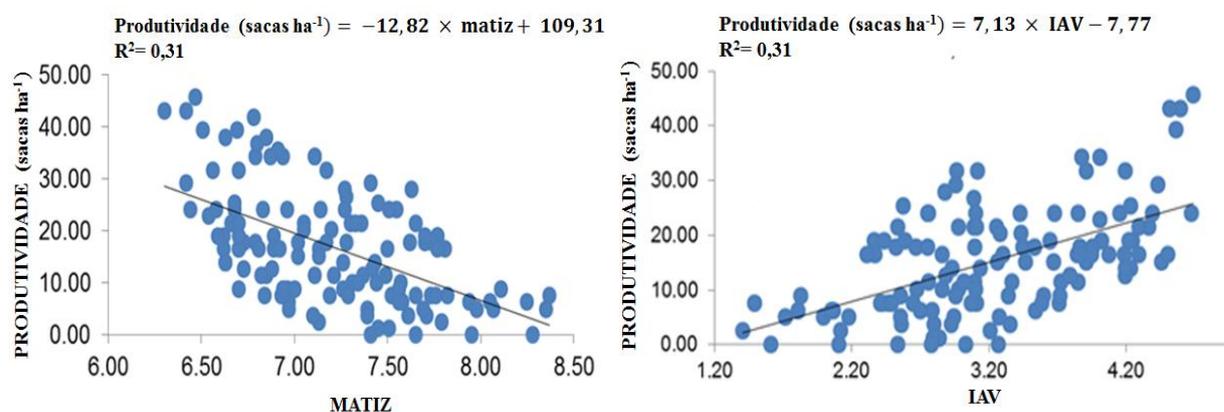


Figura 2. Relação entre a produção, com o matiz e IAV em 173 amostras de solo com cultivo de café. ($P < 0,001$)

Os pontos amostrais recolhidos em uma área de 39 ha descrevem que os valores variaram significativamente na maioria dos atributos. Com isso, a caracterização da área de estudo, levando em conta somente os valores médios, não representa adequadamente o que de fato ocorre no espaço, ou seja, a variabilidade espacial entre a cor do solo e os atributos produtivo e qualitativo do café. Com isso, a precisão dos mapas confeccionados com base nestas informações é reduzida, uma vez que a unidade de mapeamento é realizada por um único valor, podendo não ser representativa da área que foi mapeada (VOLTZ; WEBSTER, 1990). Para não levar conclusões errôneas do que realmente ocorre na área de estudo, alguns pesquisadores já relatam a importância do uso da geoestatística (BOGAERT; D'Or, 2002; VIEIRA et al., 1981; VOLTZ; GOULARD, 1994).

Este processamento das determinações utilizando a geoestatística possibilitou a obtenção dos atributos estudados de cada ponto amostrado dentro do talhão. O estudo da variabilidade espacial dependeu também da identificação dos locais de coleta, atendendo ao princípio da geoestatística. Assim, as Figuras 3 e 4 apresentam os semivariogramas e mapas de distribuição espacial para o matiz, valor, croma, IAV, peneira, defeitos, produção e DRIS, expondo os parâmetros dos semivariogramas ajustados aos modelos teóricos que descreveram o comportamento da variabilidade espacial destes atributos.

O semivariograma é a ferramenta da geoestatística que é utilizada para determinar a variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta. Os parâmetros analisados em cada semivariograma são: modelo; efeito pepita (C_0); patamar (C_0+C_1); alcance (a); grau de dependência espacial (C_0/ C_0+C_1), e coeficiente de determinação (R^2).

O modelo teórico que ajustou a semivariância empírica dos dados, em função da distância, para os atributos matiz, croma, IAV, produção e DRIS, foi o esférico, estando apenas o modelo exponencial para os atributos valor, peneira e defeitos (Figuras 3 e 4). A escolha do ajuste do modelo foi baseada por meio do grau de dependência espacial. Diversas pesquisas indicam o modelo esférico como o de maior ocorrência para os atributos do solo e da planta (TRANGMAR et al., 1985; CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO et al., 1998; BERTOLANI; VIEIRA, 2001; SOUZA et al., 2004b; SILVA et al., 2010). O que difere esses modelos são as mudanças das variáveis, em que o modelo esférico é característica de mudanças

bruscas de variáveis com grandes distâncias, enquanto o modelo exponencial descreve fenômenos mais irregulares em distâncias curtas (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Os semivariogramas dos atributos estudados apresentaram alcances (a) muito superiores ao da malha de amostragem (45 × 45m), o que rejeitou a hipótese de aleatoriedade dos dados. Os valores do alcance (a) obtidos pela semivariância representa o valor numérico em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, no intervalo do alcance, este raio indica que os valores são mais homogêneos (VIEIRA et al., 1983; VIEIRA, 1997). A determinação deste alcance é de fundamental importância para a explicação do semivariograma.

Foi observado valor de alcance próximo entre os atributos da cor, com exceção do croma (250 metros para croma, 450 metros para IAV, 470 metros para matiz e 479 metros para valor), indicando que os atributos da cor podem ser amostrados em um espaço intermediário, próximo aos valores de alcance encontrados. Para as características agronômicas (produtividade e qualidade) avaliadas, os valores de alcance são próximos nos ambientes estudados. Para a produção e peneira, o alcance foi de 150 metros para os dois atributos. Os defeitos obtiveram valor de alcance de 174 metros. Quanto ao DRIS, o alcance foi igual a 180 metros. Essa variação no valor de alcance demonstra que, utilizando à grade amostral proposta (45m), a distância de coleta das amostras deve ser diferente, para cada atributo agronômico na camada analisada.

Os alcances encontrados representam a distância que a técnica geoestatística dirige à estimativa com maior precisão. Essa variabilidade dos atributos da cor comprova a complexa dinâmica dos fatores de formação de solo (JENNY, 1941), confirmando que há variabilidade mesmo em um pequeno espaço (WARRICK; NIELSEN, 1980), e isso reflete nos atributos produtivo e qualitativo do café.

Os atributos estudados apresentaram dependência espacial fraca. Essa dependência espacial é um indicativo de que o valor de semivariância é diferente ao patamar, para qualquer valor de distância. No solo estudado, o GDE para valor, croma, matiz e IAV correspondeu a 61,38; 77,60; 78,60 e 80,90%, respectivamente. Nos atributos produtivo-qualitativos, os valores variaram na ordem crescente de 73,00; 75,20; 84,70 e 99,90 para os atributos defeitos, DRIS, peneira e produção, respectivamente (CAMBARDELLA et al., 1994).

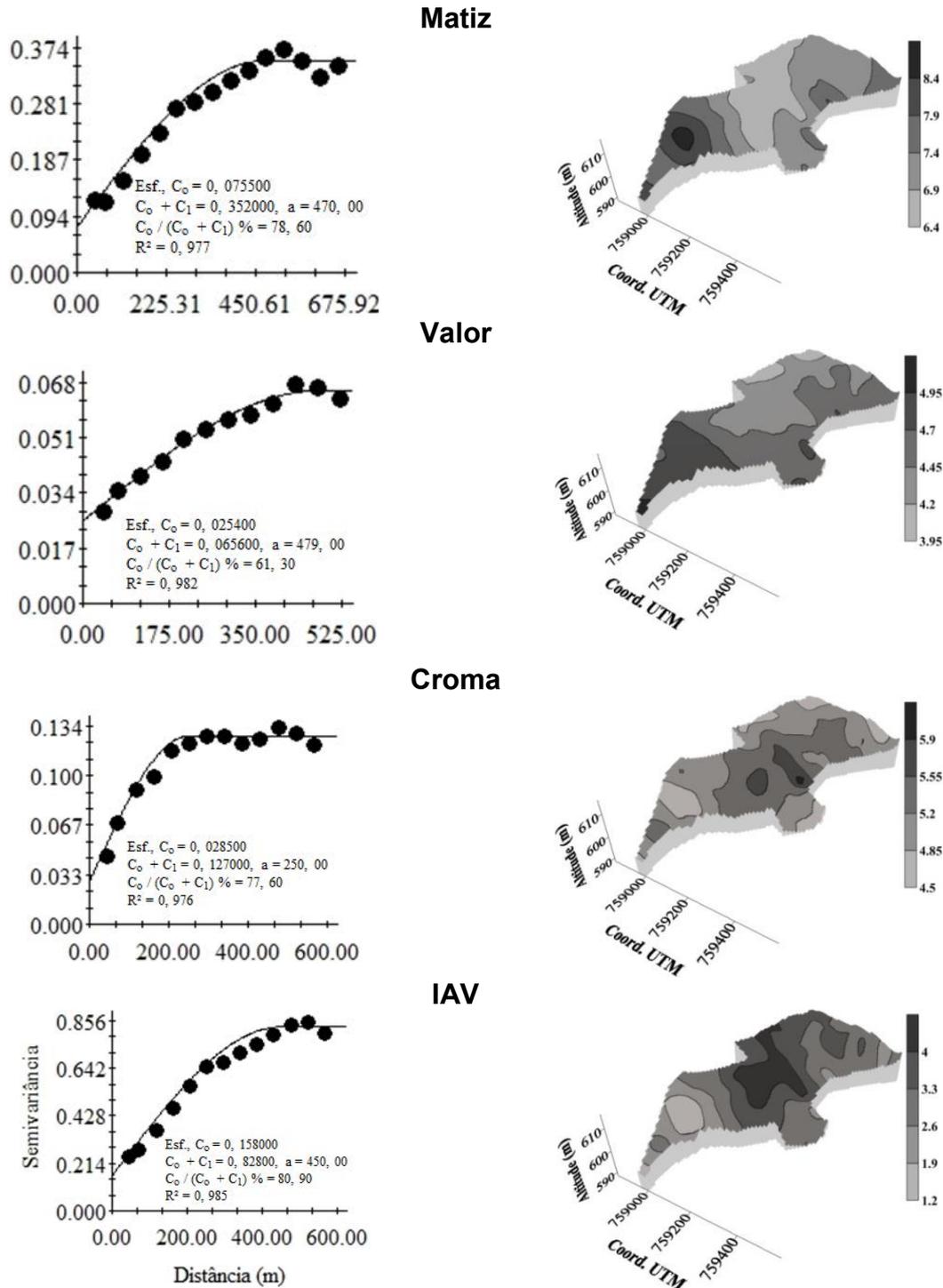


Figura 3. Semivariogramas e mapas do padrão espacial dos atributos estudados: matiz, valor, cromagem e índice de avermelhamento (IAV), avaliados na camada de 0,0-0,20 m de profundidade (ou horizonte A) do solo, de 173 amostras, em cultivo com café. Esf.: modelo esférico; Exp.: modelo exponencial; C_0 : efeito pepita; $C_0 + C_1$: patamar; a : alcance; $C_0/(C_0+C_1)$: grau de dependência espacial; R^2 : coeficiente de determinação

Levando em consideração os parâmetros ajustados e os modelos das semivariâncias dos atributos, utilizou-se da técnica de krigagem ordinária para estimar valores em locais não amostrados, com o propósito de construir os mapas

da variabilidade espacial destes atributos. Esses mapas são importantes para a investigação e a explicação da variabilidade espacial (GREGO; VIEIRA, 2005).

Nas Figuras 3 e 4, são apresentados os mapas analisados em 5 classes de divisão. Buscou-se assim a melhor reprodução da distribuição dos valores dos atributos na área de estudo. Esses mapas de distribuição espacial são referentes aos atributos do solo e da planta. As variações nos mapas são consistentes com os dados da Tabela 2, onde os mapas dos atributos da cor apresentam similaridade na localização dos maiores e menores valores dos atributos produtivo e qualitativo. Os mapas mostraram a variabilidade para cada atributo analisado nos compartimentos estudados. Com isso, os resultados sugeriram que a divisão dos ambientes, mediante estudos dos atributos da cor, auxilia o planejamento de colheita, pois as plantas distribuídas em ambientes diferentes poderão alcançar o ponto de colheita em períodos desiguais. Sanchez et al. (2005) também obtiveram diferentes tipos de peneira e graus de maturação do café em sua área de estudo, sob diferentes ambientes.

Os mapas dos atributos da cor (Figura 3) apresentaram um padrão em que os menores valores encontrados para matiz, croma e valor são localizados na parte superior dos mapas (Ambiente A). Os maiores valores destes atributos foram observados no Ambiente B. Observou-se que, para o mapa do IAV, ocorre o inverso. Nos atributos da planta (Figura 4), verificou-se que, no Ambiente A, foram encontrados maiores padrões para produção e DRIS. Com isso, no Ambiente B, os maiores valores foram peneira e defeitos.

Por meio da comparação dos mapas, observou-se que a maior produção e os menores defeitos coincidiram com os maiores valores de IAV. Para os demais atributos da cor, as maiores produções e menor valor de defeitos ocorreram em locais de menor valor para o matiz, valor e croma. Analisando esses resultados dos mapas de distribuição, sugere-se que os atributos da cor são indicadores eficazes para discriminar o ambiente agrícola.

É comum a desuniformidade dos dados produtivo e qualitativo em cultivos de café, devido a características, como relevo, drenagem, atributos físicos e químicos, cor do solo, etc. Assim, confecção dos mapas de produtividade e qualidade torna o processo de produção mais complexo, uma vez que os grãos colhidos, com qualidades diferentes, precisam ser uniformizados para expressar uma produção que seja comercial. Assim sendo, os grãos de menor qualidade estarão misturados

com os de maior qualidade. Portanto, é plausível considerar a variabilidade espacial dos atributos produtivo e qualitativo para o desenvolvimento das técnicas de amostragem, utilizando a espectroscopia de reflectância difusa, devido ao processamento rápido e à diminuição de amostragens a campo.

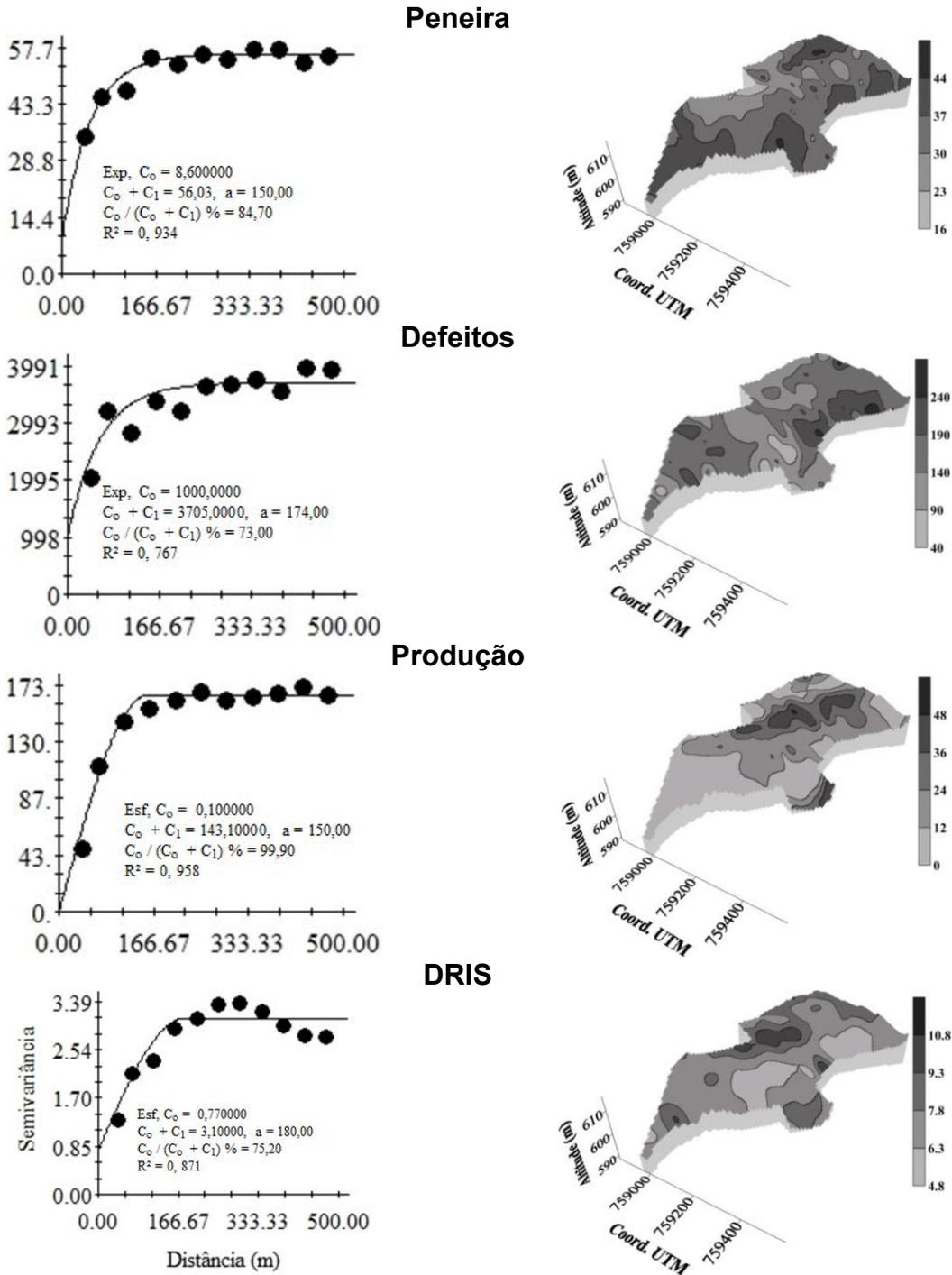


Figura 4. Semivariogramas e mapas do padrão espacial dos atributos estudados: peneira, defeito, produção e DRIS, avaliados na camada de 0,0-0,20 m de profundidade (ou horizonte A) do solo, de 173 amostras, em cultivo com café. Esf.: modelo esférico; Exp.: modelo exponencial; C_0 : efeito pepita; $C_0 + C_1$: patamar; a : alcance; $C_0/(C_0+C_1)$: Grau de dependência espacial; R^2 : coeficiente de determinação

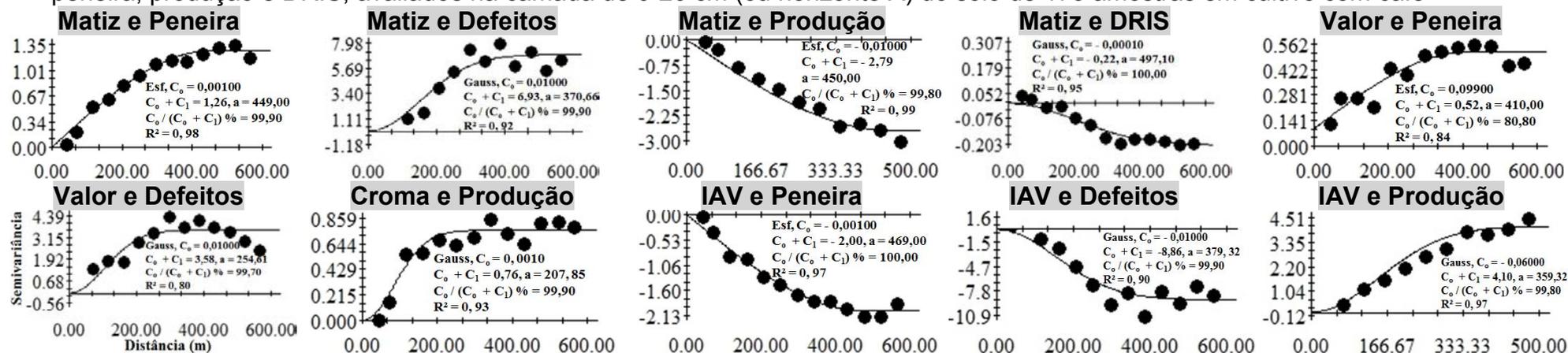
Para verificar como os atributos da cor e da planta estavam correlacionados espacialmente, foi construído o semivariograma cruzado, assumindo valores positivos ou negativos que indicam o aumento de um atributo em consequência do outro, ou o aumento de um gera a diminuição de outro atributo (Tabela 4). Esses semivariogramas cruzados foram utilizados para verificar o grau de dependência espacial (VIEIRA et al., 1983).

Por meio do semivariograma cruzado, verificaram-se correlações espaciais positivas encontradas entre os atributos: matiz (peneira e defeitos); valor (peneira e defeitos); croma (produção) e IAV (produção). As correlações espaciais negativas foram encontradas para os atributos: matiz (produção e DRIS) e IAV (peneira e defeitos).

Os semivariogramas cruzados apresentaram valores de semivariância tanto negativa quanto positiva, que já foi observado pelas correlações das variáveis (Tabela 3). Um semivariograma cruzado positivo indica o aumento de um atributo em consequência de outro; portanto, o semivariograma negativo indica a relação inversa entre duas variáveis. Com este estudo, foi possível verificar a relação entre duas variáveis espacialmente medidas, mostrando que a variabilidade de um atributo da planta é acompanhada pela variabilidade de um atributo do solo. Portanto, atributos regionalizados da cor foram correlacionados espacialmente, e os dados do alcance mostram este vínculo e esta correlação entre os atributos.

O alcance máximo de dependência espacial foi 469 metros (IAV e peneira) até o menor valor de 207,85 metros (croma e produção). O modelo gaussiano foi ajustado para: matiz (defeitos, DRIS); valor (defeitos); croma (produção) e IAV (defeitos e produção). Os demais semivariogramas foram ajustados ao modelo esférico. Os valores de R^2 , variando de (0,80) a (0,99), foram encontrados indicando que os atributos do solo podem ser utilizados como preditores das variáveis analisadas, principalmente para aquelas que obtiveram maior valor de R^2 , como os dados produtivo e qualitativo do café.

Tabela 4 Semivariogramas cruzados dos atributos da cor: matiz, valor, croma, IAV e atributos produtivo-qualitativos: defeito, peneira, produção e DRIS, avaliados na camada de 0-20 cm (ou horizonte A) do solo de 173 amostras em cultivo com café



Esf.: modelo esférico; Exp.: modelo exponencial; Gauss: modelo gaussiano; C_0 : efeito pepita; $C_0 + C_1$: patamar; a : alcance; $C_0/(C_0+C_1)$: Grau de dependência espacial; R^2 : coeficiente de determinação

O confronto dos semivariogramas mostrados revela que os semivariogramas cruzados em estudos de área de café são dependentes para alguns atributos da cor, e produtivo e qualitativo do café. Isso significa que atributos da planta mantêm correlação espacial tanto negativa quanto positiva entre os atributos da cor do solo. Portanto, para este estudo, o monitoramento da área através da espectroscopia de reflectância difusa, na obtenção da cor, permite que, independentemente da variabilidade dos atributos do solo e da planta, ocorrem relações de dependência entre as variáveis estudadas, no espaço, em distâncias distintas para cada atributo.

Essa procura por mapas mais precisos de atributos da planta resultou nos estudos de medida indireta, utilizando as propriedades do solo, como a cor. Os mapas gerados, associados aos semivariogramas, tornaram-se possíveis para as observações das variações dos atributos produtivo e qualitativo do cafeeiro, pois o solo apresenta alta variabilidade de seus principais atributos. Novos estudos são necessários para mostrar a precisão e ajustar essa tecnologia para o mapeamento da variabilidade. Os resultados deste estudo ajudam a orientar futuras pesquisas sobre o uso da cor do solo para impor estratégias na identificação do potencial produtivo e qualitativo, nos diferentes ambientes, baseado nas técnicas de análises geoestatísticas.

5 CONCLUSÕES

A cor do solo obtida pela espectroscopia de reflectância difusa foi eficiente na caracterização da variabilidade espacial dos atributos produtivo e qualitativo do café. O uso combinado dessas medidas de cor com técnicas de análises geoestatística pode ajudar no mapeamento detalhado da relação de causa e efeito entre a cor do solo e o cultivo de café.

6 REFERÊNCIAS

AITKENHEAD, M. J.; COULL, M. C.; TOWERS, G.; HUDSON, G.; BLACK, H. I. J. Predicting soil chemical composition and other soil parameters from field observations using a neural network . *Elsevier*, v. 83, p. 108-116, 2012. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.1016/j.compag.2011.12.013](http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.12.013)>.

ALVES, M. C. A.; SILVA, F. M.; MORAES, J. C.; POZZA, E. A.; OLIVEIRA, M. S.; SOUZA, J. C. S.; ALVEZ, L. S. Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee system. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 18-31, 2011. Disponível em: <[http://dx. doi: 1007/s11119-009-9151-z](http://dx.doi.org/10.1007/s11119-009-9151-z)>.

ALVES, M. C. A.; SILVA, F. M.; MORAES, J. C.; POZZA, E. A.; OLIVEIRA, M. S.; SOUZA, J. C. S.; ALVEZ, L. S. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eyespot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, v. 83, p. 137-148, 2009. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.1007/s10340-008-0232-y](http://dx.doi.org/10.1007/s10340-008-0232-y)>.

BARBOSA, I. O.; LACERDA, M. P. C.; BILICH, M. R. Relações pedomorfológicas nas Chapadas elevadas do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1.373-1.383, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300003>>.

BAROUCHAS, P. E.; MOUSTAKAS, N. K. Soil colour and spectral analysis employing linear regression models I Effect of organic matter. **International Agrophysics**, v. 18, n. 1, p. 1–10, 2004.

BARRÓN, V.; MELLO, J. W. V.; TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos de ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 2, p. 139-162.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition**. Pietermaritzburg: University of Natal, South Africa, 1973. 132 p. (Soil Science Bulletin, 1).

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 987-995, 2001.

BOGAERT, P.; D'Or, D. Estimating soil properties from thematic soil maps: the Bayesian Maximum Entropy Approach. **Soil Science Society of America Journal**. 2002. Disponível em: <[http://dx. doi:10.2136/sssaj2002.1492](http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2002.1492)>.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

Brazilian Specialty Coffee Association – **BSCA**. Disponível em < <http://bsca.com.br/a-bsca.php>>. Acesso em: maio 2014.

BRUBAKER, S. C.; JONES, A. J.; LEWIS, D. T.; FRANK, K. Soil properties associated with landscape positions. **Soil Science Society of America Journal**, 1993.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1.501-1.511, 1994.

CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M.; QUARTAROLI, C. F. Determinação indireta do teor de hematita no solo a partir de dados de colorimetria e radiometria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 4, p. 521-528, 2003.

CARR, J. R. Comments about auto krigability in cokriging based on an empirical study. **Mathematical Geology**, Heidelberg, v. 35, n. 2, p. 217-225, 2003.

CARVALHO, J. R. P. de; SILVEIRA, P. M. da; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1.151-1.159, 2002.

CARVALHO, L. G.; 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, n. 2-3, p. 204-211, 2004. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300003>>.

CORTEZ, L. A.; MARQUES JR., J.; PELUCO, R. G.; TEIXEIRA, D. B.; SIQUEIRA, D. S. Suscetibilidade magnética para identificação de áreas de manejo específico em citricultura. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, p. 60-79, 2011.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.

DANIELS, R. B.; GILLIAN, J. W.; CASSEL, D. K.; NELSON, L. A. Quantifying the effect of past soil erosion on present soil productivity. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 42, n. 3, p. 183-187, 1987.

DAVEY, B. G.; RUSSEL, J. D.; WILSON, M. J. Iron oxide and clay minerals and their relation to colours of red and yellow podzolic soils near Sydney, Australia. **Geoderma**, v. 14, n. 2, p. 125-138, 1975. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.1016/0016-7061\(75\)90071-3](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(75)90071-3)>.

DAY, P. R. Particle fraction and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.) **Methods of soil**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p. 545-566.

DEMATTÊ, J. A. M.; BORTOLETTO, M. A. M.; VASQUES, G. M.; RIZZO, R. Quantificação de matéria orgânica do solo através de modelos matemáticos utilizando colorimetria no sistema Munsell de cores. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 590-597, 2011.

DESSALEGNA, D.; BEYENE, S.; RAMA, N.; WALLEY, F.; GALA, T. S. Effects of topography and land use on soil characteristics along the toposequence of Ele watershed in southern Ethiopia. **Catena**, v. 115, 2014. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.1016/j.catena.2013.11.007](http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.007)>.

DODERMANN, A.; PING, J. L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, 2004. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.2134/agronj2004.2850](http://dx.doi.org/10.2134/agronj2004.2850)>.

DOWDING, C.E.; FEY, M. V. Morphological, chemical and mineralogical properties of some manganese-rich oxisols derived from dolomite in Mpumalanga province, South Africa. **Geoderma**, v. 141, n. 1-2, 2007. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.1016/j.geoderma.2007.04.024](http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.04.024)>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. p. 212.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FANTAW, Y.; LEDIN, S.; ABDELKADIR, A. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in south-eastern highlands of Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v. 232, n. 1-3, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.055>>.

FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 245-257, 2004.

FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, J. B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 467-474, 1996.

FUKUDA, C.; OTSUBO, A. A. **Cultivo da mandioca na região Centro-Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_centrosul/irrigação.html>. Acesso em: 06 mar. 2014.

GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I. Role of organic matter in obliterating the effects of iron on spectral reflectance and colour of Brazilian tropical soils. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n. 10, 1998. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/014311698215090>>.

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

HAIOUTI, C.; MASSAS, I. Distribution of iron and manganese oxides in Haploxeralfs and Rhodoxeralfs and their relation to the degree of soil development and soil colour. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 161, n. 2, p. 141-145, 1998. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.1998.3581610209>>.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. p. 561.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.

KRAVCHENKO, A. N.; BULLOCK, D. G. Correlation of corn and soybean yield with topography and soil properties. **Agronomy Journal**, 2000. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2000.92175x>>.

KRAVCHENKO, A. N.; ROBERTSON, G. P.; THELEN, K. D.; HARWOOD, R. R. (2005). Management, Topographical, and Weather Effects on Spatial Variability of Crop Grain Yields. **America Journal**, 2005. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.2134/agronj2005.0514](http://dx.doi.org/10.2134/agronj2005.0514)>.

LEPSCH, I .F. Influência dos fatores edáficos na produção. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: Potafós, 1987. p. 83-98.

LICHTENBERG, E.; SHAPIRO, L. K. Agriculture and nitrate concentrations in Maryland Community water system wells. **Journal Environmental Quality**, v. 26, n. 1, p. 145-153, 1997. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.2134/jeq1997.00472425002600010022x](http://dx.doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600010022x) >.

MANNING, G.; FULLER, L. G.; EILERS, R. G.; FLORINSKY, I. Topographic influence on the variability of soil properties within an undulating Manitoba landscape. **Journal of Soil Science**, v. 81, n. 4, p. 439-447, 2001.

MARQUES Jr., J.; SIQUEIRA, D. S.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. D. B.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. **Geoderma**, v. 219-220, p. 63-71, 2014. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.12.007](http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.007)>.

MARTÍN, N. F.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G. Associations between field characteristics and soybean plant performance using canonical correlation analysis. **Plant and Soil**, v. 237, p. 39-55, 2005. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.1007/s11104-004-6639-1](http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-6639-1)>.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v. 58, n. 8, p. 1.246-1.266, 1963.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal Soil Science**, v. 37, n. 4, p. 617-639, 1986. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.1111/j.1365-2389.1986.tb00392.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00392.x)>.

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**, v. 52, n. 4, 1988. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.2136/sssaj1988.03615995005200040045x](http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040045x)>.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. Spatial prediction of soil properties using EBLUP with the Matern covariance function. **Geoderma**, Amsterdam, v. 140, n. 4, p. 324-336, 2007.

MONTANARI, R.; SOUZA, G. S. A.; PEREIRA, G. T.; MARQUES, Jr., J; SIQUEIRA, D. S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 5, p. 542-552, 2012. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.1007/s11119-012-9265-6](http://dx.doi.org/10.1007/s11119-012-9265-6)>.

MORA, A.; BEER, J. Geostatistical modeling of the spatial variability of coffee fine roots under Erythrina shade trees and contrasting soil management. **Agroforest**, v. 87, n. 2, p. 365-376, 2012. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.1007/s10457-012-9557-x](http://dx.doi.org/10.1007/s10457-012-9557-x)>.

MULUGETA, D.; SHELEME. Characterization and classification of soils along toposequence in Kindo Koye watershed in southern Ethiopia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 4, n. 2, p. 65–77, 2010.

MUNSELL COLOR. **Munsell color Munsell Soil Color Charts**. NY, 1998.

NOORBAKHS, S.; SCHOENAU, J.; SI, B.; ZELEKE, T.; QIAN, P. Soil Properties, Yield, and Landscape Relationships in South-Central Saskatchewan Canada. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 3, p. 539-556, 2008. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.1080/01904160801895076](http://dx.doi.org/10.1080/01904160801895076)>.

NORTON, J. B.; SANDOR, J.A.; WHITE, C.S. Hillslope soils and organic matter dynamics within a Native American agroecosystem on the Colorado Plateau. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 225-234, 2003. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.2136/sssaj2003.2250](http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.2250)>.

POLLO, G. Z. **Suscetibilidade magnética, atributos do solo e da planta na discriminação de áreas de manejo específico na cultura do café**. 2013. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

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

REES, H. W.; CHOW, T. L.; GREGORICH, E. G. Spatial and temporal trends in soil properties and crop yield at a site under intensive up- and down-slope potato production in northwestern New. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 87, n. 4, p. 383-398, 2007. Disponível em: < [http://dx. doi: 10.4141/CJSS07017](http://dx.doi.org/10.4141/CJSS07017).>.

RESENDE, J. M. A. **Caracterização pedométrica de atributos de Argissolos coesos do leste maranhense**. 2013. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2007. 322 p.

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

SAMPAIO, M. S.; ALVES, M. C.; SILVA, F. M.; POZZA, E. A.; OLIVEIRA, M. S. Avaliação do comportamento da variabilidade espacial do fósforo remanescente no solo de lavoura cafeeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** p. 9.203-9.210

SANCHEZ, M. G. B.; MARQUES Jr., J.; SIQUEIRA, D. S.; CAMARGO, L. A.; PEREIRA, G. T. Delineation of specific management areas for coffee cultivation based on the soil–relief relationship and numerical classification. **Precision Agriculture**, New York, v. 14, n. 2, p. 201-214, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-012-9288-z>, 2012>.

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

SANCHEZ, R. B.; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 873-884, 2009.

SANTANA, O. A.; ENCINAS, J. I.; INÁCIO, E. S. B.; AMORIM, L. B.; VILAVERDE, J. L. J. Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 783-794, 2013.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa. SBCS, 2005. 100 p.

SCHWERTMANN, U. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. In: BIGHAM, J. M.; CIOLKOSZ, E. J. (Ed.), **Special Publication 31**, 1993 (p. 57-66). Madison: Soil Color.

SHELEME, B. Soil characterization along toposequence in Gununo area, southern Ethiopia. **Journal of Science and Development**, v. 1, n. 1, p. 31-41, 2011.

SHEPHERD, K. D.; WALSH, M.G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. **Soil Science Society of America**, v. 66, n. 3, p. 988-998, 2002. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.2136/sssaj2002.9880](http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2002.9880)>.

SI, B. C.; FARRELL, R. E. Scale-Dependent Relationship between Wheat Yield and Topographic Indices: A Wavelet Approach. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 2, p. 577-587, 2004.

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREIDO, C. A. P.; MARQUES JÚNIOR, J.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 401-407, 2007.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, 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, 2004a.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 937-944, 2004b.

STONE, J. R.; GILLIAN, J. W.; CASSEL, D. K.; DANIELS, R. B.; NELSON, L. A.; KLEISS, H. J. Effect of erosion and landscape position on the productivity of Piedmont soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 4, p. 987-981, 1985. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.2136/sssaj1985.03615995004900040039x](http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900040039x)>.

TEKIN, Y.; KUANG, B.; MOUAZEN, A. M. Potential of on-line visible and near infrared spectroscopy for measurement of pH for deriving variable rate lime recommendations. **Sensors**, Basel, v. 13, n. 8, p. 10.177-10.190, 2013.

TERRA, J.A.; SHAW, J.N.; VAN SANTEN, E. Soil Management and Landscape Variability Affects Field-Scale Cotton Productivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 1, p. 98-107, 2006. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.01.019](http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.019)>.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p.55-94, 1948.

TORRENT, J.; BARRÓN, V. Diffuse reflectance spectroscopy. In: Ulery, A.L., & Drees, L.R. (Eds.), **Methods of Soil Analysis**. Part 5. Mineralogical Methods. (SSSA Book Series, 5, p. 367-385), 2008. Madison: Soil Science Society of America.

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

VASQUES, G. M.; DEMATTÊ, J. A. M.; VISCARRA ROSSEL, R. A.; RAMÍREZ-LÓPEZ, L.; TERRA, F.S. Soil classification using visible/near-infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. **Geoderma**, Amsterdam, v. 223–225, p. 73–78, 2014.

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, n. 1, p. 1-17, 1997.

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

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, n. 3, p. 1-75, 1983.

VISCARRA ROSSEL, R. A. Fine-resolution multiscale mapping of clay minerals in Australian soils measured with near infrared spectra. **Journal Geophysical Research**, v. 116, n. 4, p. 1-15, 2011. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.1029/2011JF001977](http://dx.doi.org/10.1029/2011JF001977)>.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; BEHRENS, T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. **Geoderma**, Amsterdam, v. 158, p. 46-54, 2010.

VOLTZ, M.; GOULARD, M. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. **Geoderma**, v. 62, n. 1-3, p. 109-123, 1994.

VOLTZ, M.; WEBSTER, R. A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. **Journal Soil Science**, v. 46, n. 3, p. 473-490, 1990. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.1111/j.1365-2389.1990.tb00080.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1990.tb00080.x)>.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field D. Hillel (Ed.), **Applications of Soil Physics**, Academic Press, New York, p. 319-344, 1980.

WANG, J.; FU, B.; QIU, Y.; CHEN, L. Soil nutrients in relation to land use and landscape position in semi-arid small catchment of the loess plateau in China. **Journal of Arid Environments**, v. 48, p. 537-550, 2001. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.1006/jare.2000.0763](http://dx.doi.org/10.1006/jare.2000.0763)>.

WEBER, L.; MARCHEZAN, E.; CARLESSO, R.; MARZARI, V. Cultivares de arroz irrigado e nutrientes na água de drenagem em diferentes sistemas de cultivos. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 27-33, 2003.

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**, v. 23, p. 891-901, 1999.

WYSZECKI, G.; STILES, W. S. **Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae** 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 976 p.

ZEBARTH, B. J.; REES, H.; WALSH, J.; CHOW, L.; PENNOCK, D. J. Soil variation within a hummocky podzolic landscape under intensive potato production. **Geoderma**, v. 110, n. 1-2, 2002. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.1016/S0016-7061\(02\)00213-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00213-6)>.

ZHANG, H.; ZHANG, G. L. Landscape-scale soil quality change under different farming systems of a tropical farm in Hainan, China. **Soil Use and Management**, v. 21, n. 1, p. 58-64, 2005. Disponível em: <[http://dx. doi: 10.1111/j.1475-2743.2005.tb00107.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-2743.2005.tb00107.x)>.